

Thèse de doctorat en sciences économiques

Thierry Brault-Vattier

Ancien ingénieur Pechiney

CATT

Centre d'Analyse Théorique et de Traitement des données économiques
EA 753

L'aluminium aux XX^e et XXI^e siècles

Étude d'économie industrielle

MEMBRES DU JURY

Monsieur **Dominique Barjot**, professeur à l'Université Paris-Sorbonne, rapporteur.

Monsieur **Maurice Laparra**, retraité, président de l'Institut pour l'histoire de l'aluminium.

Monsieur **Jacques Le Cacheux**, professeur à l'Université de Pau et des Pays de l'Adour,
directeur de thèse.

Monsieur **Yves Levant**, professeur à l'Université de Lille, rapporteur.

Monsieur **Serge Rey**, professeur à l'Université de Pau et des Pays de l'Adour.

Monsieur **Henri Zimnovitch**, professeur au Conservatoire national des arts et métiers, Paris.

ÉCOLE DOCTORALE 281



Université de Pau et des Pays de l'Adour
F-64000 Pau (France)

Je dédie ce travail à Félicie qui m'a toujours encouragé,
à ma famille, mes enfants et mes petits-enfants
que j'aime

REMERCIEMENTS

Je remercie chaleureusement les enseignants de l'UPPA qui m'ont donné le goût et les moyens d'apprendre l'économie.

En premier lieu et surtout, monsieur Jacques Le Cacheux. Son cours d'introduction fut pour moi une découverte forte et une source constante d'interrogations. C'est à lui que j'ai confié, avant la crise de 2008, mes inquiétudes diffuses devant une évolution des prix des matières premières qui paraissait par trop inhabituelle. Pendant les années de doctorat, il a canalisé mes intuitions, mon goût pour une recherche hors des sentiers battus — Kaldor, Pasinetti, Mrs Robinson — mes tentatives de transposition de modèles anciens, etc. Enfin, il a su voir et orienter le changement opéré dans ma manière de raconter l'aluminium quand il m'a simplement dit : « ça c'est intéressant ! » En bref, ce travail lui doit d'exister. Ma reconnaissance trouve pleinement à s'exprimer ici et je le remercie très sincèrement pour son soutien.

Monsieur Serge Rey m'a appris à structurer un travail écrit en économie et à traduire les chiffres en causalités par l'application des méthodes de l'économétrie. Les résultats présentés sont modestes au regard des ambitions initiales, il m'aurait fallu passer beaucoup plus de temps à ses côtés pour approfondir une recherche personnelle au sens propre, c'est-à-dire de celles qui laissent le chercheur dans le doute sur la validité de ses résultats. Il a dirigé cette thèse avec le souci d'aider à parvenir à des conclusions probantes, je le remercie de son écoute attentive et de ses précieux encouragements.

Je remercie les membres du Jury, monsieur Dominique Barjot, président du Conseil scientifique de l'IHA, rapporteur, monsieur Yves Levant, rapporteur, et monsieur Henri Zimnovitch, suffragant, de l'intérêt qu'ils ont manifesté pour le sujet et de leurs commentaires enrichissants.

Enfin je remercie monsieur Maurice Laparra qui a été un maître pour les ingénieurs de Pechiney de ma génération et dont les conseils m'ont été utiles en maintes occasions, d'avoir accepté de faire partie du jury.

Des collègues et amis m'ont apporté leurs conseils et leurs suggestions, je les en remercie. Je voudrais remercier plus particulièrement Pierre Baillot, Éric Barrillon, Jean-Claude Guiot et André Raymond-Seraille. Richard Crabtree a fait la traduction anglaise du résumé et Christian Lamaison m'a assisté pour la mise en forme du texte, je les remercie beaucoup. Je remercie aussi Michel Castéra et Jean-Paul Chareton qui ont mis à ma disposition leur documentation.

Pour terminer, des remerciements vont aux indispensables chevilles ouvrières, les Secrétariats du CATT et de l'École Doctorale, la Documentation et l'Informatique de l'UFR de Droit, Économie, Gestion, sans oublier les services américains qui, consultés par mail, ont répondu avec une célérité et une générosité très appréciée.

Sommaire développé

INTRODUCTION GENERALE	8
Le monde et l'homme, aujourd'hui	8
L'aluminium et l'innovation, hier	10
La production d'aluminium primaire et l'électricité.....	12
La croissance de l'aluminium	15
L'aluminium primaire et l'aluminium recyclé	16
Les bases de la croissance de l'aluminium	17
Les moyens de la croissance : le capital et la technologie	19
Les 3 produits liés : l'électricité, l'aluminium et l'aluminium recyclé.....	22
Les outils de l'analyse économique	23
Les domaines de l'analyse.....	24
La littérature spécialisée	25
L'énoncé et le classement des domaines à considérer	27
1 ^{RE} PARTIE ALUMINIUM ET ELECTRICITE	30
1. L'INDUSTRIE DE L'ALUMINIUM	32
I. Quelques traits du « métal blanc ».....	32
II. De nombreuses sources d'information.....	35
III. La production primaire et l'offre	36
IV. La demande, par régions et par produits.....	42
V. Quarante ans d'évolution dans le monde de l'aluminium primaire, 1972-2012	47
i. Production et consommation	47
ii. L'évolution de la technologie.....	48
VI. Les prix, les mécanismes d'ajustement	49
VII. Les coûts, les contraintes étatiques.....	51
VIII. Les échanges internationaux.....	53
i. Exportations U.S.....	53
ii. Importations U.S.	55
IX. La structure de l'industrie et le recyclage	57
X. La consommation d'électricité	60
2. L'ELECTRICITE ET L'INDUSTRIE DE L'ALUMINIUM	64
I. Énergie, électricité, et hydroélectricité	65
i. L'énergie dans le monde	66
ii. L'offre mondiale d'hydroélectricité	67
iii. L'offre mondiale d'électricité.....	67
iv. Électricité et aluminium, l'indissociable couple impossible	69
II. L'électrification et la croissance, un premier cas : la Suède.....	70
i. Le développement de l'électricité depuis ses débuts	70

ii. L'exemple suédois	72
iii. Les premiers faits stylisés de l'électrification	81
iv. La production d'aluminium en Suède	82
a) Aluminium primaire	82
b) Aluminium secondaire.....	82
III. De nouveaux exemples, France, États-Unis et Canada	83
i. La France	84
a) L'histoire de l'électricité.....	84
b) Panorama de l'électricité	86
c) Les débuts, de 1881 à la Grande Guerre, la liberté d'entreprendre	86
d) La Grande Guerre	88
e) La situation technique, avant et après la Guerre.....	88
f) Le recours à la loi	89
g) La période de croissance	89
ii. L'électricité et l'aluminium aux USA	91
a) L'énergie.....	91
b) L'électricité.....	92
c) L'hydroélectricité	94
d) Électricité et aluminium, les débuts communs	95
e) Le schéma de base de la croissance	97
iii. L'Ontario et le Québec, le Canada.....	99
a) Hydro Ontario	107
b) Hydro-Québec.....	108
c) La Mauricie, pays de la rivière Saint Maurice (Québec).....	109
d) Les faits stylisés de l'électrification (Ontario et Québec).....	110
iv. La production d'aluminium en Amérique du Nord	111
IV. Le prix de l'électricité.....	116
2 ^E PARTIE L'INDUSTRIE DE L'ALUMINIUM ET L'ECONOMIE	119
INTRODUCTION A LA DEUXIEME PARTIE	120
1. À TRAVERS LA LITTERATURE ECONOMIQUE	122
I. Réflexions sur l'économie de deux produits joints : aluminium et électricité.....	122
II. Des économistes ont dit... ..	124
i. Premières sources théoriques, Alfred Marshall	124
ii. Deux épineuses questions : l'équilibre et les rendements croissants	127
a) L'équilibre, entre statique et dynamique.....	127
b) Les rendements croissants.....	131
iii. John K. Galbraith et l'entreprise américaine	134
iv. Richard Caves et le marché.....	147
v. Galbraith et Caves ou la technostruture et le marché.....	153
III. L'économie industrielle autour du monopole de l'aluminium ou « how big is too big » ?	155
i. Éléments de construction de l'économie industrielle.....	156
a) Le prix de l'électricité et les contraintes	157
b) Le prix de l'aluminium et ses origines	157
c) Le monopole	159
d) La technologie	160
e) Le prix et la genèse de la demande.....	161
f) Entreprise dominante et frange concurrentielle	161
g) Présentation et hypothèses de la théorie des marchés contestables	163

h) Les quantités	163
i) La taille optimale de l'unité de production	165
j) L'oligopole non coopératif	166
k) Les rendements croissants et la concurrence	168
l) La concurrence monopolistique.....	169
m) L'oligopole local	169
n) La concurrence imparfaite	169
ii. Éléments de politique américaine de la concurrence	170
a) Les textes fondateurs	170
b) Le courant structuraliste dit de Harvard	171
c) Le courant comportementaliste.....	171
d) Conclusion : la politique européenne de la concurrence.....	172
IV. Échanges internationaux et géographie économique	172
i. Les échanges internationaux, côté offre	175
ii. Les échanges internationaux, instruments de mesure et bilan général	176
iii. Géographie économique	180
a) Géographie et brève histoire de la production mondiale d'aluminium	183
b) Le cas américain de la Ceinture manufacturière et l'aluminium	186
c) Un modèle de la concentration géographique	189
iv. Description du modèle « centre-périphérie » de la concentration géographique	191
a) Les origines de la localisation industrielle.....	192
b) Le comportement des firmes : les prix et la concurrence	193
c) L'équilibre à court et à long terme.....	193
d) Les conclusions du modèle	194
v. Le choix rationnel d'une localisation.....	195
V. L'exemple d'un grand de l'aluminium : Alcoa	204
2. LES GRANDEURS ECONOMIQUES INFLUENTES ET LES PRIX	211
i. Le capital et son accumulation	211
ii. La croissance et ses sources	220
iii. Structure des entreprises et repères théoriques de leurs conditions de production	221
iv. La production et l'offre.....	224
v. La consommation et la demande	228
vi. Les prix, leur base.....	231
vii. Application à l'industrie de l'aluminium en 2012-2013	237
3. LE LONDON METAL EXCHANGE (LME) ET LA FINANCE INTERNATIONALE	240
I. Le LME, marché de commodités, généralités.....	241
i. Bibliographie.....	242
ii. Orientations.....	242
iii. Forward Terminal Market (FTM)	243
iv. Les 3 fonctions du LME.....	243
v. Évolution	243
vi. Le contrat	244
vii. L'Aluminium et son prix.....	244
viii. Sur-marge	246
ix. Les options	247
x. À Londres, plus des stocks	248
xi. En 2000.....	248
xii. Les critiques de Marquet.....	248
xiii. Transition.....	249
xiv. Les changements récents, 2012-2014	249

II. Le marché, le LME et la technostruture.....	252
i. Le marché, avec LME	252
a) Backwardation ou contango	252
b) Amont/Aval	253
c) Les produits.....	253
d) Le temps.....	254
e) Le lieu de livraison.....	254
f) Le prix.....	254
ii. Les entreprises productrices, avec LME.....	255
a) Consommateurs	255
b) Producteurs.....	255
c) Conséquences internes	256
d) Production, Import et Export US.....	256
e) Coûts et prix	257
f) Dans le reste du monde	259
g) Aujourd'hui	259
h) Demain.....	260
III. La finance internationale	260
i. Finance et matières premières	262
ii. Finance et marché des changes	265
4. MARCHES ET PERSPECTIVES INDUSTRIELLES	270
5. CONCLUSION DE LA 2^E PARTIE	273
3^E PARTIE ÉCONOMETRIE ET PROSPECTIVE	274
1. ÉTUDE ECONOMETRIQUE	275
I. Introduction et justification des choix	275
II. Les grandeurs disponibles pour l'étude de la production américaine d'aluminium	279
III. Étude individuelle des variables	280
IV. Étude de la production et du prix.....	284
2. PROSPECTIVE	288
I. L'électricité	288
II. L'aluminium.....	294
CONCLUSION GÉNÉRALE	300
BIBLIOGRAPHIE	310

Introduction générale

Les paradigmes de la croissance de l'aluminium dans le monde, depuis 1886
Analyse de trois produits liés : aluminium, électricité, aluminium recyclé

Le monde et l'homme, aujourd'hui

La finitude du monde des hommes ne s'impose pas à eux d'elle-même et dans la joie. Elle s'oublie vite. Elle apparaît à des penseurs du XX^e siècle, puis au chercheur attentif, philosophe, sociologue, ou économiste d'aujourd'hui qui examine les frontières de son territoire, ce qu'il semble faire de manière cyclique quand il lui prend l'envie de s'alarmer. Ainsi, la dialectique développée par la revue *Esprit* dans « Les Impensés de l'économie », son numéro 1 de janvier 2010, sur le travail dans un monde fini, s'adresse à toutes les activités humaines, qu'elles soient manuelles ou assistées par la mécanique et par l'électricité. Elle précise : « C'est notre rapport même au travail qui est en train de changer. [...] Le grand collectif fédérateur de la révolution industrielle était disciplinaire et physiquement épuisant mais il fut aussi un lieu d'invention de formes de mobilisation et de solidarités collectives. [...] Il [le travail] nous renvoie à ce que signifie « produire » aujourd'hui. Les impératifs écologiques imposent ici de revoir nos habitudes ». Ces phrases, si éloignées de l'enthousiasme et du volontarisme des « pères » de l'aluminium et des fondateurs de cette industrie, et même de l'époque des Trente Glorieuses, sont tournées vers l'avenir et annoncent un prochain bouleversement des attentes de la société, longtemps après une découverte qui a changé le monde.

La précédente alarme relative aux matières premières minérales, date des réflexions du Club de Rome des années 1970, plus exactement du rapport *Meadows & al.* du MIT, publié en français sous le titre *Halte à la croissance*, en 1972. La question fondamentale portait alors sur le futur de la croissance, raisonnée ou à tout va, comme si l'homme pouvait se rendre maître d'un destin collectif¹, idée déjà romaine et expérimentée en vain ! En 1972, il fut décidé sans surprise de faire, un temps encore, confiance aux capacités d'adaptation de la société et aux ressources terrestres inexplorées. En France, quelques rapports annuels sur les économies d'énergie furent établis par les plus gros consommateurs. Vite, ils passèrent aux oubliettes des décideurs, comme le rapport *Meadows* lui-même². À ce sujet, Jean-Paul Fitoussi et Éloi Laurent³ énoncent deux idées en lien direct avec le

¹ Il était intéressant d'entendre le général Vincent Desportes (de 2008 à 2010, commandant le Collège interarmées de défense, l'ancienne École de Guerre) dire à *France-Culture*, le 28 juin 2011 au matin, qu'il en était de même de la guerre qui, une fois commencée avec des intentions précises, prenait son autonomie et vivait sa propre logique, vite indépendante de ses causes originelles.

² Des chercheurs ont mesuré ex post la validité du modèle du décrié rapport *Meadows*. Par exemple, "A comparison of the limits to growth with thirty years of reality", Graham Turner, CSIRO, (Australia) June 2008. Réf. : http://www.manicore.com/fichiers/Turner_Meadows_vs_historical_data.pdf

³ *La Nouvelle écologie politique, Économie et développement humain*, Jean-Paul Fitoussi et Eloi Laurent, Éditions du Seuil et La République des Idées, septembre 2008.

présent travail. D'abord, ils rappellent la filiation qui existe entre le rapport et l'ouvrage de Stanley Jevons, *The Coal Condition* (1865), le premier à avoir analysé la dépendance de l'économie britannique envers le charbon¹ et anticipé des difficultés potentielles au moment de l'épuisement des gisements. Ensuite, ils s'opposent fermement au caractère malthusien du rapport : « réduire la croissance de la population et du capital, et... les maintenir constants à l'état d'équilibre de long terme » est une option exclue d'emblée en raison de son caractère « lugubre ». Les auteurs évoquent aussi la suite du rapport *Meadows* publiée en 2004, sous le titre *Limits to Growth : The 30-Year update*². Cette fois, ils notent un inquiétant paradoxe : les auteurs du rapport s'avouent plus pessimistes encore qu'en 1974 et, comme s'ils avaient intégré l'aspect inaudible de leurs premières propositions, ils estiment « une transition globale vers une société soutenable... probablement possible sans réduction ni de la population ni de la production industrielle³ » ! Ces idées reflètent aussi la dimension humaine contemporaine — donc changeante — de l'industrie de l'aluminium vers laquelle il lui faudra peut-être accepter de se diriger un jour.

« Toute l'activité productive des sociétés humaines s'alimente à des ressources naturelles et finit par rejeter à la nature des déchets », écrit Pierre-Noël Giraud⁴ dans son introduction à l'étude des matières premières. L'aluminium n'y échappe pas qui est à la fois une « commodité » suivant la terminologie consacrée dont il explique l'origine et le résultat d'une transformation complexe et coûteuse de matières premières. Dans le domaine, tant les réserves identifiées de bauxite — le minerai — que les millions de tonnes d'aluminium déjà produites — et recyclables — mettent les hommes à l'abri de la pénurie pour longtemps. En revanche, en ce qui concerne l'électricité, indispensable à la production primaire, la situation est tout autre, la pénurie menace. Du côté des déchets, le CO₂ est aujourd'hui le plus important. Les jugements et les pronostics à venir seront donc prudents comme l'exige d'ailleurs la situation politique incertaine de la décennie en cours. Toutefois, l'affirmation du rapport *Meadows* de 1972 : la « pollution [...] est] susceptible de contribuer à l'effondrement général du système socio-économique⁵ » s'impose en toile de fond du travail présenté.

À nouveau donc en 2010, la petitesse du monde par rapport à l'activité et à l'efficacité au travail d'une population croissante apparaissait comme un problème global, sur lequel toutefois les avis politiques ont divergé comme la Conférence de Copenhague de décembre 2009 et les suivantes l'ont montré. Et pourtant, pour survivre, l'homme doit encore travailler et produire. *Esprit* suggère de procéder à une réflexion sur ce travail autour d'une interrogation ainsi formulée : « comment s'organiser pour produire autrement ? »

La formulation qui apparaît comme une question récurrente depuis un siècle, semble une occurrence favorable pour projeter dans le futur la présente étude de l'économie de l'aluminium. En effet, ce qui sous-tend et justifie cette étude, ses finalités économiques et sociales, semble contenu dans cette interrogation. Depuis 1886, l'aluminium est produit à l'aide de l'électricité⁶. Seuls les rendements unitaires et les quantités produites annuellement ont changé, portés par le progrès technologique ; les matières premières et les matières consommables sont restées les mêmes. Les

¹ L'importance du sujet pour la présente étude apparaîtra plus loin, en relation avec la production d'électricité.

² Donella Meadows, Jorgen Randers et Dennis Meadows, *Limits to Growth : The 30-year update*, Vermont, Chelsea Green Publishing Company, 2004, in Fitoussi et Laurent, *op. cit.* p. 30. Voir aussi Luc Semal, dans Développement durable et territoires. 2007, URL : <http://developpementdurable.revues.org/4422>

³ Cité par Fitoussi et Laurent, *op. cit.* p. 30.

⁴ *L'économie mondiale des matières premières*, P-N Giraud, Coll. Repères, Éd. La Découverte, Paris, 1989.

⁵ Cité par Fitoussi et Laurent, *op. cit.* p. 30.

⁶ Les brevets Hall (USA) et Héroult (France) datent en effet tous deux de 1886.

unes et les autres tendent à s'épuiser et à se renchérir, même si le caractère d'urgence de l'action correctrice se remarque moins que dans les cas du pétrole et du cuivre — ou, selon certaines sources, le cas du zinc¹, phénomène plus discret mais plus proche peut-être dans le temps. En outre ne convient-il pas de prendre en compte pour demain le fait, considéré jusqu'à présent comme de moindre conséquence, que l'électrolyse produit aussi d'importantes quantités de dioxyde de carbone, ce gaz à effet de serre (GES) connu comme un des responsables du réchauffement de la planète ?

L'aluminium et l'innovation, hier

L'aluminium n'existe pas à l'état naturel. Il a été produit en premier par Henri Sainte-Claire Deville en 1854². L'industrialisation du procédé chimique a été réalisée à l'usine de Salindres (Gard) mais l'usage du produit est resté limité, car il était très coûteux. Vers la fin du siècle, suite aux brevets de fabrication par électrolyse, accordés des deux côtés de l'Atlantique à quelques mois d'intervalle, l'industrie de l'aluminium³ a pris son essor et, en l'espace de quelques années, a profité des rapides avancées de la science et de la technologie dans la chimie et l'électricité. L'aluminium est vite devenu le premier des métaux non ferreux⁴. La baisse de son coût de fabrication a été considérée à tout moment comme la condition nécessaire du succès. Elle a nécessité une longue chaîne de connaissances et des outils spécifiques de plus en plus puissants et coûteux. La mise en forme du produit, appelée sa « transformation » avant commercialisation, a nécessité la création de connaissances métallurgiques spécifiques, elles aussi, et la mise au point d'autres outils non moins techniques et coûteux. L'industrie, devenue fortement capitaliste et de haute technologie, a ensuite contribué au développement d'activités phares du XX^e siècle et notamment le transport⁵, terrestre et surtout aérien, en raison des aptitudes que possède l'aluminium à se combiner à d'autres métaux pour fournir des alliages légers aux propriétés physiques et métallurgiques remarquables. Les méthodes de transformation ont évolué au rythme de la recherche, pour fournir une solution adaptée aux problèmes mécaniques et chimiques rencontrés dans le développement d'innombrables applications.

Pendant longtemps, et des années encore après la Seconde Guerre mondiale, le prix du métal, aux niveaux pratiqués par les producteurs, n'était pas le critère déterminant de ses utilisateurs⁶. La technologie était reine, l'aluminium était roi. Avant tout il a fallu gagner les Guerres, ne pas se laisser

¹ Lorsque les cours du zinc baissent, certains experts en déduisent que la rentabilité des nouvelles recherches minières n'est plus assurée et donc, à ressources constantes, le risque de pénurie augmente. Parfois des dates relativement proches ont été annoncées, comme 2025. Source : <http://terresacree.org/aciervalvanise.htm>

² Voir les publications de l'Institut pour l'histoire de l'aluminium (IHA).

³ Dans cette étude, le mot aluminium désigne toujours l'aluminium primaire. L'aluminium recyclé sera qualifié par ce terme ou par celui d'aluminium de seconde fusion. Quant à une industrie, R. Caves la définit — in *American Industry : Structure, Conduct, Performance* — comme « les vendeurs d'un produit particulier, soit un côté du marché sur lequel vendeurs et acheteurs effectuent leurs transactions ». L'exemple qu'il donne est celui d'Alcoa, avant la Seconde Guerre mondiale : « ... *the sole producer of aluminum ingots within the United States* », et un peu plus loin il ajoute : « la description de ce marché et de cette industrie ne pose aucun problème »... en matière de délimitation du domaine !

⁴ Voir la courbe représentative de la production des métaux non ferreux en annexe.

⁵ Il s'agit d'un exemple ; bien d'autres branches industrielles se sont construites grâce à l'aluminium.

⁶ Cette affirmation, à nuancer suivant les époques, reflète les propos informels d'un dirigeant français ; elle exprime seulement le fait qu'aux niveaux de prix pratiqués, la demande était supérieure à l'offre et les exigences de qualité encore faibles.

distancer pendant la longue compétition armée entre les USA et l'URSS, et favoriser le développement concurrentiel de grands groupes industriels, devenus internationaux depuis longtemps. Les usages de l'aluminium sont nés peu à peu des efforts incessants de recherche théorique et appliquée des producteurs, dans leurs propres laboratoires, pour justifier leurs projets d'expansion verticale et horizontale, et pour assurer la pérennité de leurs entreprises grâce à la croissance des marchés et à des marges confortables.

L'innovation en matière de procédés et de produits, longtemps portée par Alcoa et Reynolds (USA), Alcan (Canada), Pechiney et L'Aluminium français, et quelques autres, Suisses, Australiens ou Japonais, est allée de pair avec un marché oligopolistique de moins de dix producteurs-transformateurs principaux. Après la Seconde Guerre, l'ouverture à la concurrence lui a porté un coup sévère en réduisant les moyens financiers de ses principaux soutiens. L'affaiblissement du pouvoir de marché des producteurs traditionnels, l'apparition d'autres producteurs et de surcapacités temporaires ont en quelques années modifié les rapports de force et les centres d'intérêt, provoquant, en particulier, le découplage progressif entre production et transformation. L'introduction de l'aluminium en 1978 à la Bourse des métaux de Londres (LME) a définitivement balayé les dernières réticences des producteurs à son endroit et préparé les évolutions récentes. La rupture flagrante avec le passé, cause ou conséquence, a profondément modifié la *structure*¹ de l'industrie de l'aluminium et ses modes de fonctionnement. De plus, toujours à la même époque, l'accélération du progrès technologique des procédés de production et une forte différenciation des prix de l'électricité entre pays ont rendu difficile, voire impossible, la survie autonome de certains producteurs. Cela s'est traduit, au fil des ans, par des opérations publiques d'achat de grande ampleur, certaines réussies, d'autres pas. La montée en puissance de la Chine, devenue en 2003² le premier producteur mondial d'aluminium et qui continue sa forte croissance, a constitué le dernier changement majeur à ce jour. L'irruption de fortes préoccupations écologiques, voulues ou subies, pourrait constituer le prochain choc.

¹ Ce terme fait référence à J. K. Galbraith dans *Le Nouvel état industriel*, Gallimard, 1968.

² Source : <http://www.aac.aluminium.qc.ca/f501.html>

La production d'aluminium primaire et l'électricité

La fabrication de l'aluminium primaire¹ s'effectue aujourd'hui comme hier en trois grandes étapes, ce qui explique la difficulté jadis rencontrée pour identifier le métal. Le schéma de fabrication² de l'aluminium-métal et de ses produits, dû à Carmine Nappi — voir ci-après — provient d'une étude américaine, il envisage un nombre élevé de combinaisons. Le minerai le plus largement employé dans le monde s'appelle la bauxite. Une attaque à la soude (procédé Bayer de 1888) permet de séparer l'hydrate d'aluminium des sels de fer qui se rassemblent dans les boues rouges. La calcination de l'hydrate produit l'alumine, oxyde d'aluminium (Al₂O₃), qui est ensuite électrolysée à haute température pour séparer l'aluminium de l'oxygène (procédé Hall-Héroult de 1886). Ce long processus consomme — surtout l'électrolyse — une quantité considérable d'électricité³, si bien que le développement de celle-ci, d'origine hydraulique au début, et celui de l'aluminium sont allés de pair à la fin du XIX^e et au début du XX^e siècle (monopole et monopsonne locaux). L'association, bénéfique aux deux parties, généra des effets d'entraînement importants⁴. Ensuite, les besoins industriels et domestiques de l'électricité ont cru à un rythme bien plus rapide que la production d'aluminium, induisant une rivalité des emplois toujours conflictuelle à terme. En complément de l'hydroélectricité initiale sont donc devenus nécessaires l'emploi du charbon, du pétrole, du gaz et même de l'uranium dans des proportions variables suivant les pays et les époques, pour produire les millions de MWh⁵ (ou TWh) consommés dans le monde.

La problématique des matières premières est souvent contingente et multiforme, et celle de l'aluminium, matière première produite, troisième étape d'une filière industrielle, confirme la règle. La liste des facteurs qui influent sur ses conditions de production — localisation, taille des installations et coûts des approvisionnements — est longue, comme le sont devenues celles des pays producteurs, des entreprises impliquées dans sa fabrication et des produits vendables. De même, les variables exogènes⁶ qui ont affecté le processus de croissance sont nombreuses. En plus de la conviction intime et exceptionnellement forte des savants à l'origine de la découverte⁷, d'avoir en main un métal plein d'avenir, les variables influentes furent la conjonction d'intérêts réciproques entre l'électricité et l'aluminium, les innombrables possibilités d'alliages avec le cuivre, le silicium, le magnésium, etc. qui ont fondé autant de filières d'applications spécifiques, professionnelles ou grand public, et surtout les impérieux besoins militaires nés des deux Guerres Mondiales. La variété et l'étendue des thèmes de cette énumération, sans doute incomplète, impliquent que seule une petite partie d'un vaste domaine sera expliquée et représentée, d'autant plus qu'il semble primordial de couvrir la période en totalité, de 1886 à nos jours. Les relations avec l'environnement, apparues dans le domaine public à partir des années 1970 pour la pollution par le fluor, mais maintenant sous contrôle, seront à peine évoquées en raison de l'incertitude qui les entoure.

¹ Pour le différencier de l'aluminium recyclé ou secondaire.

² Pour une présentation de synthèse, voir *L'Aluminium un si léger métal*, par Ivan Grinberg, contributions de Florence Hachez-Leroy et Jean Plateau, Découvertes Gallimard 2009.

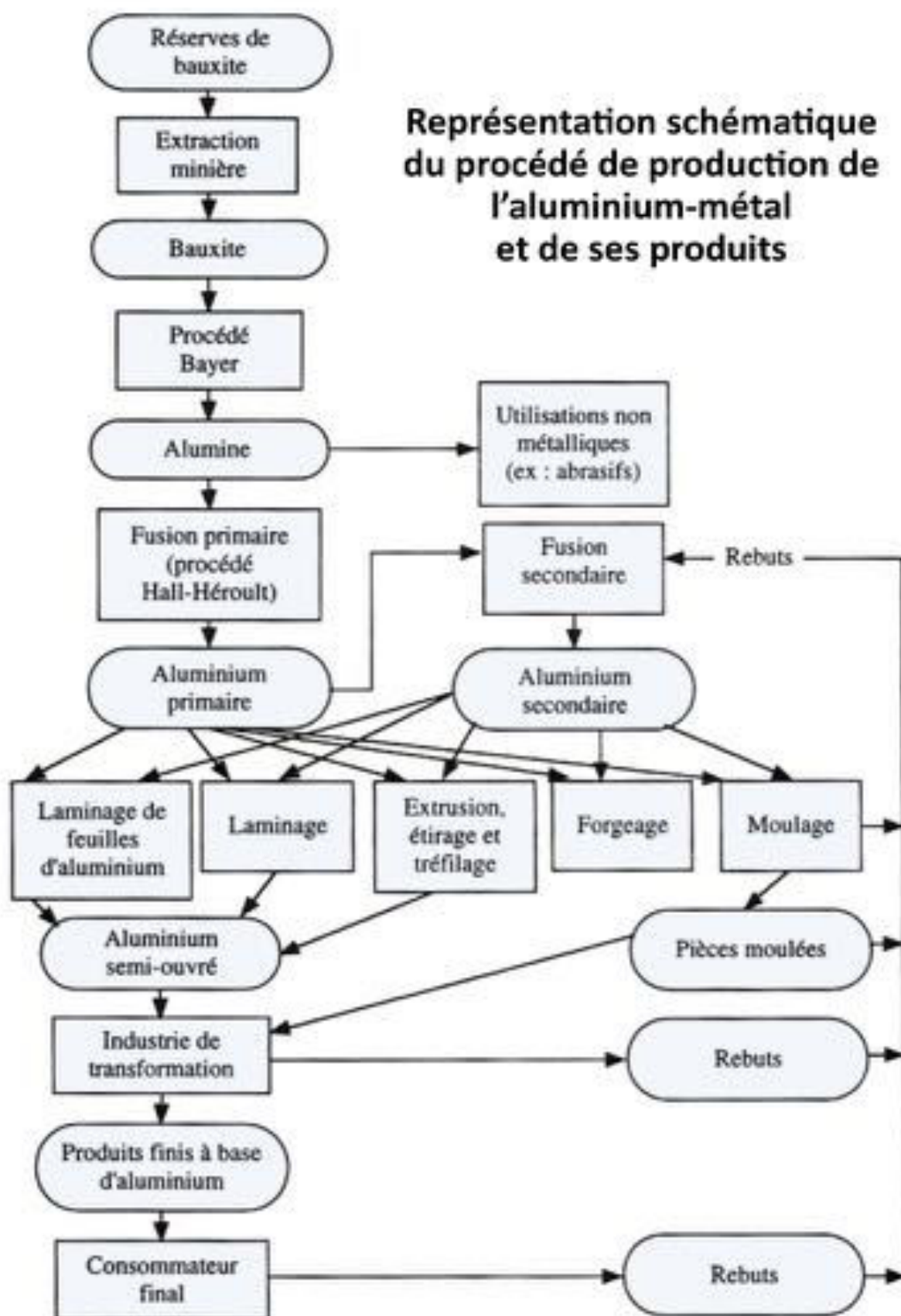
³ De l'ordre de 15 000 kilowattheures/tonne de nos jours. Il consomme aussi de l'énergie thermique et il importe de toujours faire la différence entre les deux types d'énergie.

⁴ Surtout aux USA et au Canada où les chutes d'eau utilisées sont beaucoup plus puissantes qu'en Europe.

⁵ Un mégawattheure (MWh) égale un million de wattheures, et un térawattheures (TWh) égale un million de mégawattheures. Environ 15 000 millions de MWh ont été produits en 1998 (Source : Temps Réels, 2003, AIE) dont approximativement 3 % sont consommés lors de l'électrolyse. En 2011, la consommation d'électricité dans le monde a été de 21 964 TWh. Source : <http://www.edf.com/html/panorama/conso/monde.html>

⁶ Une variable est dite exogène quand sa valeur doit être déterminée en dehors du modèle qui l'utilise.

⁷ H. Sainte-Claire Deville, Charles Martin Hall et Paul Héroult se sont tous trois clairement exprimés en ce sens.



Source : d'après Carmine Nappi, extrait de *The World Aluminum Industry in a Changing Era*, M. J. Peck (Editor) Resources for the Future, Washington D. C. 1988, p. 5, et aussi dans *L'Aluminium*, CycloPe, Economica, 1994.

Pour donner une idée de la complexité du domaine de l'aluminium primaire, troisième étape du processus, une analogie mécanique existe, celle du pendule étudié en physique. Le pendule simple est constitué d'un fil, fixé à une extrémité, au bout duquel est attachée une petite masse. Sa position d'équilibre est immobile, fil tendu, vertical. Écarter la masse de sa position d'équilibre entraîne des oscillations dont le mouvement dans le temps se décrit simplement. Si un deuxième pendule mobile est accroché sous le premier, le pendule double résultant oscille suivant de nombreuses formes, encore analysables. Un troisième pendule mobile, ajouté sous le second, donne naissance à un pendule triple aux mouvements imprévisibles parce qu'ils dépendent d'un trop grand nombre de facteurs. En raisonnant par analogie, si les masses représentent respectivement la bauxite en haut, l'alumine au milieu et l'aluminium en bas, et que leurs déplacements sont assimilés à des variations de prix imposées par l'extérieur, la situation du producteur en matière de coût apparaît bien inconfortable.

Dans la même veine analogique, le producteur qui intègre sa fabrication de la bauxite à l'aluminium, tente de « rigidifier l'assemblage » pour mieux contrôler ses mouvements¹. Pendant cinq ou six décennies, certains y sont bien parvenus, plus facilement quand peu d'intervenants extérieurs perturbaient leur stratégie.

Les « nouveaux » producteurs qui, depuis 1980, ont acheté leur alumine sur le marché, se sont retrouvés dans la situation du pendule double (alumine + aluminium). Ils ont supporté les aléas associés qui n'étaient pas nécessairement moindres. Pour être plus réaliste encore, il faut ajouter à la chaîne de production ci-dessus, au niveau de l'aluminium, le degré de liberté supplémentaire qui correspond à l'électricité. Lorsque le prix de celle-ci augmente ou s'avère particulièrement discriminant, ce qui est de plus en plus fréquent, les producteurs rencontrent de grosses difficultés pour rester compétitifs.

L'analogie précédente autorise une première conclusion : de même que les producteurs se sont tournés vers l'intégration pour maîtriser une situation complexe, de même il faut trouver des hypothèses simplificatrices pour en tenter l'analyse. En conséquence, cette étude traitera principalement de l'aluminium, des quantités produites ou consommées, des prix et des coûts de production, des produits et des marchés. Les quantités nécessaires d'alumine et de bauxite ont été disponibles à tout moment, elles n'interviennent que pour expliquer les coûts. Enfin, la production d'électricité et celle d'aluminium sont supposées jointes² comme elles l'étaient physiquement au début des opérations. La situation assurait le meilleur contrôle possible des quantités et des prix dans la durée.

¹ Cette analogie incite à évoquer ici la théorie de l'intégration verticale d'Oliver Williamson par une référence : *La théorie williamsonienne de l'intégration verticale n'est pas vérifiée expérimentalement*, par Hubert Gabrié, Presses de Sciences Po, 2001/5, vol. 52, pp. 1013-1039. Dans la mesure où les trois pendules évoqués ci-dessus constituent un ensemble solidaire, une structure verticale, celle-ci renvoie à l'ouvrage de John Galbraith, *Le Nouvel état industriel*, Gallimard 1968. Ces deux ouvertures théoriques seront abordées plus loin.

² Au sens économique du terme, c'était l'optimum. Sous cette forme, il s'agit d'une tautologie puisque l'électricité est toujours nécessaire pour produire de l'aluminium. Les productions d'électricité et d'aluminium sont liées, virtuellement ou réellement, en quantités quasi proportionnelles, à l'évolution des rendements près. Les conséquences dépendent de la situation des différents pays producteurs d'aluminium, en matière de production et de vente d'électricité.

La croissance¹ de l'aluminium

La présente étude tire sa justification du rôle moteur que l'industrie de l'aluminium a joué dans la croissance de l'économie mondiale et des comparaisons internationales qu'il rend possible. Ce rôle dont l'importance se mesure par l'évolution relative des tonnages, a varié selon les pays et les époques. Les causes et les conséquences des variations, les objectifs et les moyens que pays et entreprises productrices se sont donnés peuvent être mis en lumière et reliés entre eux. La maturité des produits finaux qui déterminent la demande, a été sensible aux conditions de production, aux échanges de connaissances, à la répartition des usages et aux habitudes locales de consommation, elles-mêmes influencées par la créativité des chercheurs et par les sociétés dans leur ensemble. À partir des évolutions des entreprises et de leurs marchés, des grandeurs techniques, des coûts et des quantités produites par pays, de la demande et de sa répartition entre produits, et enfin des échanges internationaux, il semble possible de comprendre les ressorts de la croissance de l'aluminium. À la condition, bien sûr, que les paramètres de cette croissance soient significatifs et que les informations nécessaires soient disponibles et fiables.

Démarrée à la fin du XIX^e siècle en France, en Suisse, en Allemagne et aux États-Unis, la production d'aluminium² a crû, pendant un temps, à un rythme triple de celui des PIB. Dans les années 1980, dans un contexte général de hausse des coûts et de baisse du prix, un ralentissement sélectif a commencé par une période chaotique de fermetures d'usines anciennes, plutôt petites, et de démarrages de grosses usines neuves qui apparaît nettement sur les courbes de production des pays concernés. Les pays producteurs de la première moitié du XX^e siècle, à l'exception du Canada et de la Norvège qui voyaient encore leur production augmenter, ont connu avec une ampleur variable le même type d'évolution, à savoir longue hausse de la production depuis ses débuts, sommet arrondi plus ou moins hésitant puis décroissance vers un éventuel plateau. Un tel schéma semble encore plausible pour les pays producteurs plus récents même si, pour différentes raisons, le maximum semble encore à venir en Australie, au Brésil ou dans les Émirats arabes unis, par exemple. La Chine et l'Inde se trouvent dans une phase de forte et rapide croissance, et la suite de leur évolution est encore incertaine³.

Le constat de base de cette thèse est donc que la croissance de la production d'aluminium puis sa décroissance après une période d'accumulation considérable⁴, a constitué le schéma-type dans les pays industriels au XX^e siècle. L'exception concerne les pays qui disposent encore, au début du XXI^e siècle, d'électricité à bon marché. Pour des raisons qui leur appartiennent, les pays en cours d'industrialisation refusent de se priver des atouts majeurs de la réussite économique des pays industrialisés avant eux, et pourraient vouloir atteindre un niveau comparable au leur, dans tous les domaines. Au plan industriel, cela implique une production locale et autonome d'aluminium lorsque la situation se prête à la génération d'électricité à bas coût. Prise dans son ensemble, la production mondiale donne encore, à l'exception de quelques accidents de parcours, une image de croissance accélérée parce que les phénomènes évoqués sont décalés dans le temps, entre les pays.

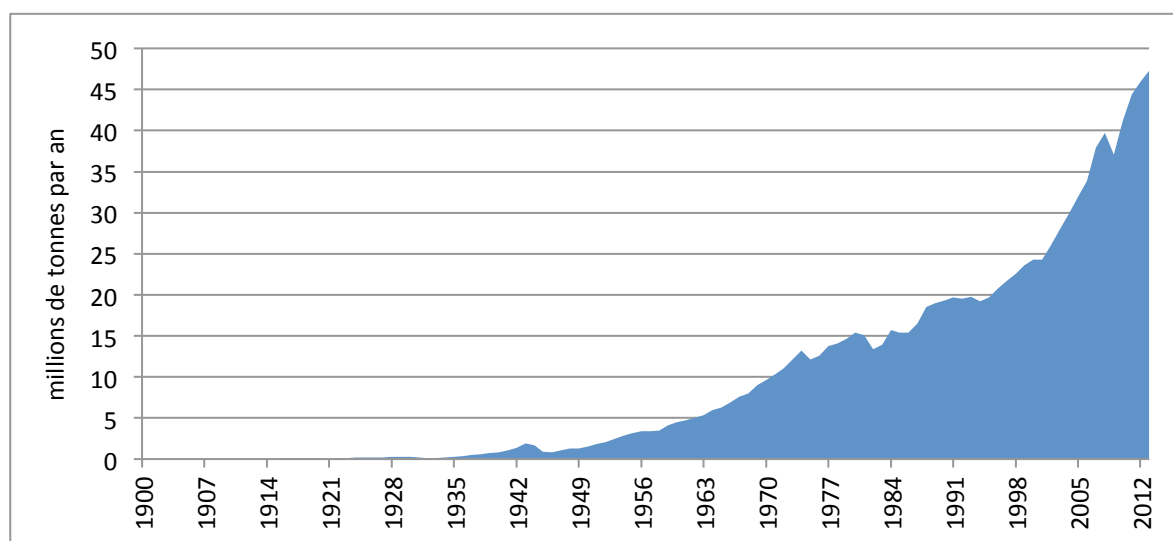
¹ Par croissance, il faut entendre l'augmentation, dans le temps, des tonnages produits. Les aspects économiques de la croissance seront décrits dans la deuxième partie, consacrée à l'économie.

² Production mondiale d'aluminium primaire : 37,3 millions de tonnes en 2009 ; 41,2 Mt en 2010 ; 44,4 Mt en 2011 ; 45,9 Mt en 2012 et 47,3 Mt en 2013. Sources: U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, February 2014, et années antérieures.

³ Voir leurs positions relatives au cours de la dernière décennie en annexe de l'introduction.

⁴ Elle est estimée à 800 millions de tonnes.

Production mondiale d'aluminium primaire



Source : USGS, *Aluminum Statistics*, dates diverses.

Il en résulte une possibilité de reproduction généralisée du modèle sociotechnique américain de croissance qu'il conviendra de préciser. En outre, la mise en lumière des contraintes propres à ce modèle et de ses conséquences, permettrait peut-être, par un effet d'expérience, de diminuer le tonnage total immobilisé et d'économiser de l'énergie. Toutefois, il se pourrait aussi¹ que l'éventualité d'une pénurie de matériaux moins exposés à l'attention — comme le zinc — accélère le bouleversement des processus de croissance anciens. Alors, la décroissance de la production d'aluminium évoquée ci-dessus pourrait s'amplifier chez les précurseurs et se généraliser. Le recyclage des millions de tonnes d'aluminium déjà accumulées² dans des produits, des équipements ou des bâtiments pourrait s'accélérer, abaissant la production de GES tout en assurant la disponibilité des quantités adaptées aux besoins.

L'aluminium primaire et l'aluminium recyclé

La production mondiale d'aluminium primaire a très fortement augmenté à partir de 1996 — voir ci-dessous une mesure de l'accélération sur un siècle. Les sources de la croissance ont changé, les États-Unis diminuaient leur production quand la Chine, la Russie, le Brésil, le Canada etc. augmentaient la leur.

Dates significatives de la croissance de la production mondiale d'aluminium primaire

1916	1941	1971	1996	2004	2010
106 kt ³	1 040 kt	10 300 kt	20 800 kt	29 900 kt	40 800 kt

¹ Le ralentissement de la production dû à la crise de 2008 rend la séparation des causes un peu plus difficile encore.

² Estimation du stock total d'aluminium en service aux États-Unis, en 2002, 142 millions de tonnes. Le métal accumulé dans les décharges municipales — *Municipal solid waste* — est estimé à 61,1 millions de tonnes. Source: USGS-Fact Sheet 2005-3090.

³ Un kilotonne (kt) égale 1 000 tonnes.

En 1980, la production américaine a atteint son maximum et la décroissance qui a suivi était en rupture avec l'évolution d'autres pays, en particulier les pays émergents. À partir de cette date, tous les producteurs d'aluminium n'ont plus été en phase et le décalage temporel a pris des formes susceptibles de les différencier. Pourtant, l'industrie américaine de l'aluminium continuait à croître grâce aux échanges internationaux de métal et au recyclage. La production primaire domestique n'était plus la seule grandeur à considérer et la présente étude devait s'y adapter. Longtemps, les États-Unis ont constitué un modèle de développement — au moins une référence — adopté plus ou moins vite par les pays dits occidentaux, mais ce modèle n'attire plus les nouveaux venus. Il faut alors considérer les États-Unis comme un producteur d'aluminium à part, un ancien leader dont les producteurs actuels suivent ou ne suivent pas l'exemple. Ensuite, les échanges internationaux doivent être pris en compte puisqu'ils ont suppléé à la baisse de production. Ils portent sur le métal primaire et sur le métal secondaire. En conséquence, il faut inclure le recyclage de l'aluminium dans l'étude.

À partir des années 1920, le recyclage de l'aluminium a constitué un complément de l'électrolyse, économiquement significatif. Le procédé de recyclage présente un double avantage sur l'électrolyse : d'abord la consommation d'électricité par tonne d'aluminium est divisée par vingt et ensuite la production de gaz à effet de serre est réduite. La multiplication des produits commercialisés — composition chimique surtout — et leur différence de durée de vie complexifient les processus de recyclage qu'il est exclu de décrire ici. Une intéressante étude de Mrs Patricia Plunkert¹ présente, pour les États-Unis, un diagramme des flux de l'année 2000 qui rassemble tous les produits en aluminium et permet un calcul de taux de recyclage². L'aluminium qui entre ou sort du pays est codifié : la production primaire des électrolyses domestiques et étrangères, la production secondaire « *old scrap* » qui provient d'aluminium usagé³, la production secondaire « *new scrap* » ou « *prompt* » qui provient de déchets de fabrication ou d'aluminium neuf⁴ et enfin la production secondaire, somme des deux précédentes⁵. Les quantités annuelles de ces produits se trouvent dans les états, annuels ou de synthèse, publiés par l'USGS et elles seront utilisées comme unique source.

Les bases de la croissance de l'aluminium

L'aluminium a été produit en quantités modestes à Salindres (Gard), après la découverte par Henri Sainte-Claire Deville en 1854⁶ d'un premier procédé chimique de production. En 1886, un procédé par électrolyse, dû à Charles Martin Hall et Paul Héroult, moins coûteux, a engendré le démarrage d'une nouvelle industrie, à une tout autre échelle. Il s'est effectué en parfaite symbiose entre la société et la technique, dans un cadre d'échanges mutuellement profitables puisque, sur une centaine d'années, on a observé une quantité considérable d'applications nouvelles. Au début des années 1970, l'aluminium était visible partout dans l'environnement proche. Aujourd'hui, il ne se remarque même plus. Dès ses débuts il a fait l'objet d'études économiques de toute nature, car les ramifications de l'activité autour du produit et les questions relatives à sa croissance furent

¹ *Aluminum Recycling in the United States in 2000*, Patricia A. Plunkert, USGS Aluminum Commodity Specialist, U.S. Geological Survey Circular 1196-W.

² « En 2000, le taux de recyclage des 'produits usés' est estimé à 42 %. La plus grande partie de l'aluminium recyclé — 60 % — est venue des 'produits neufs' et leur taux de recyclage ressort à 36 %. La principale source de 'produits neufs' est constituée de boîtes de boisson. » Source : dito.

³ « Les chiffres relatifs à cette production manquent pour les années 1900-1938 ».

⁴ « Les chiffres relatifs à cette production manquent pour les années 1900-1912 ».

⁵ « Les chiffres relatifs à cette production manquent pour les années 1900-1912 ».

⁶ Source : Un texte fondateur de Henri Sainte-Claire Deville relatif à l'aluminium : la note aux comptes rendus de l'Académie des sciences du 6 février 1854 par Jean Plateau, Administrateur de l'Institut pour l'histoire de l'aluminium & Ivan Grinberg, Secrétaire général, dans Bibnum.

innombrables. En conséquence, la littérature abonde. D'origine universitaire, de source professionnelle ou administrative, quantité d'analyses comparatives et de données numériques sont disponibles¹, à l'exception notable de celles que les producteurs considèrent comme « sensibles² », celles qui pourraient sans doute le mieux servir à identifier et interpréter les changements... Fondé à Paris, en 1986 à l'occasion du centenaire de l'invention, l'Institut pour l'histoire de l'aluminium (IHA) effectue ou commande des recherches qu'il publie. Il dispose d'un accès aux archives françaises et d'une bibliothèque qui contient de nombreux ouvrages techniques et historiques relatant les épopées des produits, des entreprises et de leur personnel. Il a été une source de connaissances très utile pour ce travail, en complément des ressources de l'UPPA.

L'origine de l'industrie, dite du métal léger, qui apparaît aujourd'hui comme un élément-clé du progrès technique et social du XX^e siècle, se situe avant tout dans une conviction profonde et une détermination visionnaire des premiers acteurs de la période, Charles Martin Hall et Paul Héroult. Au fil des ans, soumise à de fortes secousses exogènes, la brillante flamme de l'innovation s'est lentement éteinte après la disparition des pionniers et de leurs collaborateurs. En 1978, l'aluminium est devenu une commodité³, cotée et échangée à terme au London Metal Exchange (LME). Le nombre de producteurs a augmenté et presque tous se sont désintéressés du développement des techniques de fabrication aussi bien que des usages d'un produit dont « ils pouvaient désormais se défaire en quelques minutes dans une transaction anonyme⁴ ». L'industrie dans son ensemble a encore continué à croître sur sa lancée, mais ses acteurs traditionnels ont connu des renoncements majeurs à certaines de ses finalités — l'emploi et la recherche — et des vicissitudes — fermetures d'usines et OPA — qui constituaient autant de signaux d'alerte des changements en cours.

Au tout début du XXI^e siècle, la variabilité géographique accrue du prix de ses matières premières, surtout l'électricité dont elle consomme de grandes quantités et qui obéit à des règles de production et de transport particulières, place cette industrie dans une situation préoccupante⁵. Certes, la croissance d'ensemble des tonnages continue⁶ mais la répartition de la production mondiale a beaucoup changé. Les pays premiers producteurs ont vu leur part diminuer à partir de 1985 (en tonnes annuelles, en tonnes/PIB, ou en kg/habitant), alors que de nouveaux producteurs s'imposaient à une vitesse qui impressionne, en particulier la Chine. Ce constat conduit à se demander s'il n'a pas existé plusieurs phases ou plusieurs types de croissance, caractérisés par des paradigmes différents. Ensuite, se pose la question de l'avenir, globalement et dans les principaux pays producteurs. Il va de soi que l'accident nucléaire de Fukushima (Japon, 11 mars 2011), avec l'inquiétude qu'il a générée dans la population et les décisions politiques qu'il peut entraîner à court ou moyen terme, ne fait qu'ajouter à l'incertitude car, par nature, la production d'électricité doit à **tout instant** être égale à la consommation. L'industrie de l'aluminium est, elle aussi, soumise à cette loi, malgré ses besoins d'approvisionnement de long terme.

¹ Avec les réserves, habituelles sans doute, en ce qui concerne le contrôle des sources, leur cohérence et les définitions précises de la date et des quantités mesurées.

² En particulier le prix de l'électricité.

³ Définition : « Une commodité est donc une marchandise dont les producteurs s'adressent à un marché mondial où la concurrence porte uniquement sur le prix... La commodité est nécessairement un produit standardisé », Pierre-Noël Giraud, *op. cit.*

⁴ Formulation tirée d'un entretien avec Maurice Laparra, ancien directeur général d'Aluminium Pechiney.

⁵ Un indice de cette situation est fourni par les évolutions des prix relatifs de l'aluminium et du cuivre.

⁶ Exception faite de deux années de crise pour cette activité, soit 2009 et 2010.

Les moyens de la croissance : le capital et la technologie

Le cas de l'aluminium est exceptionnel aussi en ce sens que tout ce qui le concerne est connu depuis le commencement de l'activité. Que la science ait été assez avancée, en Europe et aux États-Unis, pour que la même idée d'un nouveau procédé naisse en même temps des deux côtés de l'Atlantique semble un présage favorable à un développement rapide : le métal était attendu ! Les conditions matérielles des débuts sont bien décrites par George David Smith¹ pour ce qui concerne l'américain Charles Martin Hall, et par Paul Morel² pour Paul Héroult, le concurrent français. Les deux auteurs traitent longuement des « facteurs de production » de l'époque, même si ce terme n'a pas son sens habituel de variable de la fonction de production néo-classique.

À partir de 1886, pour produire de l'aluminium en quantité il a fallu rassembler en un même lieu une unité de production d'électricité en courant continu, une unité de production d'aluminium par électrolyse, les connaissances théoriques et pratiques adaptées à la mise en œuvre du procédé dans toutes ses composantes³, et enfin la force de travail et les compétences nécessaires pour créer, faire fonctionner et commencer à améliorer l'entreprise. Les fonds nécessaires à la construction — capital fixe — et à l'exploitation — capital variable — d'une « usine⁴ d'aluminium » pendant la période où, souvent, une fabrication nouvelle perd de l'argent, ont dû être réunis. Les premiers fonds collectés ont servi à acheter le terrain, à construire les bâtiments, à approvisionner et installer les équipements, à acquérir les matières premières, à corriger des erreurs de détail, à améliorer les points faibles et supprimer les goulots d'étranglement, à assurer la subsistance du personnel pendant plusieurs mois, etc.

Aussitôt que possible, la production démarre. À partir de cet instant, l'argent investi dans le béton, l'acier et les gros équipements, n'est récupérable par ses propriétaires qu'au travers des bénéfices qui seront tirés de la production à venir. Aucun changement d'activité, aucun transfert significatif n'est envisageable⁵, il s'agit d'une situation de type tout ou rien⁶ ! À la différence de ce qui avait pris des siècles pour le cuivre ou pour le fer, le même processus de création *ab nihilo* a été adopté, faute d'alternative⁷, par toutes les usines d'aluminium du monde, avec des spécificités propres aux lieux et à l'époque. À partir des années 1930, la modernisation-extension d'une usine est devenue courante. Elle permettait la réutilisation d'une partie de l'existant et assurait une excellente rentabilité à l'augmentation de capacité.

¹ From Monopoly to Competition, The Transformations of Alcoa, 1888-1986, G.D. Smith, Cambridge University Press, 1988.

² *Histoire technique de la production d'aluminium*, sous la direction de Paul Morel et avec la collaboration d'Ivan Grinberg, Presses Universitaires de Grenoble, 1991.

³ À savoir, sous une forme simple sans doute : l'électrolyse, la fonderie et la fabrication des produits carbonés, plus les ateliers d'entretien, les ateliers dits annexes et les services, y compris les services commerciaux, auxquels il convient d'ajouter, pour mémoire, la fabrication ou l'extraction des matières premières et leur transport jusqu'au lieu d'utilisation.

⁴ Le mot peut sembler pompeux pour désigner les premières installations, ébauchées et rudimentaires pour un regard actuel, mais les photos de l'époque leur donnent cependant une belle allure !

⁵ Une telle affirmation n'est assurément pas vraie dans l'absolu. Il a existé dans le domaine industriel des exemples anciens, exceptionnels (l'usine de Badin aux USA, au début de la guerre de 1914-1918). En revanche, la vente de l'ensemble, en fonctionnement ou arrêté, est toujours possible pour autant qu'il s'agisse de produire ou de refondre de l'aluminium.

⁶ Type clay-clay suivant la terminologie de G. Abraham-Frois, *Dynamique économique*, Dalloz, 9^e édition, 2002.

⁷ Il faut mentionner, pour mémoire, les nombreuses tentatives ultérieures des industriels pour mettre au point un procédé de fabrication différent. Elles ont toutes été vaines et l'idée semble même avoir été abandonnée.

Le capital et la technologie constituent donc des variables « accumulables » fondamentales, tant pour débiter les opérations que pour favoriser leur croissance. De nature différente, ils remplissent des fonctions différentes. Ils sont complétés par deux variables « consommables », les heures travaillées et l'énergie¹ utilisée. La diminution de la consommation unitaire de ces deux variables au cours du temps, grâce au progrès technique, a donné lieu à une succession d'arbitrages entre baisse des prix et accumulation des profits pour favoriser la croissance².

La succession rapide des progrès techniques³ nécessaires à la baisse des prix et à l'augmentation des tonnes, a vite rendu obsolètes et insuffisantes les premières installations de production. Il a fallu les remplacer et/ou en multiplier le nombre. Exception faite du terrain et de la valeur de ferrailage ou de revente des équipements — valeur le plus souvent faible et dont se déduisaient les dépenses de démontage — le coût primitif des installations a souvent été perdu lors des premières modernisations, parce que tout devait être changé. Lorsque le temps avait manqué pour accumuler des profits suffisants, il fallait solliciter les actionnaires et les banquiers, soit pour continuer les opérations, soit afin de construire ailleurs. Constamment améliorée, la technologie de l'électrolyse de l'aluminium donnait naissance à des installations de plus en plus grandes et productives. Leur « durée de vie » s'allongeait⁴ mais leur valeur vénale au moment de l'arrêt définitif restait faible devant le coût de reconstruction à neuf⁵. Le capital tend à s'annuler quand cessent les opérations qu'il rendait possible. Il a été rémunéré pendant la durée des opérations et donc au moins récupéré *in fine*, en principe. Si de plus, un temps de retour optimal liant la vitesse d'évolution de la technologie à l'augmentation du capital en valeur à neuf existe⁶, il est nécessaire d'accumuler davantage de profits. Lorsque la durée d'exploitation s'avère trop courte, on doit recourir à des ressources externes pour assurer la continuité des opérations. En revanche, si la durée de récupération du capital est dépassée parce que les opérations ont continué dans de bonnes conditions — ce qui est souvent arrivé — ou bien le prix du produit diminue, ou bien un surcroît de revenus permet d'étendre le domaine d'activité — on parle alors de croissance endogène. Cette notion de conservation du capital qui semblerait être une règle de gestion « rationnelle⁷ » du progrès technique dans un monde qui change, fournit une relation⁸ mathématique entre le taux de profit, le coût en capital et la vitesse optimale de renouvellement des installations. Elle fait penser à l'appréciation générale d'Alfred Marshall qui disait sans ambages que l'industrie **doit** gagner de

¹ Ici le mot énergie répond au travail des hommes, les deux étant partiellement substituables. Rappel : la forme d'énergie indispensable à la production, est l'électricité.

² Cette présentation semble assez parallèle à celle qui distingue capital fixe (« accumuable ») et capital variable (renouvelable d'année en année) comme chez Quesnay.

³ À la fin du XIX^e siècle, les progrès les plus décisifs portaient sur l'électricité. Ils étaient d'application générale.

⁴ Comme en témoigne l'âge des usines encore en activité aux USA, par exemple à Massena (New York).

⁵ L'explication simple est que l'usine ancienne n'est plus assez « productive en capital » pour financer des installations qui utilisent les nouvelles techniques, et l'écart ne peut que croître. Il apparaît ainsi, à l'expérience, une relation implicite entre le taux de profit (fonction du prix réel) et la vitesse du progrès technique (anticipations de baisse des coûts), pour une industrie qui démarre ou qui évolue rapidement.

⁶ Il ne pourrait être déterminé qu'*ex post* mais constituerait un critère d'arrêt des plus anciennes technologies.

⁷ Cette hypothèse diffère de celle de Sraffa dans son étude du blé et du tracteur (Cf. G. Abraham-Frois, chapitre IV). Mais la nature du capital est ici assez différente : la valeur d'une usine d'aluminium d'occasion est très « contrainte » — technologie, taille, localisation, coût de l'électricité... Sa détermination relève de calculs et surtout de négociations. Sraffa parle d'efficacité du capital et de durée de vie des installations, notions pertinentes, mais difficiles à évaluer car dépendantes du marché et des anticipations. La question du choix d'une nouvelle technologie s'est posée pour chaque usine mature. De nombreux producteurs ont opté pour la modernisation, moins onéreuse qu'une usine neuve et moins problématique qu'une fermeture de site.

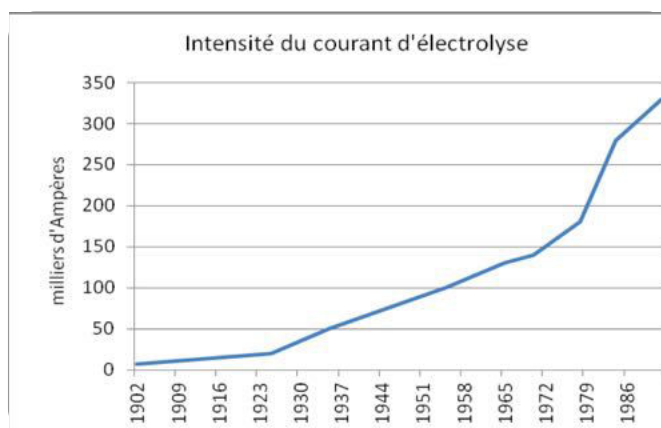
⁸ Une « règle d'or ? », comme celle qu'appliquent les employés des constructeurs automobiles français pour l'achat de leur véhicule personnel de la marque.

l'argent. Il semble maintenant légitime d'ajouter : d'autant plus qu'elle démarre et qu'elle évolue vite !

La technologie constitue le second pilier de la croissance. Grâce aux progrès qu'elle a permis, tant pour la construction des installations que pendant leur exploitation, les coûts de production ont diminué et la production a augmenté, enclenchant la croissance de la demande par l'offre, comme pour tout nouveau produit. Sans entrer dans les détails, les effets favorables de plusieurs facteurs techniques se sont conjugués parmi lesquels : la puissance électrique disponible, le rendement des machines électriques, le rendement des cuves d'électrolyse et leur durée de vie. La concomitance des progrès à différents stades du procédé rend plausible l'existence de rendements d'échelle croissants. En effet, progrès technique et croissance de la production sont allés de pair et, pour satisfaire la demande¹, au lieu de construire successivement de nouvelles unités du même modèle à côté de la première, il a souvent été jugé préférable, techniquement et économiquement, de démolir l'usine existante et d'en construire — éventuellement ailleurs — une autre, plus moderne, plus grande et plus productive ! La localisation a joué un rôle majeur pendant la croissance.

Évidemment, si la taille augmente, le capital nécessaire aussi, mais, au-delà de la simple arithmétique du double ou du triple², il s'avère lié à la technique. Les hommes ont appris à améliorer, de plus en plus vite, grâce à la formation, à la systématisation de la recherche et à l'échange d'expérience. Au commencement de la fabrication, les premières améliorations ont été réalisées — « rentabilisées » — en interne, au moins pour l'aluminium³. Plus tard, un budget de Recherche-Développement a financé les sauts technologiques qui donnaient lieu à une réalisation — voire à une vente de technologie — suivant les besoins de croissance de l'entreprise. Les mises en commun et les échanges d'informations effectués par les producteurs au sein de leurs Associations et via leurs publications, internes ou grand public, ont eu un effet très positif sur l'acceptation des nouveaux produits par les consommateurs.

Puisque la technologie a évolué par sauts, le repère le plus simple pour la caractériser est, naturellement, le temps. Les années figurent sur l'axe des abscisses — voir ci-contre — dates approchées bien sûr, car tous les producteurs ne progressent pas à la même vitesse⁴. Il se produit un certain recouvrement, ce que Robert Solow appelle « *embodiment* » dans sa théorie



de la croissance et qui complique un peu la représentation des choses. Comme le procédé fait appel à l'électricité, il existe une unité électrique qui caractérise la technologie d'une époque. Il s'agit de l'intensité du courant d'électrolyse qui se mesure en Ampères ou plutôt en milliers d'Ampères (A ou

¹ La croissance additive, au sens propre, génère un progrès marginal, pour une technologie donnée.

² Rendement factoriel et gain de productivité marginale.

³ Le cas de l'électricité est différent puisque d'autres utilisateurs ont pu aussi contribuer à ses progrès.

⁴ Courbe établie d'après *l'Histoire des sites producteurs d'aluminium*, René Lesclous, Les Presses de l'École des Mines, Paris, 2004.

ka). Elle figure en ordonnées. À l'aide de la loi de l'électrolyse de Faraday, il est possible de calculer la production en fonction de cette intensité¹, pour un nombre et une taille de cuve donnés.

L'existence de similarités entre l'industrie de l'aluminium et le transport aérien de passagers montre que la problématique de l'aluminium n'est pas isolée dans l'économie. Depuis la Seconde Guerre, ces deux activités ont connu un progrès technologique très fort qui a provoqué une rapide obsolescence du matériel, accompagnée de la hausse du prix de l'indispensable énergie, surtout après les chocs pétroliers successifs. Dans l'un et l'autre secteur, le nombre d'acteurs a cru et ils ont dû et doivent encore s'adapter ou disparaître, suivant le poids de leurs contraintes internes². Les facteurs de succès — le modèle économique — ont été identifiés, en particulier l'investissement massif dans la technologie la plus récente, plus économe en énergie, ainsi qu'une gestion très serrée des coûts, notamment de la main-d'œuvre et de l'énergie. Dans les deux cas, l'accès à une énergie moins chère³ procure un avantage concurrentiel déterminant.

Pour le seul aluminium maintenant, la main-d'œuvre n'a pas été citée plus haut comme facteur de production, ce qu'elle est pourtant de manière incontestable. La justification tient en deux points. D'une part, le coût global de la main-d'œuvre n'a jamais constitué une dépense relative importante — environ 5 % des coûts totaux — ni par rapport aux coûts fixes, ni par rapport au coût des matières premières dont fait évidemment partie l'électricité. De plus, d'importants gains de productivité ont vite été obtenus par la mécanisation des outils de production. D'autre part, pour un niveau de technologie donné, le nombre d'heures de travail par tonne produite se trouve défini, dès la conception des ateliers, par le nombre et la nature des opérations d'exploitation et d'entretien à effectuer. Ajouter ultérieurement une quantité significative de temps de travail non nécessaire ne servirait qu'à accroître les coûts ; en retrancher détériorerait les résultats techniques ce qui induirait aussi une augmentation des coûts. Le caractère répétitif des tâches à effectuer et la mécanisation née du progrès technique laissent peu de marge de manœuvre au gestionnaire dans ce domaine. En conséquence, la main-d'œuvre ne constitue pas une variable indépendante de la technologie et du capital. Elle est souvent représentée, mesurée en heures par tonne, comme une fonction fortement décroissante de l'intensité du courant d'électrolyse.

Les 3 produits liés : l'électricité, l'aluminium et l'aluminium recyclé

Les logigrammes des schémas de production des deux métaux sont simples, aux antipodes des complexités qui les intègrent dans le monde réel. Celui de l'aluminium primaire part d'un minerai, la bauxite, et consomme une grande quantité d'énergie pour séparer — en deux étapes successives, chimique puis électrochimique — le métal des oxydes qui l'enrobent ou l'accompagnent. Celui de l'aluminium recyclé forme une boucle qui, par une refusion de déchets possible en théorie à l'infini, permet d'obtenir un métal aux propriétés satisfaisantes. En fait, la présente étude porte sur trois produits liés, car les matières consommables ne sont pas un enjeu économique. L'électricité conditionne la production d'aluminium primaire qui peut ensuite être recyclé pour les applications les plus courantes. Les procédés de production relient les trois produits deux à deux. Les analyses économiques qui suivent, seront adaptées aux besoins d'explication et accompagnées de

¹ Moyennant cependant l'emploi de coefficients de rendement qui varient avec la technologie, ce qui a reçu plus haut le nom de simultanéité des progrès.

² De nombreux exemples montrent que les coûts et les contraintes de personnel s'avèrent beaucoup plus importants en période de crise que n'est le poids relatif de leur coût pour l'entreprise quand les choses vont bien.

³ Voir par exemple le développement de ces deux activités dans les pays du Golfe.

nombreuses références. Il ne semble pas utile de présenter davantage les procédés qui sont fort bien décrits ailleurs.

- L'électricité sert à vaincre la force des liaisons chimiques au sein de l'alumine, dans le procédé d'électrolyse à haute température. Pour cela, elle est irremplaçable et le procédé en consomme de grandes quantités¹ si bien qu'elle constitue le principal poste de coûts de la fabrication. Au début ou très vite, les productions d'électricité et d'aluminium ont été liées à la force motrice de l'eau. La turbine qui produit l'électricité et l'usine qui la consomme ont été placées côte à côte, au plus près d'une chute d'eau, dans des endroits souvent difficiles d'accès qui nécessitaient des aménagements coûteux — barrages, routes et installations portuaires. En termes économiques les productions étaient jointes — deux produits, un seul fournisseur — et au plan technique elles dépendaient totalement l'une de l'autre. Bien entendu les situations, très différentes à l'origine entre pays, voire au sein d'un même pays, ont considérablement évolué quand l'hydroélectricité a atteint ses limites. Pour l'optimum qu'elle représente, la situation initiale de production jointe (hydroélectricité et aluminium) sera gardée comme référence dans toute l'étude. Elle perdure dans quelques pays².

- L'aluminium, très abondant en proportion dans la croûte terrestre, n'existe pas à l'état natif sur la Terre. La bauxite — principal minerai de base — a d'abord été découverte et exploitée aux États-Unis, en France, en Hongrie et en Yougoslavie. Aujourd'hui, elle se trouve encore en grandes quantités dans les zones tropicales ou subtropicales. Cette localisation, éloignée des principaux pays utilisateurs, a rapidement posé la double question, économique et politique, du lieu de traitement du minerai et de son transport jusqu'aux lieux d'utilisation. Les réponses ont souvent dépendu des situations sociopolitiques des pays miniers et des coûts de transport. Elles ont changé dans le temps : les opportunités et les contraintes de la géographie ont pesé lourd dans la structuration de l'industrie !

- L'aluminium recyclé est produit à partir de déchets d'aluminium. Sa production est devenue significative dans les situations de guerre ou de crise. Elle s'est beaucoup développée après le premier choc pétrolier, alors que la quantité totale de métal déjà produit dans le monde avait atteint un niveau très élevé et que le prix de l'énergie sous toutes ses formes flambait. Dans la décennie qui a suivi, l'aluminium recyclé, chimiquement moins pur que l'aluminium primaire parce que l'aluminium est toujours utilisé allié, au cuivre, au magnésium, au manganèse, etc. est devenu peu à peu un substitut acceptable de l'aluminium primaire, et cela d'autant plus que le recyclage consomme vingt fois moins d'électricité que l'électrolyse. Pour cette raison, le recyclage constitue un enjeu écologique majeur. La notion de cycle de vie du produit a fait son apparition et a mis l'accent sur la possibilité de multiplier le nombre de recyclages des mêmes tonnes. En outre, la nature de certains produits — par exemple les boîtes de boisson — la sélectivité du tri des déchets et l'amélioration des méthodes d'analyse ont permis d'augmenter fortement les taux de recyclage.

Les outils de l'analyse économique

L'analyse économique descriptive — ou positive — de l'industrie mondiale de l'aluminium sur 130 ans et la prévision d'un futur plausible requièrent, au préalable, la compréhension de sa structuration passée et des caractéristiques imputables à des causes naturelles ou sociales. « L'économie industrielle qui consiste à étudier l'organisation et le fonctionnement des entreprises et des marchés dans le monde réel, répond alors aux besoins des entreprises et des pouvoirs publics,

¹ En chiffres ronds, autrefois 30 000 kWh/tonne, aujourd'hui environ 15 000 kWh/tonne.

² Canada, Norvège et Islande sont les exemples principaux.

soucieux de maîtriser la nouvelle économie¹ ». Elle constitue donc une source importante de réflexion pour ce travail, soutenue par les écrits d'Alfred Marshall et de ses célèbres prédécesseurs, Adam Smith et David Ricardo. Le désir d'expliquer la création des grands groupes industriels américains et leur rapide développement conduira à présenter les travaux de John K. Galbraith et de Richard Caves.

Dans un but de simplification et en vue d'un travail économétrique, les valeurs numériques des grandeurs susceptibles de constituer la meilleure représentation des faits seront recherchées et analysées, en lien avec les théories économiques. La première tâche sera de reconstituer *ex post* le chemin de croissance des trois produits évoqués ci-dessus, en reliant les apports de l'économie et de la technique. Rassembler des données fiables, cohérentes, comparables, présente des difficultés réelles et limitera l'étude aux pays qui ont disposé de moyens de collecte satisfaisants. L'objectif est que le résultat fournisse, par construction, une vision originale de l'évolution économique réelle. Sur une aussi longue période, le foisonnement des théories économiques et la multiplicité des lieux de mise en œuvre des produits obligent à effectuer des choix entre des sources nombreuses, mais pas toujours cohérentes dans le temps.

Pour rester concis, les références seront limitées à des citations d'économistes renommés et à leurs points de vue, replacés dans le domaine analysé. Il a existé aussi des modèles de production, quelques-uns seront nommés, mais aucun de ceux trouvés ne se situe dans une perspective associant théorie et empirisme, telle que celle envisagée.

Les domaines de l'analyse

Les aspects à prendre en considération dans la reconstitution du passé sont nombreux. Il semble intéressant de commencer par couvrir un vaste champ, propice aux comparaisons internationales, quitte à le réduire plus tard. La spécificité et la multiplicité des emplois des deux premiers biens produits, électricité et aluminium — bien avant la commercialisation de l'aluminium recyclé — a donné aux facteurs exogènes un poids essentiel. Ainsi, à la toute fin du XIX^e et au début du XX^e siècle, côté demande, l'emploi croissant de l'électricité dans des applications publiques comme le tramway et l'éclairage des villes, puis tous les usages industriels et, enfin, l'éclairage domestique et la multiplication des équipements ménagers ; côté offre, la découverte successive de plusieurs familles d'alliages qui ont ouvert autant de branches d'applications, à usage militaire puis civil. L'intérêt des États s'est manifesté dès la Première Guerre par la recherche de sources fiables de la matière première de base, la bauxite. Il fallait choisir l'endroit où la traiter, puis la transporter jusqu'au(x) lieu(x) de transformation en alumine et en aluminium. L'équilibre partiel, dans le domaine, implique des non-dits. Il conviendra d'identifier les plus importants. Ainsi, deux d'entre eux auraient pu passer inaperçus, la propriété des droits sur l'eau et sur la bauxite. À l'origine, ces droits appartenaient à l'État qui s'est trouvé parfois être aussi le colonisateur, par exemple en Jamaïque.

La structure de l'industrie en monopole ou entreprises concurrentes résulte de décisions prises au tout début de la production, dès l'obtention d'un brevet. La loi oriente ou corrige, si besoin est, les options retenues. Ainsi, la loi américaine a accordé l'antériorité à Hall sur Héroult, au terme d'un procès. La justice s'est ensuite peu préoccupée de la croissance du seul producteur, Alcoa, qui accompagnait celle de l'économie et avait bien servi les besoins militaires de la Première Guerre. Son intégration verticale correspondait au besoin de sécurité des approvisionnements et sa croissance

¹ *Économie industrielle, Une perspective européenne*, Pierre Médan et Thierry Warin, Dunod, 2000.

horizontale au développement du marché, y compris à l'international¹. La Justice américaine a été appelée à trancher dans les années 1940, imposant l'entrée de deux producteurs supplémentaires.

Le transport a constamment joué un rôle essentiel, même si son faible coût relatif l'a souvent fait passer sous silence dans les analyses. Il a conditionné les échanges et la structure industrielle, favorisant d'abord les avantages absolus et les monopoles locaux puis, un demi-siècle plus tard, il a élargi la compétition et facilité l'ouverture des marchés. Pour l'électricité, les problèmes furent techniques², de production et de distribution à des fins économiques et sociales. Pour l'aluminium, le transport a porté sur des tonnes de bauxite et/ou d'alumine, d'abord en quantités modestes et sur des distances moyennes, puis pour des centaines de milliers de tonnes sur des milliers de kilomètres, et aussi sur des tonnages croissants d'aluminium vers les lieux de stockage temporaire ou de transformation. Peu à peu ces coûts ont pris de l'importance, d'autant plus que le prix de l'aluminium baissait. À plusieurs reprises, il a fallu revoir les critères de choix des lieux d'implantation et les paramètres d'optimisation de la taille des usines, toujours plus performantes et plus grandes.

La substitution au cuivre ou à l'acier a fourni les premiers emplois de l'aluminium. C'est dans une concurrence réelle, parfois un peu euphorique et sauvage, que l'aluminium a pris son essor en raison de ses caractéristiques physiques et métallurgiques quasi idéales. Il semble donc³ que, souvent, comptaient l'attrait de la nouveauté, la force de conviction du vendeur et... les prix relatifs. L'évolution du prix du cuivre a obéi à des règles bien différentes de celles de l'aluminium, leur forte divergence surprend, surtout à partir des années 1990. L'acier a été coté au LME seulement en 2008 pour décoller en 2011, après un changement des modalités. En outre, la compétition entre pays producteurs d'aluminium, d'alumine et de bauxite, s'est déplacée en fonction de la facilité accrue du transport mais aussi de l'aide — ou du handicap — des taxes, signalant l'intérêt contingent des États pour ce type d'industrie. Puis, en quelques décennies, se sont produits l'avènement du pétrole, ses variations de prix extravagantes ou erratiques, la concurrence de nouveaux produits comme le verre, les plastiques et les composites, et enfin le développement du recyclage, en quantité et en qualité. Au total, la situation a maintes fois changé, sans ligne directrice claire et stable, si bien que pour analyser le passé, il faut considérer nombre de configurations différentes et tenter d'y associer les paradigmes dominants. Aujourd'hui d'autres « drivers » des prix semblent efficaces, difficiles à relier à un rationnel industriel⁴.

La littérature spécialisée

La littérature relative à l'aluminium fourmille de sources nombreuses et spécialisées. Le texte fondateur de Sainte-Claire Deville relatif à l'aluminium est disponible sur le site de l'IHA sous la forme d'une note aux comptes rendus de l'Académie des Sciences du 6 février 1854, présentée par Jean Plateau, administrateur de l'Institut pour l'histoire de l'aluminium et Ivan Grinberg, secrétaire général⁵. Quant aux publications récentes, elles peuvent être classées en plusieurs catégories.

Les thèses ; deux ont été récemment soutenues :

¹ Par l'intermédiaire d'Alcan depuis 1928.

² Le premier problème majeur fut le choix entre le courant continu et le courant alternatif. L'électrolyse s'effectue en courant continu, facile à produire à partir d'une chute d'eau, mais intransportable sur plus d'une centaine de mètres... Le sujet sera développé dans la partie consacrée à l'électricité.

³ L'histoire d'Alcoa et celle d'Alcan fourmillent d'anecdotes sur ce sujet.

⁴ La voie tracée par Benoît Mandelbrot et Richard L. Hudson dans *La Théorie des fractales*, Odile Jacob, nouvelle édition 2009 est attractive. Son application demande du temps. Pour l'instant, elle a seulement renforcé la conviction que les fluctuations rapides des prix ont changé encore une fois la donne.

⁵ <http://www.histalu.org/>

♦ L'une par Prosper Mouak¹ : *Le marché de l'aluminium, structuration et analyse du comportement des prix au comptant et à terme au London Metal Exchange*, le 3 mars 2010 à Orléans ; « La création en décembre 1978 du contrat Aluminium au London Metal Exchange (LME) sonne le glas de l'oligopole constitué par les six Majors, producteurs historiques qui détenaient une importante part du marché mondial ; on passe alors d'un système de prix- producteurs, à un système de prix de marché. L'objectif de la thèse est de vérifier si le LME remplit efficacement ses fonctions financières concernant l'aluminium : information sur les prix et l'état du marché, protection contractuelle contre les risques de fluctuations des prix et stabilisation des cours² » ;

♦ L'autre, par Marco Bertilorenzi³ : *Le contrôle de la surproduction. Les cartels internationaux dans l'industrie de l'aluminium en perspective historique (1886-1945), à Florence (Italie)*. « Elle traite d'un sujet original et important... [par] une approche institutionnaliste (donc par les structures), plutôt que comportementale (par les performances) des stratégies des cartels de l'aluminium... L'aluminium apparaît durablement et profondément marqué par les cartels internationaux : entre 1886 et 1973, s'y sont mises en place des formes de coopération internationales de plus en plus élaborées... Le système de gestion des stocks constitue la clef du système. Il s'agit d'une préoccupation constante des entreprises. »

Un grand nombre de publications des dernières années des revues Elsevier ou du site Jstor portent sur l'énergie, le recyclage du métal et la protection de l'environnement⁴. Certaines, proches du travail en cours, sont citées ci-dessous ; elles ont parfois servi de sources pour des illustrations⁵.

- *Improving aluminum recycling: A survey of sorting and impurity removal technologies*, Gabrielle Gaustad, Elsa Olivetti, Randolph Kirchain, *Resources, Conservation and Recycling* 58 (2012) 79-87, Elsevier;
- *Historical evolution of anthropogenic aluminum stocks and flows in Italy*, Luca Ciacci, Weiqiang Chen, Fabrizio Passarini, Matthew Eckelman Ivano Vassura, Luciano Morselli, *Resources, Conservation and Recycling* 72 (2013) 1– 8 Elsevier;
- *Strategic energy management in the primary aluminum industry: Self-generation as a competitive factor*, Nilson Rogerio Lucio, Wendell de Queiroz Lamas, Jose Rubens de Camargo, *Energy Policy*, 59(2013)182–188, Elsevier;
- *Carbon footprint attributed to aluminum substitution for copper in the Chinese indoor air conditioner industry*, Yang Guan, Chaofeng Shao, Xiaogang Tian, Meiting Ju, *Journal of Cleaner Production* 51 (2013) 126-132, Elsevier;

¹ <http://www.youscribe.com/catalogue/rapports-et-theses/savoirs/le-marche-de-l-aluminium-structuration-et-analyse-du-comportement-685771>

² Thèse de doctorat effectuée sous la direction de Philippe Paquet.
Source : <http://www.theses.fr/2010ORLE0501/document>

³ Thèse de doctorat d'histoire en cotutelle sous la direction conjointe de Dominique Barjot et Luciano Segreto, soutenue à l'Université de Florence le 21 juin 2010, 391 pages. Référence, Les Cahiers d'histoire de l'aluminium, <http://www.histalu.org/accueil.php/> Les citations entre guillemets sont du Pr. Barjot.

⁴ L'honnêteté intellectuelle incite à mentionner les nombreuses études récentes qui portent sur l'éventuelle toxicité de l'aluminium dans certains usages. Le sujet n'a que le nom de commun avec le présent travail.

⁵ Suivant la suggestion de M. le professeur Jacques Le Cacheux, les illustrations nécessaires à la compréhension du texte sont insérées au plus près de celui-ci ; celles qui éclairent le sujet sans avoir ce lien direct sont rassemblées en fin de volume.

- Technology strategies for sustainable metals production systems: a case study of primary aluminum production in The Netherlands and Norway, Ellen H. M. Moors, *Journal of Cleaner Production* 14 (2006) 1121-1138, Elsevier;
- Analysis of aluminum stocks and flows in mainland China from 1950 to 2009: Exploring the dynamics driving the rapid increase in China's aluminum production, Wei-Qiang Chen, Lei Shi, *Resources, Conservation and Recycling* 65 (2012) 18-28, Elsevier;
- *Investigation into optimal CO2 concentration for CO2 capture from aluminum production*, Anette Mathisen, Henriette Sørensen, Morten Melaaen, Gunn-Iren Müller, *Energy Procedia* 37 (2013) 7168-7175, Elsevier;
- *The Competitive Structure of the Secondary-Aluminum Industry*, Author(s): Alan Bennett, Source: *The Journal of Industrial Economics*, Vol. 12, No. 2 (Mar., 1964), pp. 115-132, Published by: Wiley, Stable URL : <http://www.jstor.org/stable/2097716>
- *The Cost and Technological Structure of Aluminum Smelters Worldwide*, Author(s): Robert Gagné and Carmine Nappi, Source: *Journal of Applied Econometrics*, Vol. 15, No. 4 (Jul.-Aug., 2000), pp. 417-432 Published by: Wiley, Stable URL : <http://www.jstor.org/stable/2678590>

Enfin, d'après les sources consultées, il paraît évident que les publications québécoises manifestent le plus grand intérêt pour l'industrie de l'aluminium et tentent d'attirer l'attention des décideurs et de la population sur sa dépendance envers un prix de l'électricité qui assure son avenir. Ainsi, *L'aluminium au Québec : une industrie de classe mondiale en péril*, est un mémoire présenté à la Commission sur les enjeux énergétiques du Québec, en septembre 2013, par l'Association de l'aluminium du Canada (AAC).

Aucune étude économique d'ensemble sur la période entière n'a été trouvée. Les ouvrages de référence consultés seront cités au fur et à mesure de leur apparition dans le texte. Un complément bibliographique se trouve dans les chapitres consacrés à l'aluminium et à l'électricité. Enfin, les citations — souvent traduites de l'américain — sont placées entre guillemets.

L'énoncé et le classement des domaines à considérer

L'ordre dans lequel seront traités les sujets est fixé par l'objectif d'une démonstration logique. Cependant, la conclusion restera datée et contestable en raison de la bonne réactivité d'une industrie pourtant très capitaliste. Pour un travail d'économiste, il semble aller de soi que les concepts et les théories économiques doivent venir en premier, car elles guident, elles orientent. Mais réciproquement, les caractéristiques, spécificités et modes d'organisation successifs de l'industrie de l'aluminium — dans des pays leaders — y compris le passage progressif de l'aluminium recyclé du rang de sous-produit à celui de bon substitut, peuvent venir en premier pour préciser le champ de la réflexion. D'un autre côté, en raison de sa technicité, l'étude du développement de l'électricité relève d'historiens spécialisés. Dans les pays leaders, l'électricité ne dispose plus d'aucun « statut » après le désengagement des États et sa banalisation au motif de concurrence. Aujourd'hui, elle est traitée en simple commodité — comme l'aluminium — en moyen banal qui s'est émancipé. Sa disponibilité permanente conditionne pourtant l'activité des industries comme le bien-être des populations. En raison de son lien avec l'aluminium et avec l'économie, elle doit être traitée, et à part. Elle viendra juste après l'aluminium, afin de clarifier son importance, de préciser ses contraintes propres et les graves conséquences de sa tarification libre.

Une fois les trois bases solidement établies et leurs relations précisées, des modèles qui ont jalonné l'analyse de la croissance à diverses époques seront évoqués. En dernière partie viendra

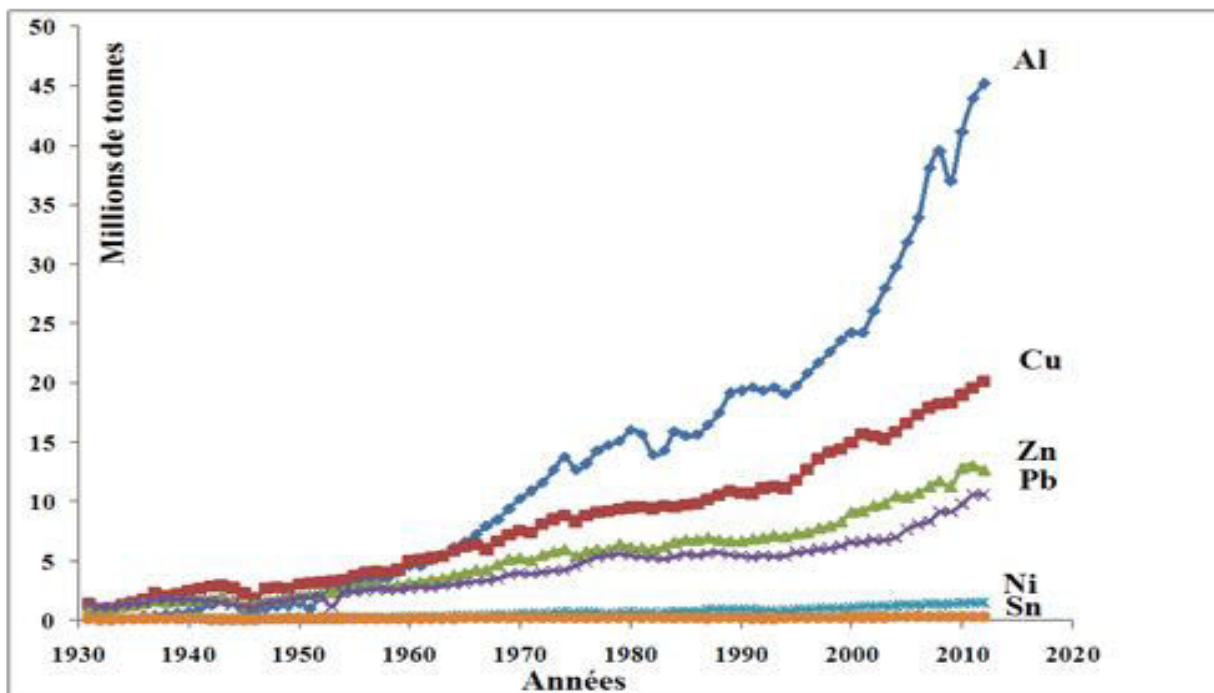
l'étude de séries temporelles par les méthodes économétriques. Elle commencera par la justification des hypothèses et des choix : pays qui servira (serviront) de modèle, importance à accorder à l'existence de rendements d'échelle croissants et découpage temporel, causes de localisation de la production et enfin rôle des échanges internationaux.

Enfin, départager l'Économie et l'Aluminium pour la première place dans le plan de l'étude reste le point décisif à trancher. Un changement de perspective permet de faire un choix, en termes d'utilité. Rien de ce qui concerne l'industrie de l'aluminium ne fait mystère aujourd'hui et les conditions de sa croissance sont bien connues. Ce sont elles qu'il convient d'analyser avec les concepts de l'économie, et non l'inverse. Il faut d'abord exposer la situation technique des produits et choisir ensuite les concepts économiques adéquats. Le plan en découle.

ILLUSTRATIONS ANNEXES

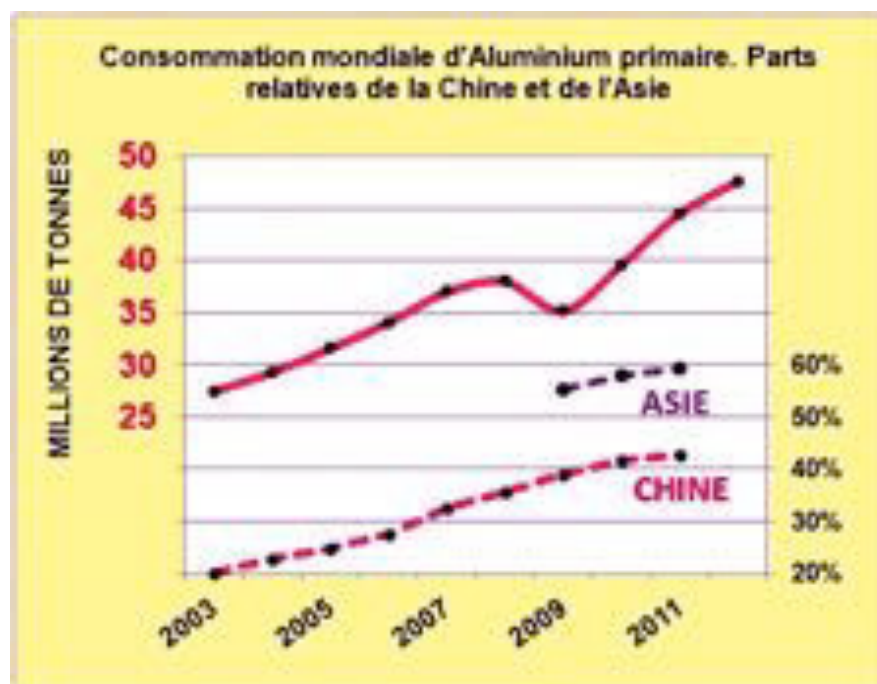
Évolution de la production mondiale de quelques métaux, en millions de tonnes

(Aluminium de 1^{re} fusion et cuivre raffiné non allié)



D'après l'Annuaire Statistique Mondial des Minerais et Métaux (SIM et BRGM) jusqu'en 1999 et l'USGS depuis.

Source : <http://www.societechimiquedefrance.fr/extras/Donnees/metaux/alum/texalu.htm>



Source : <http://www.leblogenergie.com/page/2/?s=Aluminium#!prettyPhoto/0/>

1^{re} partie

Aluminium et électricité

1. L'industrie de l'aluminium
2. L'électricité et l'industrie de l'aluminium

Les formes de l'aluminium



Source : <http://www.world-aluminium.org/images/>

1.

L'industrie de l'aluminium

Croiser une expérience professionnelle de la production d'aluminium et les théories de l'économie, telle est l'idée première de ce travail. Elle a semblé susceptible d'éclairer, de manière intéressante, le développement d'une grande industrie. La méthode retenue consiste à introduire des textes d'auteurs renommés et à multiplier les allers-retours entre les deux domaines. La priorité est donnée à la présentation d'idées et de faits documentés, dans le respect de la pensée des auteurs comme l'exige un travail en sciences humaines.

Raconter en peu de pages la croissance de l'industrie de l'aluminium dans le monde, depuis sa naissance, est assurément une gageure, il faut faire des choix. Pour rendre concret le matériel de la production, les photos de la page précédente ont présenté les premières formes de l'aluminium : mélange d'oxydes dans la bauxite, oxyde pur ou alumine, lingots d'aluminium brut, produits transformés dans différents secteurs de consommation et enfin pièces mécaniques d'automobile à recycler. Les paragraphes qui suivent relatent surtout les changements survenus depuis les années 1970. La partie descriptive se limite à quelques traits que les Américains appelleraient par exemple « *Facts at a Glance* »¹ et à l'énoncé des sources d'information utilisées ou disponibles. Ensuite, les titres sont ceux de l'économie : offre, demande, croissance, prix, coûts et échanges internationaux, traités ici de manière factuelle. Une courte partie technique terminera le chapitre avec l'évolution de la technologie dans le temps, la structure de l'industrie et enfin la consommation unitaire d'électricité, matière première dont la production d'aluminium est totalement dépendante.

En trente ou quarante ans, l'aluminium recyclé a acquis un statut normatif proche de celui de l'aluminium primaire et il n'est plus de mise de séparer les deux produits comme autrefois. Il existe aujourd'hui un seul aluminium, pur ou allié, non transformé². C'est cet aluminium métal qui va être présenté ici.

I. Quelques traits du « métal blanc »³

L'aluminium n'existe pas à l'état naturel ; il est obtenu par électrolyse de l'alumine à haute température (procédé Hall-Héroult, 1886). L'alumine est extraite de la bauxite, présente à la surface de la Terre, par un procédé chimique (procédé Bayer, 1888). Il faut environ 4 tonnes de bauxite pour produire 2 tonnes d'alumine dont on extraira 1 tonne d'aluminium. Les gisements de bauxite déjà identifiés assurent de nombreuses années d'exploitation et l'utilisation de nouvelles ressources est à l'étude.

L'électrolyse consomme de grandes quantités d'électricité. Pour augmenter la production et baisser son coût, il importait de réduire cette consommation : en 60 ans, la consommation unitaire a été divisée par 2, depuis 20 ans elle a baissé de 10 %. Malgré ces progrès, l'électricité reste — avec

¹ Ou faits saillants. Voir *The Aluminum Association*, <http://www.aluminum.org/aluminum-advantage/facts-glance/>

² *Unwrought*, en anglais.

³ Qualifié de « *solidified energy* » par l'EAA — European Aluminum Association, <http://www.alueurope.eu/> — ce qui incitera à rechercher plus tard une corrélation entre le prix de l'aluminium et le prix de l'énergie.

l'alumine¹ — le principal poste de coût et les crises pétrolières ont joué un rôle important de déclencheur dans l'évolution de l'industrie.

L'aluminium² est un métal léger, ductile, bon conducteur de l'électricité, résistant à la corrosion et doté de propriétés de barrière³, dont les caractéristiques mécaniques peuvent être améliorées par l'addition de petites quantités de métaux (cuivre, manganèse, silicium, magnésium et zinc sont les principaux, seuls ou combinés). Plusieurs centaines d'alliages sont commercialisés. En refroidissant, l'aluminium se recouvre d'une très mince couche d'oxyde (alumine) qui le protège de l'oxydation ultérieure.

Longtemps, il a été commercialisé par les transformateurs sous de multiples formes, produits laminés plats (plaques et feuilles), produits filés et extrudés longs (barres, fils, câbles et tubes) et lingots purs ou d'alliages de fonderie pour la fabrication de pièces. Le changement de structure de l'industrie, fruit amer des années 1970, et l'introduction du contrat sur l'aluminium au London Metal Exchange (LME) en 1978 ont favorisé la vente des produits de base des usines d'électrolyse, plaques, billettes, fil machine et lingots.

L'aluminium conserve ses propriétés dans le temps et il est indéfiniment recyclable. Ainsi, les Associations professionnelles estiment que 75 % des 800 millions de tonnes d'aluminium produites dans le monde occidental sont toujours en service⁴ ! Son coût de récupération est largement payé par sa valeur après refusion. Cet important avantage provient de ce que l'énergie nécessaire à la refusion est seulement de l'ordre de 5 % de celle qui a été consommée pour sa première production, dite « production primaire ». L'activité de recyclage — ou « production secondaire » — s'est considérablement développée depuis un demi-siècle, en particulier pour l'industrie de la boîte de boisson⁵. Aux États-Unis, comme en Europe, mais longtemps après le Japon, la production secondaire a dépassé, en tonnage, la production primaire.

Des actions volontaires sont conduites par les plus grands producteurs — Alcoa, Alcan — soutenues et relayées par les organismes professionnels, pour que l'aluminium fabriqué en Amérique du Nord soit « plus durable⁶ que jamais ». Non seulement la consommation unitaire d'électricité a baissé, mais l'empreinte carbonée a été réduite de près de 40 %. En outre, les économies de carburant que l'allégement des véhicules automobiles procure, pourraient un jour dépasser la consommation d'énergie nécessaire à la production de l'aluminium.

¹ Un document institutionnel d'Alcoa du 8 avril 2014, fait état de la répartition suivante des coûts relatifs : alumine : 33 %, carbone : 14 %, électricité 24 %, production : 23 % et consommables : 6 %.

² Voir une synthèse illustrée : *Aluminum, Light at heart*, Ivan Grinberg, Découvertes Gallimard, 2009.

³ Barrière contre la vapeur et l'humidité, l'air et la lumière.

⁴ Environ 32 pour cents se trouvent dans les bâtiments, 28 pour cents dans les moyens de transport, automobiles, trains et bateaux. Source : <http://logistics.about.com/od/greensupplychain/a/Aluminum-Recycling.htm>

⁵ « 1963 : Invention de l'ouverture facile en aluminium. Jusque là, un ouvre-boîte était utilisé pour faire deux trous favorisant l'écoulement du liquide ; 1975 : Invention du système d'ouverture « tout en bloc » (ou « stay-on tab ») plus respectueux de l'environnement puisque la languette demeure fixée au couvercle ». Source : Le GIE La Boîte Boisson, plaquette 2012.

⁶ « Systèmes de production durable environnementalement : Les experts sont maintenant unanimes pour reconnaître d'une part l'influence de nos modes de production sur la dégradation de notre environnement et d'autre part la finitude des matières premières naturelles. Ces deux défis imposent d'inventer de nouvelles organisations industrielles pour produire de manière durable. » Réf :

http://www.g-scop.grenoble-inp.fr/le-laboratoire/systemes-de-production-durable-environnementalement-455546.kjsp?RH=GSCOP_FR-RECHERCHE.

Par exemple, en 2015, le F-150, le pick-up¹ Ford le plus vendu, sera entièrement carrossé en aluminium de haute qualité. Son poids sera diminué de 700 livres (317,5 kg). Chevrolet agit de même avec son Colorado.

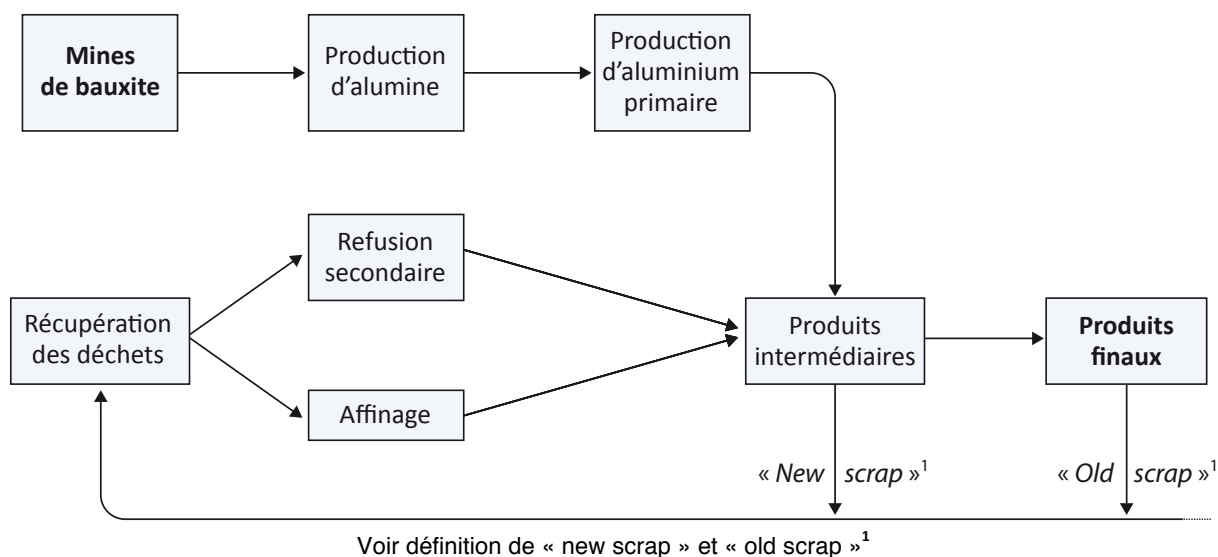
La puissance industrielle a été bâtie, en Amérique du Nord et en Europe entre 1890 et 1970. En URSS et au Japon, le démarrage date des années 1930. Cependant, les informations et les chiffres relatifs à ces deux derniers pays font souvent défaut, si bien qu'ils ne seront évoqués que de façon ponctuelle. Après la Seconde Guerre, le nombre de pays producteurs a commencé à augmenter, leur production aussi et le panorama de l'industrie a beaucoup changé. Dans sa synthèse 1972-2012, Nappi² liste les principaux changements : « Le plus important par ses conséquences est le changement de mines de bauxite en exploitation et le déplacement des usines d'alumine et d'aluminium ; ensuite, viennent la modification de la structure des entreprises productrices — fin de la concentration-intégration — l'émergence de nouvelles zones de consommation, le développement de nouveaux marchés de produits finis, la menace des substituts y compris celle du métal recyclé, la baisse continue des prix réels face à une hausse des coûts, les mécanismes d'ajustement du marché et, depuis peu, l'intérêt porté aux commodités comme classe d'actifs ». Il pourrait ajouter l'évolution de la production d'électricité à laquelle l'industrie a dû s'adapter.

L'intérêt de la présente étude se situe là, précisément, dans la compréhension des changements et leur explication en regard des autres changements perçus dans l'économie du monde, pendant une période de transformations profondes qui continuent. Les évolutions en cours peuvent-elles encore être adaptées pour tenir compte de l'expérience ?

Le recyclage de l'aluminium se développe de plus en plus en raison de l'économie d'énergie qu'il permet. La fabrication primaire, schématisée plus haut — bauxite → alumine → aluminium — est donc complétée par un bouclage qui a une double origine, les produits intermédiaires ou métal neuf et les produits de consommation en fin de vie ou métal usagé. La récupération de ces déchets alimente deux activités, la refusion secondaire — *remelters*, en anglais — qui fournit des alliages de transformation et l'affinage — *refiners* — qui produit des alliages de fonderie. La différence porte sur les applications, donc sur la composition chimique des produits. Schématiquement, l'ensemble a la forme ci-dessous ; il comprend trois sous-ensembles : la production d'aluminium primaire qui est à l'origine de la branche industrielle, la transformation en produits intermédiaires et finaux qui multiplie les formes et les usages de l'aluminium, et enfin le recyclage qui constitue l'autre forme de fabrication du produit de base.

¹ Petit camion à plateau ouvert, très populaire. Voir <http://www.autogo.ca/actualite/salon-de-lauto/ford-au-salon-de-l-auto-de-detroit> et aussi le concurrent, www.chevrolet.ca/

² *The Global Aluminum Industry 40 years from 1972*, Dr. Carmine Nappi, IAI, February 2013. Traduction libre.

Schéma du cycle de fabrication de l'aluminium métal, et de ses produits**II. De nombreuses sources d'information**

Voici quelques mois, la Société Française de Chimie a mis à jour une longue étude de l'aluminium² dans le monde — ses matières premières, sa fabrication et ses usages — que l'on peut qualifier de technique. Preuve que l'aluminium n'a pas perdu de son intérêt, elle constitue une source d'information précieuse et fiable dans son domaine. Quelques années plus tôt, le SESSI³ avait consacré un '4-pages' à « *L'aluminium : un métal jeune à l'avenir prometteur* » à l'enthousiasme peut-être un peu forcé vu la situation en France. Bref, l'aluminium fascine encore un peu, même s'il brille moins que jadis, et les informations disponibles restent d'actualité.

Des consultants, anglais ou américains, publient de longues et chères études qui tentent d'anticiper dans le domaine très fluctuant des prix, des marchés par produit et des coûts de stockage. Les prix au LME, naguère accessibles gratis, sont devenus payants et coûteux. L'information économique et surtout financière est devenue payante ; est-ce l'effet des temps actuels, de la financiarisation des activités de trading ou de la concurrence entre les places financières de Londres, Chicago et Shanghai ?

Seules les organisations professionnelles, européenne (EAA) ou internationale (IAI⁴), mettent en ligne des chiffres de la production mondiale, des stocks, de la source d'électricité mobilisée. Elles publient aussi des études de plus en plus souvent orientées vers la protection de l'environnement et le recyclage — ce qu'ils appellent « *Global Aluminum Industry Sustainability* » — ou des analyses du

¹ Les termes anglais, clairs et concis, sont utilisés ici. « new scrap » désigne des déchets produits au cours de la fabrication. Le métal n'a jamais atteint le stade de commercialisation. « old scrap » désigne au contraire des produits arrivés au terme de leur utilisation.

² En 2013, sans doute ; <http://www.societechimiquedefrance.fr/extras/Donnees/metaux/alum/texalu.htm>

³ Service des études et des statistiques industrielles, <http://www.industrie.gouv.fr/> n°114, juin 1999.

⁴ International Aluminium Institute, 10 Charles II Street, London, SW1Y 4AA, UK www.world-aluminium.org *Global Life Cycle Assessment Inventory Data for the primary Aluminum Industry 2010 Data Final Report*, August 2013. À propos de l'IAI : « En 1972, quand International Aluminium Institute (IAI) fut créé, il comprenait 44 membres ; la production mondiale d'aluminium primaire était inférieure à 12 millions de tonnes ; une unité de production d'une capacité de 150 000 tonnes/an était considérée comme grande. De nos jours, l'IAI comprend 26 membres qui comptent pour 70 % (environ 28 millions de tonnes) de la production primaire mondiale ; une unité de 500 000 tonnes est fréquente et plusieurs approchent du million » dans *The Global Aluminum Industry, 40 years from 1972*, Conférence du D^r Carmine Nappi, février 2013.

passé à l'occasion d'une célébration. Une source officielle américaine, l'USGS¹, publie depuis les années 1930 de nombreuses informations chiffrées et des analyses sur l'industrie de l'aluminium aux États-Unis et dans le monde. Le Canada dispose lui aussi d'un site d'information et de synthèses, Ressources naturelles Canada².

L'histoire est le domaine d'expertise de l'Institut pour l'histoire de l'aluminium³ (IHA). Créé à Paris en 1986, il constitue une source d'information de référence. Il « distingue cinq grandes périodes, aux caractères très marqués, dans l'histoire de l'aluminium : *L'invention de l'aluminium* (jusqu'en 1886), *La naissance de l'industrie* (1886-1914), *D'une guerre à l'autre*, (1914-1950), *Les Trente glorieuses de l'aluminium* (1950-1975) et enfin *L'aluminium « commodité »* (depuis 1975) ».

La référence à des ouvrages d'universitaires ou de professionnels sera fréquente dans la partie économique où les faits sont présentés en relation avec la théorie. Parmi les plus connus, elle comprend notamment les noms de Porter, McCraw, Brubaker et Peck pour les USA, Nappi pour le Québec, Barrand et Gadeau, Morel, Lesclous, Grinberg et Pezet, pour la France.

Comme il est, de plus, possible d'accéder aux ressources internet par le portail distant de l'UPPA, il est aisé de trouver la plupart des informations sur l'aluminium, non financières et non techniques, actuelles ou passées. Pour le fond, l'adéquation aux besoins réels est « circulaire », elle sollicite l'habileté et la chance du chercheur.

Dans le présent travail, la référence à l'industrie de l'aluminium se trouve partout, l'information est en quelque sorte distribuée et non condensée en un seul chapitre. Le présent paragraphe, spécialisé, a pour seul but de donner une idée d'ensemble à l'aide de synthèses et de graphiques. Après, des exemples compléteront l'information au fur et à mesure, avec l'objectif de réunir dans la deuxième partie, les deux domaines en interaction, la théorie économique et la pratique industrielle.

III. La production primaire et l'offre

Après avoir longtemps défié les savants, chimistes du XIX^e siècle qui savaient son existence mais ne parvenaient pas à l'isoler, l'aluminium a été produit par l'Allemand Wöhler sous une forme impure en 1827. Henri Sainte-Claire Deville a effectué en 1854 l'expérience parfaite pour son temps et il a réussi à produire des globules d'aluminium pur qui supportait le contact de l'eau. À partir de là, la production chimique d'aluminium a commencé en 1860 à Salindres, dans le Gard, en petites quantités, car le produit atteignait le même prix que l'argent auquel sa couleur incitait à le comparer. Ses applications relevaient donc des orfèvres et des bijoutiers. Trente années de plus furent nécessaires pour qu'un jeune élève-ingénieur, Paul Héroult, reprenne la voie tracée et arrive à produire de l'aluminium par électrolyse de l'alumine dissoute dans la cryolithe, à l'aide d'une petite dynamo inventée dans les années 1870 par le Belge Gramme. La même année 1886, un jeune chercheur américain, Charles Martin Hall parvient au même résultat! Chacun prend un Brevet et la production commence en même temps, ou presque, aux États-Unis, en Allemagne, en France et en Suisse. Des deux côtés de l'Atlantique, les péripéties sont nombreuses, car tout est à inventer. Mais la production augmente rapidement et le prix baisse. En quelques décennies l'aluminium deviendra le 2^e métal le plus produit au monde, après l'acier.

¹ USGS: United States Geological Survey, site : <http://www.usgs.gov/>

² « C'est le centre d'excellence canadien en matière de données sur l'économie d'énergie, sur l'efficacité énergétique et sur les carburants de remplacement ». Il publie également des rapports sur l'industrie minière. Site: <http://www.rncan.gc.ca/accueil/> Moins utilisé, le site du Royaume Uni, Minerals UK, est très généraliste : <https://www.bgs.ac.uk/mineralsuk/search/home.html/>

³ Site : <http://www.histalu.org/>

Cet exploit a été rendu possible par l'essor concomitant de la production d'électricité qui a fourni la puissance nécessaire, fortement croissante dans le temps, à un coût favorable. Un paragraphe y est consacré, à la suite de celui-ci.

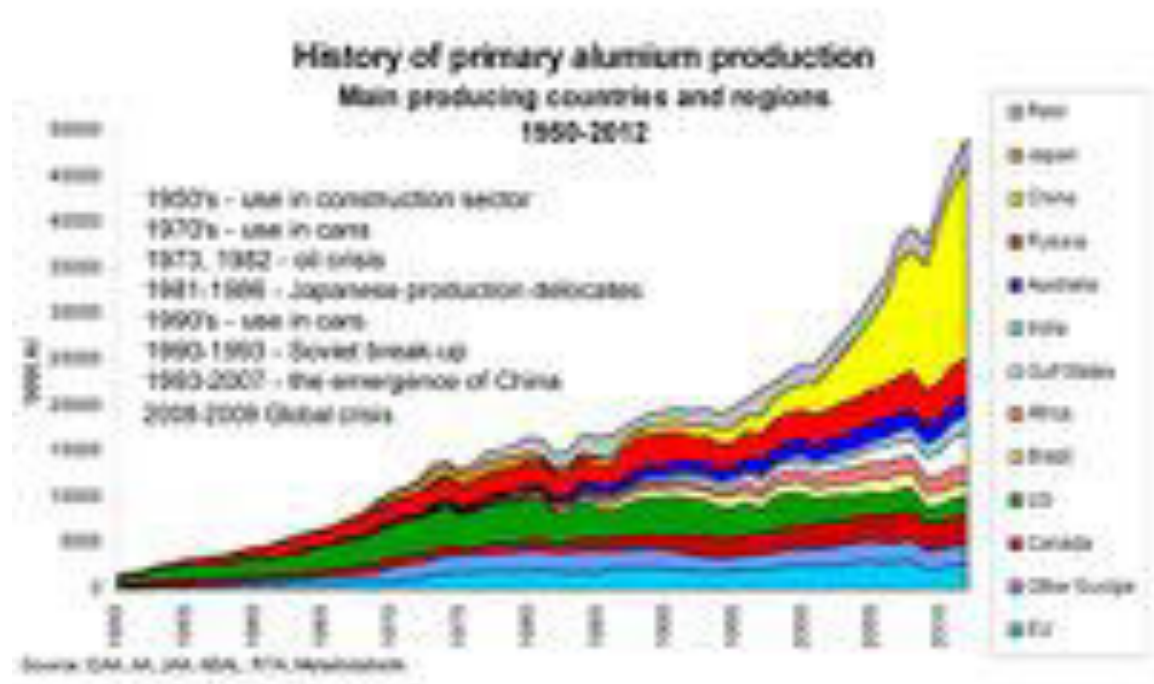
La production primaire mondiale a donc connu, depuis le début de la fabrication par électrolyse, une croissance exceptionnelle, amplifiée de surcroît par la croissance de la Chine à partir de 1990. Son histoire est graphiquement représentée ci-dessous depuis 1950, une couleur par pays ou région. La hiérarchie initiale des premiers producteurs, pays et entreprises, encore perceptible en 1950, a été bousculée par l'augmentation du nombre de producteurs, après les chocs pétroliers¹. Le Japon a été le seul pays à en tirer les conséquences en arrêtant sa production au début des années 1980. La crise de 2008 a laissé partout une empreinte profonde. En 2012, la Chine² a produit 45 % du total mondial, la Russie 10 %, l'Europe 9 % et l'Amérique du Nord 10 % ; l'Australie, l'Inde, les États du Golfe et le Brésil ont des productions significatives — voir l'éclaté ci-dessous.

Les différentes illustrations proposées et les chiffres de la figure « Part régionale de la production d'aluminium primaire dans le monde, de 1970 à 2012 » traduisent l'ampleur du déplacement de l'activité d'électrolyse dans le monde. La dernière décennie a encore amplifié les contrastes. Au premier coup d'œil, le transfert principal va d'Amérique du Nord et d'Europe vers la Chine et le Moyen-Orient, l'Océanie et l'Inde conservant plus ou moins leur rang. Le transfert de technologie, lent pour le Japon dans les années 1960 et rapide aujourd'hui, a permis à la Chine et aux pays asiatiques, plus qu'à d'autres, un rattrapage exceptionnel qui a effacé 40 ans d'absence dans le domaine. L'étude de ce rattrapage, compressé dans le temps et sans doute uniforme, nécessiterait d'accéder à un grand nombre de documents qui restent à traduire, voire à écrire. Elle risquerait d'éclipser les cent premières années de l'activité, sa lente construction et les progrès de tous ordres du XX^e siècle. C'est pourquoi, sans renoncer à regarder vers l'est dans ses aspects récents les mieux connus, les quantités produites et consommées, et les aspects financiers, il a semblé utile et intéressant de faire le point de la situation « occidentale » sur 120 ans, et, après avoir exposé d'où il vient, pourquoi et comment, de se poser la question « Où va l'aluminium ? »

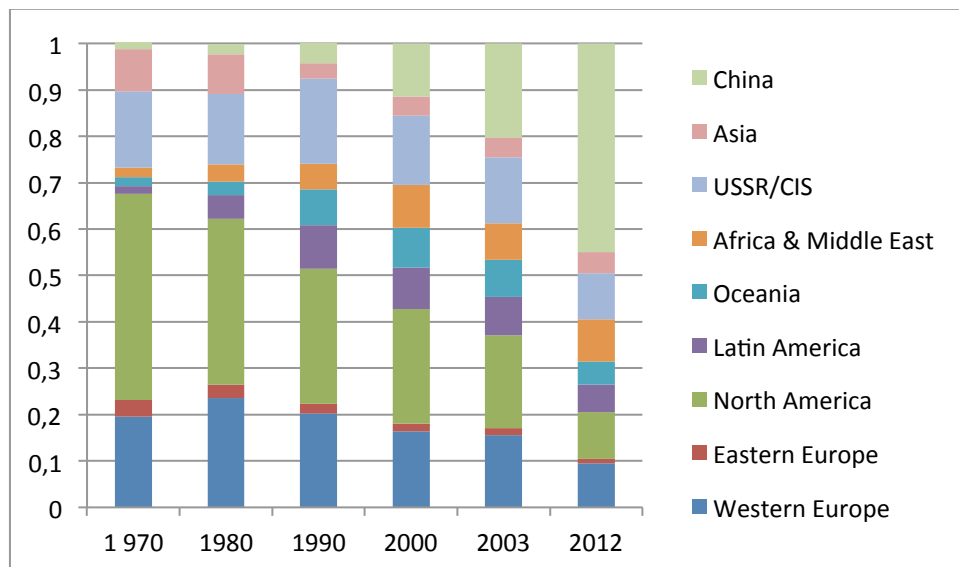
¹ Pour un classement mondial par producteur voir : *The World's Top Ten Aluminum Producers*, 2012
<http://metals.about.com/od/Top-10-Producers/tp/The-10-Biggest-Aluminum-Producers-2012.htm>

² En aluminium primaire, la Chine est devenue le 3^e producteur mondial en 1994, le deuxième en 1999 et le 1^{er} en 2003 ; en aluminium recyclé elle est devenue 2^e producteur mondial en 2002 et 1^{er} en 2003. Source: USGS.

Histoire de la production d'aluminium primaire, principaux producteurs, 1950-2012



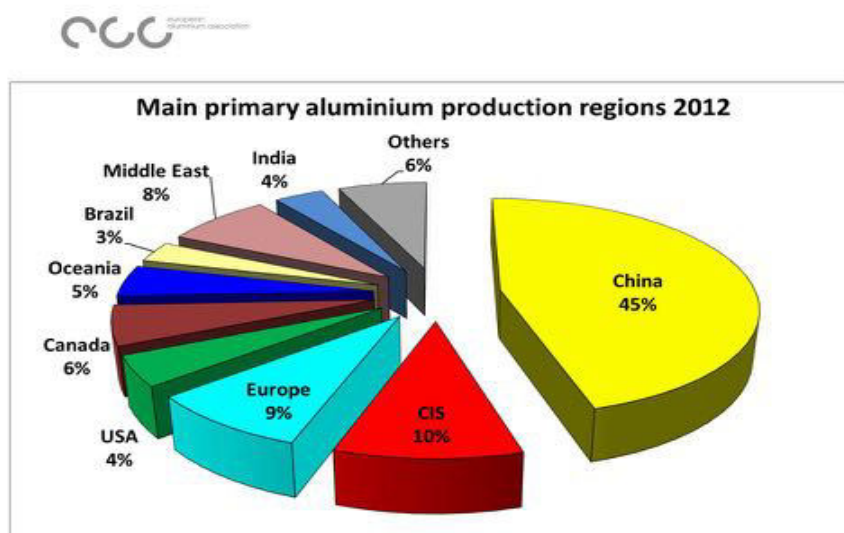
Part régionale de la production d'aluminium primaire dans le monde 1970-2012



Source : Metal Statistics, 1970-2003, d'après Jerry Blomberg, *Essays on the Economics of the Aluminum Industry*, Thèse, Suède, 2006 ; et 2012 EAA.

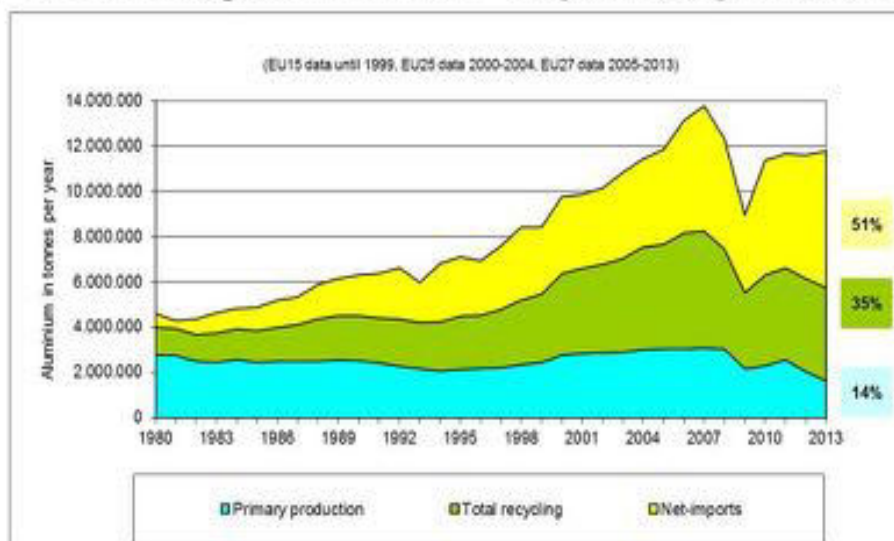
Ces deux graphiques présentent la même information sous deux formes, le premier est quantitatif et historique, le second est géographique et relatif.

L'éclaté ci-dessous présente encore différemment les chiffres de 2012, les derniers publiés, et montre que l'Europe¹, les USA et le Canada produisent aujourd'hui un maigre 19 % de la production primaire mondiale, après avoir été à l'origine de la découverte et maîtrisé le développement pendant 80 ans. Pour eux, la page « primaire » est déjà tournée mais ils ont accumulé des tonnages considérables. La Chine construit un modèle économique particulier qui ne sera peut-être pas le modèle mondial du futur. Alors, il pourrait être profitable à l'Inde, au Brésil, au Mexique, etc. de bien choisir leur modèle.



Les pays de l'actuelle Union Européenne ont produit environ 2,1 millions de tonnes d'aluminium primaire, année après année pendant trente ans. Mais, depuis 2008, cette production a bien diminué (elle couvrait seulement 14 % des besoins en 2013), au profit du recyclage (35 %) et des importations (51 %), comme le montre la figure ci-dessous — due à l'EAA, à périmètre variable — et sur laquelle la crise de 2009 apparaît plus profonde qu'au niveau mondial, surtout pour les importations.

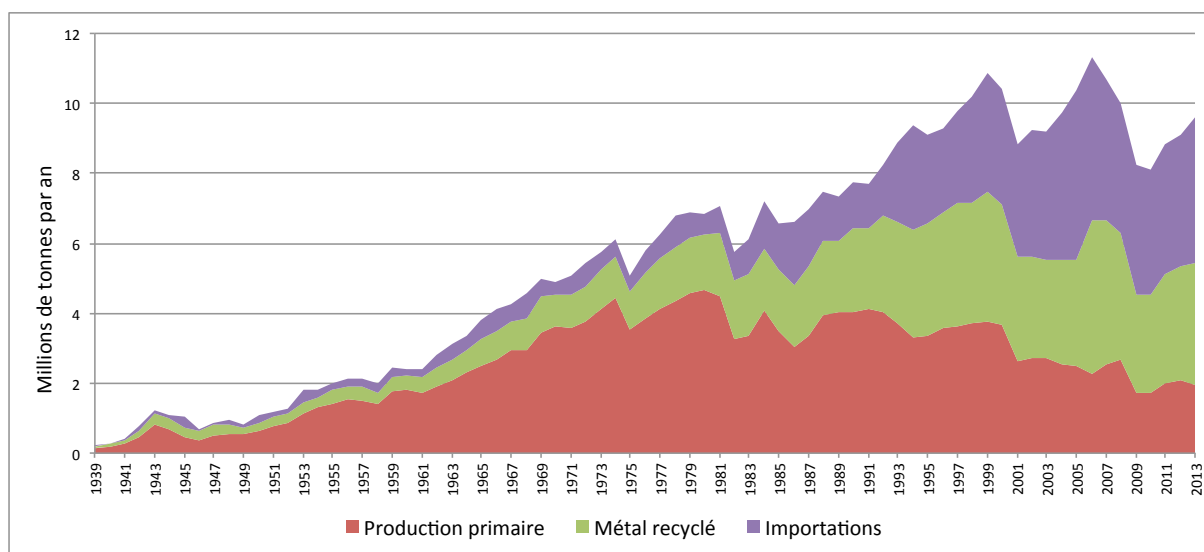
EU Primary aluminium import dependency



¹ EU-27, EFTA et Turquie (EAA, Activity Report).

L'évolution aux États-Unis sur la longue période est facile à visualiser grâce aux statistiques disponibles. Ci-dessous sont représentées les trois formes de l'offre, de 1939¹ à 2011, la production primaire, la production secondaire et les importations :

L'aluminium aux USA



Source : USGS, *Aluminum Statistics*, 3 octobre 2012

Certaines évolutions apparaissent clairement : d'abord la diminution de la production d'aluminium primaire commence comme un autre accident en 1981 ; elle prend en trente ans de très importantes proportions ; la production secondaire augmente avec la Seconde Guerre et elle dépasse la production primaire en 2001 ; enfin, les importations croissent depuis 1942 et elles dépassent les deux autres depuis 2001. L'offre totale chute considérablement en 2006, se stabilise en 2009-2010 et semble repartir à la hausse en 2011. Il apparaît surtout que ni la production secondaire, ni les importations ne stabilisent l'offre qui s'adapte très vite aux marchés devenus mondiaux.

La répartition du métal primaire entre ses composantes, production, importations et exportations de lingots — la forme de base — est représentée ci-dessous, d'après IAI, 2013 :

Parts du métal primaire USA



¹ Les trois grandeurs ne sont mesurées qu'à partir de 1913 et la production primaire l'exporte jusqu'en 1939.

La dépendance envers les importations, devenues prépondérantes tant pour les États-Unis que pour l'Union Européenne après 30 ans de croissance, entraîne un important changement de paradigme : l'effet monétaire des taux de change rapportés à des prix exprimés en dollars US ne peut pas être négligé. La figure suivante, due à Nappi¹, « illustre le haut degré de volatilité du dollar US par rapport aux monnaies des principaux partenaires des USA depuis 40 ans. Elle suggère que les prix faibles de l'aluminium de 1995 à 2002 n'étaient pas dus seulement à de faibles fondamentaux de l'industrie — excédent d'offre des années 1990 suite au dumping du métal russe sur les marchés occidentaux et demande amoindrie par la bulle informatique des années 2000 — mais aussi à la force du dollar sur toute la période. Inversement, s'il ne semblait pas y avoir de limite supérieure au prix de l'aluminium entre 2002 et 2008, ce n'est pas seulement en raison d'une croissance de la demande due au crédit facile ou à l'offre insuffisante de la décennie précédente, c'est aussi parce que le dollar s'est affaibli pendant la période. Les taux de change doivent être pris en compte quand on veut comparer l'industrie à deux dates différentes parce que leurs variations n'affectent pas seulement le prix de l'aluminium — ce dernier varie en sens inverse quand il est exprimé dans d'autres monnaies — mais aussi la compétitivité des producteurs. »

Taux de change pondéré du \$ américain (1970 = 100)



Figure 7: US\$ Trade Weighted Exchange Rate (1970 = 100)
Source: Derived from Global Insight, various years

¹ *The Global Aluminum Industry 40 years from 1972*, Carmine Nappi, IAI, www.world-aluminium.org, February 2013. Entre guillemets, traduction libre.

L'actualité du phénomène est attestée par le rapport 2014 d'Alcoa¹ aux actionnaires qui estime la sensibilité des recettes nettes annuelles de la Société en fonction des variations de change des principales monnaies de transaction — voir ci-dessous :

\$ Australien	+/- \$ 11 million	per 0,01 change in USD / AUD
Réal Brésilien	+/- \$ 3 million	per 0,01 change in BRL / USD
Euro €	+/- \$ 2 million	per 0,01 change in USD / EUR
\$ Canadien	+/- \$ 5 million	per 0,01 change in CAD / USD
Couronne Norvégienne	+/- \$ 5 million	per 0,10 change in NOK / USD

Source : William Oplinger, Executive Vice President and Chief Financial Officer, ALCOA, May 13, 2014

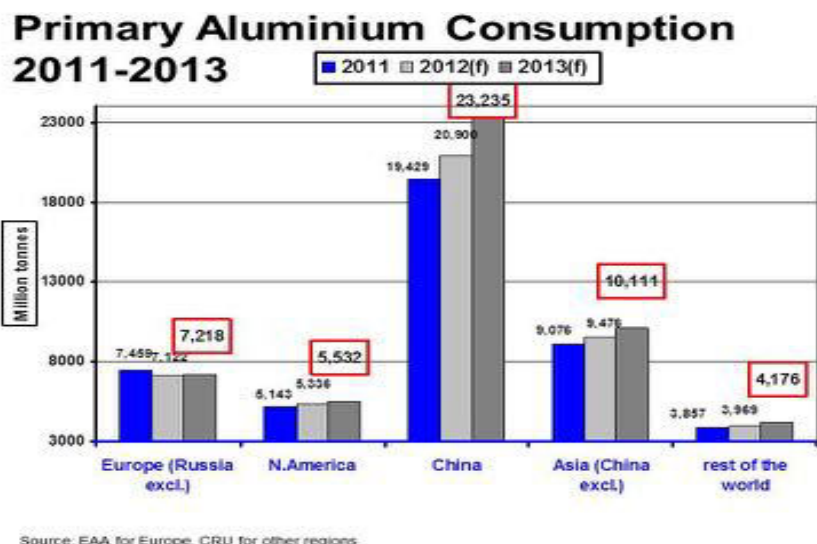
IV. La demande, par régions et par produits

La répartition de la demande par pays et entre marchés, et son évolution dans le temps fournissent beaucoup d'informations sur l'industrie. Plusieurs graphiques vont préciser l'ampleur des changements des dernières décennies. Remonter plus loin dans le temps n'est utile qu'à des comparaisons statiques ou à des calculs économétriques — voir dernière partie.

La consommation primaire² mondiale a été de 50,2 millions de tonnes en 2013. La Chine vient largement en tête, suivie du reste de l'Asie, de l'Europe et de l'Amérique du Nord (voir le graphique ci-dessous pour les années 2011-2013 ; la croissance de la Chine y apparaît formidable, + 20 % en 3 ans) ; la puissance de l'Asie est visuellement atténuée par la mise à part de la Chine et par le décalage sur l'axe vertical. L'Europe décline, l'Amérique du Nord croît encore, grâce au Canada, la Russie se fond dans le reste du monde.

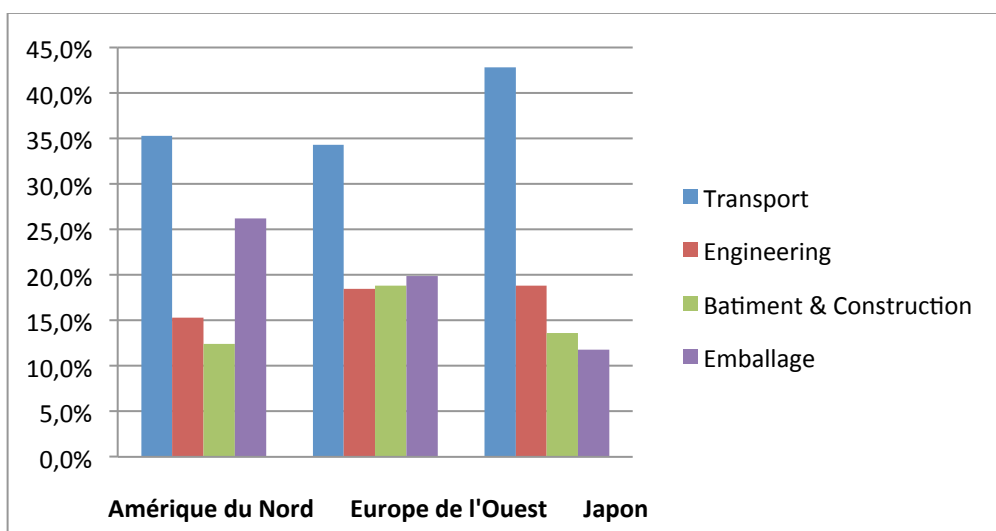
¹ Il comprend aussi une estimation de la sensibilité des recettes nettes au cours du LME : une variation en plus ou en moins du cours de \$100 par tonne métrique entraîne une variation dans le même sens de \$240 millions de recettes nettes annuelles.

² La distinction entre les productions primaire et secondaire est devenue importante dans les années 1970, parce que la production secondaire augmentait. La différence n'est pas toujours affirmée dans les sources consultées et il peut en résulter des différences.



La répartition de la consommation d'aluminium entre les 4 grands secteurs que sont le transport, l'engineering, le bâtiment & la construction, et enfin l'emballage a toujours différé suivant les régions du monde. Elle a aussi varié dans le temps. Le graphique ci-dessous montre qu'en 2010, en Amérique du Nord, en Europe de l'Ouest et au Japon, le premier poste de consommation est le même, c'est le transport, sans doute en relation avec la part de l'aluminium dans l'automobile et l'aéronautique pour réduire la consommation de carburant. Sa part relative (35 à 42 % aujourd'hui) a doublé par rapport aux années 1970, sa dispersion régionale s'est réduite. L'équipement en machines et en lignes de transport de l'électricité contribuait à l'importance du poste Engineering quand les pays étaient en forte croissance, ce n'est plus le cas. Le bâtiment consomme seulement de 12 à 18 % de la consommation totale ; plusieurs substituts y sont disponibles, acier, bois, verre et plastiques, la concurrence est forte. La principale différence entre les régions se trouve dans l'emballage : les États-Unis se placent loin devant l'Europe de l'Ouest et le Japon. La compétition entre acier et aluminium dans la boîte de boisson a repris, l'acier ayant rattrapé son handicap d'image pour le recyclage.

Répartition de la consommation d'aluminium primaire par emploi final, dans trois régions du monde, en 2010



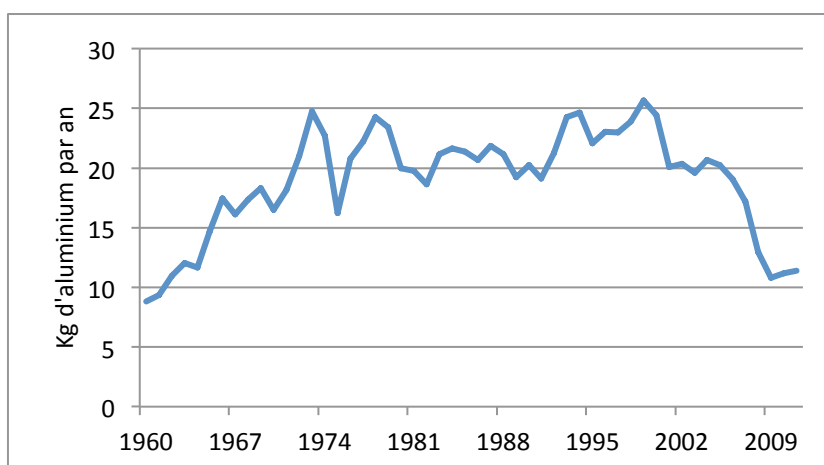
Source : Nappi, 2013, op. cit.

Début 2013, Nappi¹ listait les atouts de l'aluminium en relation avec ses marchés :

- ✓ « le passage du cuivre à l'aluminium — favorisé par une énorme différence de prix — dans les câbles électriques de distribution, les puits de chaleur dans l'électronique, les barres omnibus, les câbles de batterie, la filerie et le bobinage des moteurs des conditionneurs d'air et de l'électroménager ;
- ✓ « l'emploi dans l'électronique de grande consommation, le dos des écrans plats de télévision, les portables — ordinateurs, tablettes et téléphones — et le revêtement de surface des batteries auto ;
- ✓ « les applications 'vertes' comme le cadre des panneaux solaires et les câbles de sortie des éoliennes ;
- ✓ « mais la substitution marche dans les deux sens ; l'aluminium est concurrencé : dans le bâtiment par les plastiques, dans l'aéronautique par les composites et, dans l'emballage, surtout aux États-Unis, par les bouteilles individuelles en plastique. »

La consommation apparente (estimée) des États-Unis est définie par l'USGS comme la somme de la production primaire, de la production secondaire (produits usagés) et des importations moins les exportations, corrigée des variations en plus ou en moins des stocks totaux². Cette grandeur comptable³, rapportée à la population, est représentée ci-dessous, depuis 1960. Il apparaît une tendance à la décroissance depuis les années 2000, après un « plateau » de presque 30 ans à 20-25 kg par habitant et par an. Le ralentissement de la croissance, non anticipé, pourrait être à l'origine d'une surcapacité durable et donc des difficultés connues par l'industrie dans son ensemble. Si ce schéma se généralisait à d'autres régions de consommation, il porterait un coup aux tendances à l'extrapolation du passé. Le point n'est pas précisé mais il paraît vraisemblable que le recyclage des boîtes de boisson en domaine quasi autarcique et le ralentissement des investissements dans le transport d'électricité contribuent au ralentissement de la consommation apparente américaine. En revanche, les récents projets de l'industrie automobile d'alléger davantage les véhicules grâce à l'emploi de l'aluminium, pourraient avoir un fort impact et relancer la croissance, le temps de constituer le stock en roulement.

Consommation apparente par habitant aux USA, 1960-2011



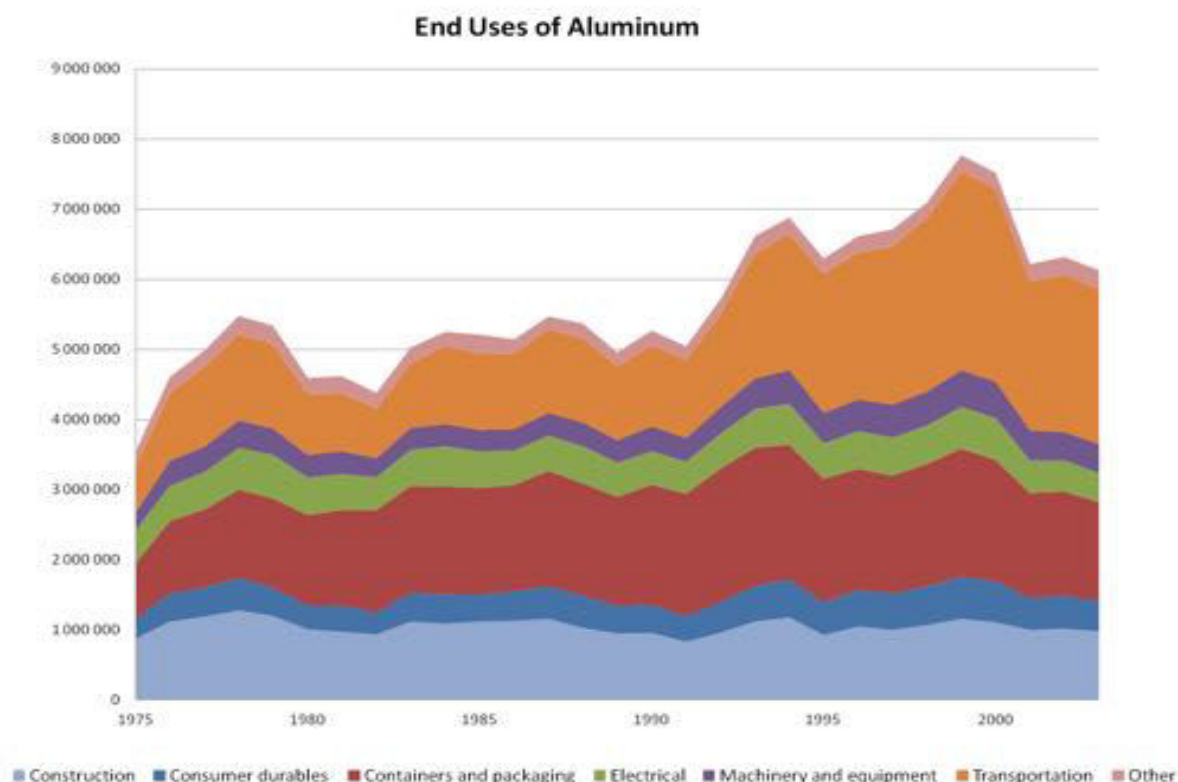
Source: USGS, Aluminum Statistics, October 2012.

¹ *Op. cit.* Traduction libre.

² « Stock total » = stock total d'aluminium aux États-Unis, incluant l'industrie, le LME et le stock stratégique à la fin de l'année (31 décembre).

³ Elle ne tient évidemment pas compte des importations ou réimportations dans les produits finis.

La même source précise la répartition des emplois de l'aluminium aux États-Unis entre construction, biens durables, emballages, électricité, machines et équipements, transport et autres, de 1975 à 2003, donc avant la crise. Voir ci-dessous, « les Usages finaux de l'aluminium ».



Source: Aluminum End-Use, Matos and Plunkert, USGS, mars 2006.

Au plan international, « des études datant d'une dizaine d'années ont montré que la consommation d'aluminium par habitant est reliée à la moyenne du niveau national du revenu, mesuré par le GDP¹ par tête, en parité de pouvoir d'achat. Les données relatives aux 40 pays les plus peuplés se trouvent dans le document cité en référence². Ces 40 pays ont consommé 36,3 millions de tonnes en 2006, soit environ les deux-tiers de la production mondiale ». Les chiffres sont représentés ci-dessous sur un graphique où le GDP se trouve en abscisses et la consommation d'aluminium en ordonnées.

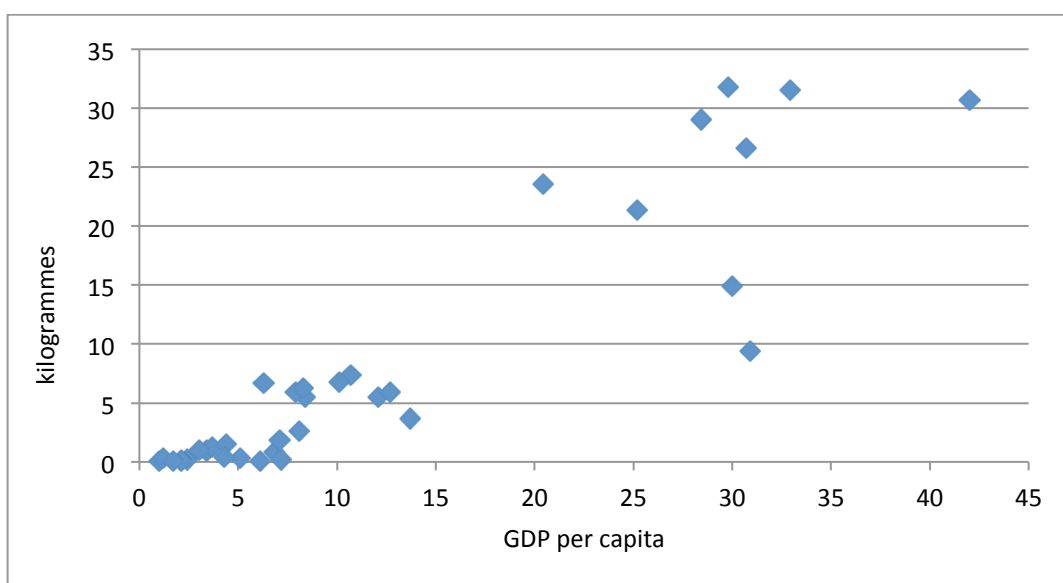
Cette représentation des chiffres relatifs à 6 pays européens et à 34 pays très peuplés, donne lieu, dans le même document, au calcul par régression d'une fonction logistique à visée prospective [Consommation d'aluminium par tête : $Al/c = 29,41/(1 + e(-0,00021 * (GDP/c - 17,000)))$]. Hors de ce cadre, le graphique peut être interprété comme distinguant trois sous-groupes de pays. Le premier est trop pauvre pour recourir à l'aluminium, GDP pp/capita inférieur à 10 000 \$ et moins de 5 kg d'aluminium par an et par personne ; quelques pays commencent cependant à décoller, comme l'Inde, l'Indonésie, l'Égypte, le Viêt-Nam et l'Iran. Le deuxième sous-groupe, composé de ceux qui entourent 10 000 \$ de GDP et dépassent les 5 kg d'aluminium — la Chine, le Brésil, la Russie, le Mexique, la Turquie, la Thaïlande, l'Afrique du Sud, la Pologne — semble tendre vers le groupe de

¹ PIB ; par cohérence avec la source, la terminologie américaine a été conservée.

² OECD Global Forum on Environment Focusing on Sustainable Materials Management, 25-27 October 2010, Mechelen, Belgium.

tête, bien que la dispersion de leurs GDP soit importante. Enfin, les 9 pays de la catégorie « 30 000 \$ et 20 kg » sont dispersés entre l'Allemagne (premier), le Canada et les États-Unis¹ qui consomment plus de 30 kg d'aluminium et le Royaume Uni — est-ce parce qu'il en produit peu ? — qui limite sa consommation à 10 kg. Alors qu'ils ont longtemps occupé une position de premier plan dans le recyclage, l'Italie (4^e) et le Japon (5^e) prennent ici une position intermédiaire loin — en kilogrammes — devant la France, devancée par la Corée et l'Espagne. Anticiper l'augmentation de la consommation d'aluminium qui accompagne la croissance du GDP est fondamental si cela permet d'estimer la consommation d'aluminium dans le futur, pour le monde. Mais le monde va-t-il suivre le modèle américain ou va-t-il parvenir à conserver durablement un ratio moins élevé entre production primaire et production secondaire² ?

Consommation d'aluminium per capita, en 2006 dans les 40 pays les plus peuplés



Source : OECD Global Forum On Environment Focusing On Sustainable Materials Management 25-27 October 2010, Mechelen, Belgium; unité GDP : US\$ en parité de pouvoir d'achat.

¹ Visiblement, les définitions retenues par l'USGS et l'OCDE pour les États-Unis ne sont pas les mêmes...

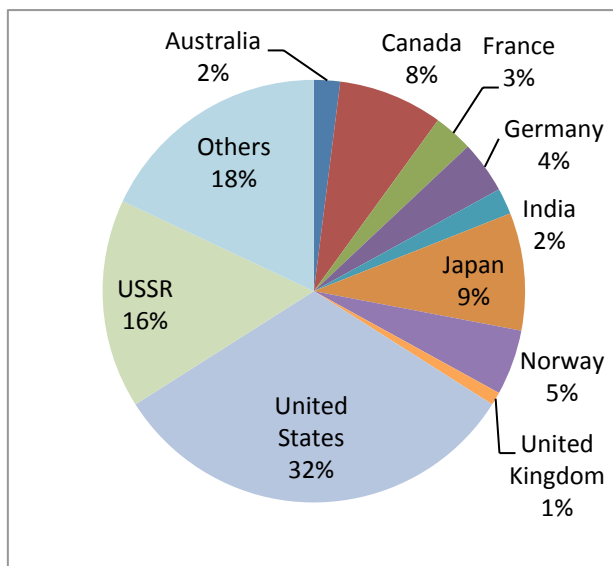
² Serait-il possible — ce serait fructueux pour l'environnement — d'éviter d'accumuler des tonnages considérables dans les pays en croissance comme l'ont fait les « vieux » pays développés ? L'optimisation de politiques de récupération et de recyclage devrait tenir compte des parts relatives des 4 grands secteurs que sont le transport, l'engineering, le bâtiment & la construction, et l'emballage.

V. Quarante ans d'évolution dans le monde de l'aluminium primaire, 1972-2012

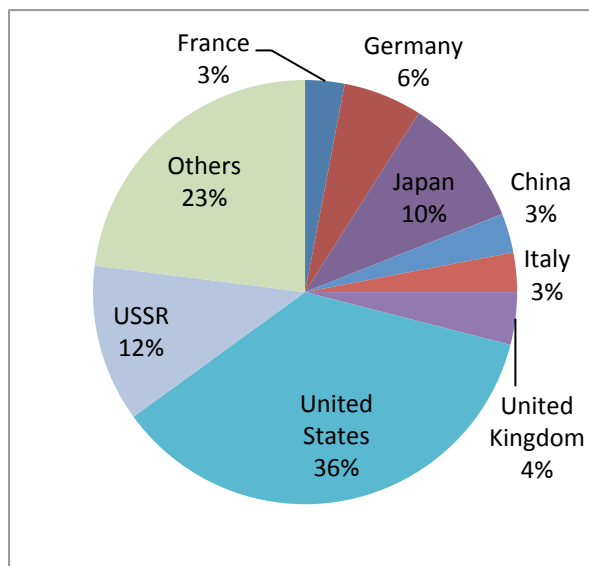
L'évolution a porté sur les quantités, sur les pays d'origine ou de destination et sur la technologie mise en œuvre.

i. Production et consommation

Production (à gauche) et consommation (à droite) d'aluminium primaire en 1972¹

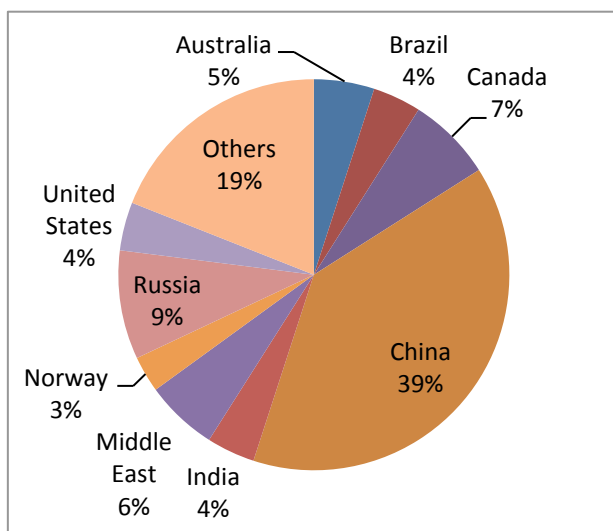


Production : 11,7 millions de tonnes

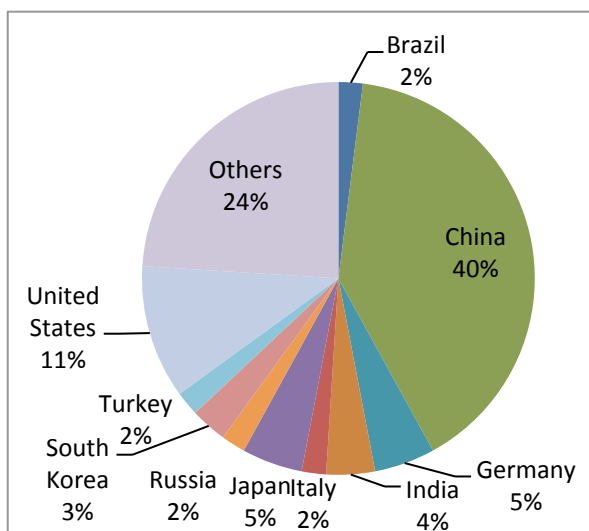


Consommation : 11,85 millions de tonnes

Production (à gauche) et consommation (à droite) d'aluminium primaire en 2010



Production : 41,1 millions de tonnes



Consommation : 39,66 millions de tonnes

En raison de l'attrait dû à ses propriétés, l'aluminium a connu une croissance annuelle composée de près de 10 % sur la période 1945-1972, dépassant celle du PIB. Il a donc gagné en intensité d'emploi, en particulier dans les applications à la construction, les câbles électriques, les feuilles

¹ Source des valeurs : Nappi, *op. cit.*

minces et l'industrie aéronautique. Dans les années 1970, il a profité du développement des boîtes de boisson. En 1972 — voir plus haut — 62 % de la consommation d'aluminium se faisait encore dans cinq pays occidentaux, menés par les USA (36,3 %), plus le Japon (10,3 %). La Chine comptait pour moins de 3 %, l'URSS pour environ 12 %¹.

La comparaison entre les diagrammes ci-dessus peut être déclinée, pays par pays, horizontalement ou verticalement. Elle est pleine d'enseignements sur la croissance relative, les flux de métal, les déplacements des lieux de production et de consommation, etc. Ainsi en 2010, par exemple, les parts relatives du Canada et de la Norvège se sont réduites alors que l'Inde, la Corée du Sud et la Turquie ont fait leur apparition parmi les grands consommateurs ; en revanche la France et le Royaume-Uni ont disparu de la liste... Un cinquième de la production et un quart de la consommation mondiale relèvent de « pays autres » dont la part individuelle est inférieure à 2-3 %, ce qui témoigne de l'existence d'une frange importante. En 2010, la consommation était inférieure à l'offre ; en 2014, la relation s'est inversée et la Chine s'oriente vers une augmentation du prix du kWh.

ii. L'évolution de la technologie

La fin du XIX^e et l'ensemble du XX^e siècle ont été marqués par de considérables progrès technologiques qui ont rendu possible la croissance dans tous les domaines. Aux débuts de l'aluminium, le progrès était indispensable au développement du produit de l'électrolyse — le métal liquide — et des produits commercialisables. Le titre qui mesure la qualité chimique du métal, indique la quantité maximale d'impuretés qu'il contient — principalement fer et silicium. Le titre moyen — 99,7 % ou mieux, aujourd'hui — a été progressivement amélioré par une meilleure qualité des matériaux et par la mécanisation des interventions d'exploitation. Les propriétés métallurgiques du métal sont devenues plus régulières et des métaux d'addition bien dosés ont augmenté les possibilités d'applications. Au LME, le contrat a pris en compte ce progrès que les producteurs valorisaient auparavant sous la forme de plus-values de titre. Pour des applications électroniques exigeantes, l'aluminium peut atteindre une pureté à « cinq neufs² » par une électrolyse supplémentaire ou un procédé métallurgique.

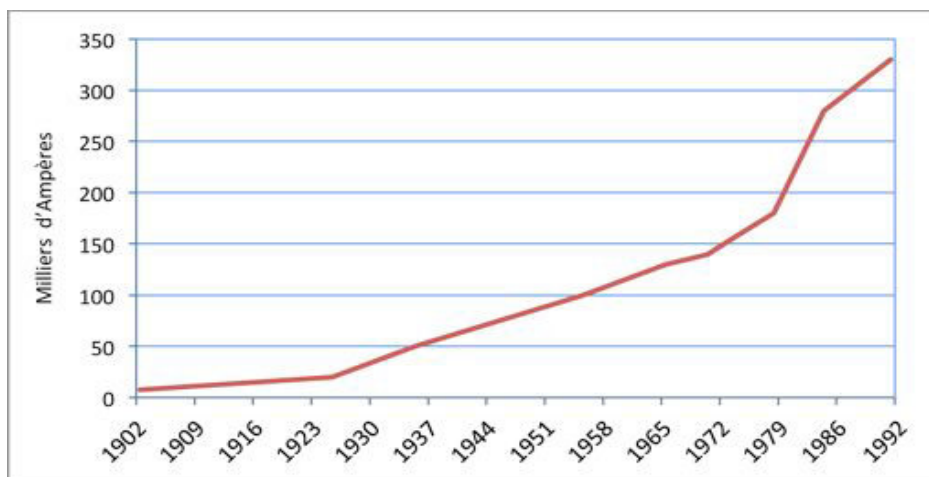
La technologie de l'électrolyse a évolué entre les nombreuses contraintes inhérentes à la température du procédé, proche de 1 000 °C. « Exogène » au début, le chauffage était effectué par des brûleurs à gaz. Une meilleure maîtrise des flux de chaleur a permis de le rendre « endogène », en le réalisant par le passage du courant d'électrolyse. Pour diminuer les coûts, il a fallu travailler sur tous les fronts : augmenter la taille de la cuve de production — en acier — et l'intensité du courant, réduire la consommation d'électricité, réguler la température, réduire les pertes de chaleur — par l'amélioration de la qualité des produits réfractaires et de leur répartition dans la cuve — assurer une excellente étanchéité au passage des sorties de courant, faciliter puis mécaniser le travail à proximité des parois chaudes, etc.

À la fin des années 1970, un seuil dû à l'effet des champs magnétiques a pu être dépassé. La taille des cuves a de nouveau augmenté et l'intensité du courant est passée de 145 000 à 180 000 Ampères. Elle a ensuite été portée à 300 000 Ampères, grâce à des améliorations successives. Elle doit atteindre 600 000 A dans des installations en construction et pourrait encore continuer à croître.

¹ Source : Nappi, *op. cit.* Traduction libre.

² 99,999 %.

Intensité du courant d'électrolyse

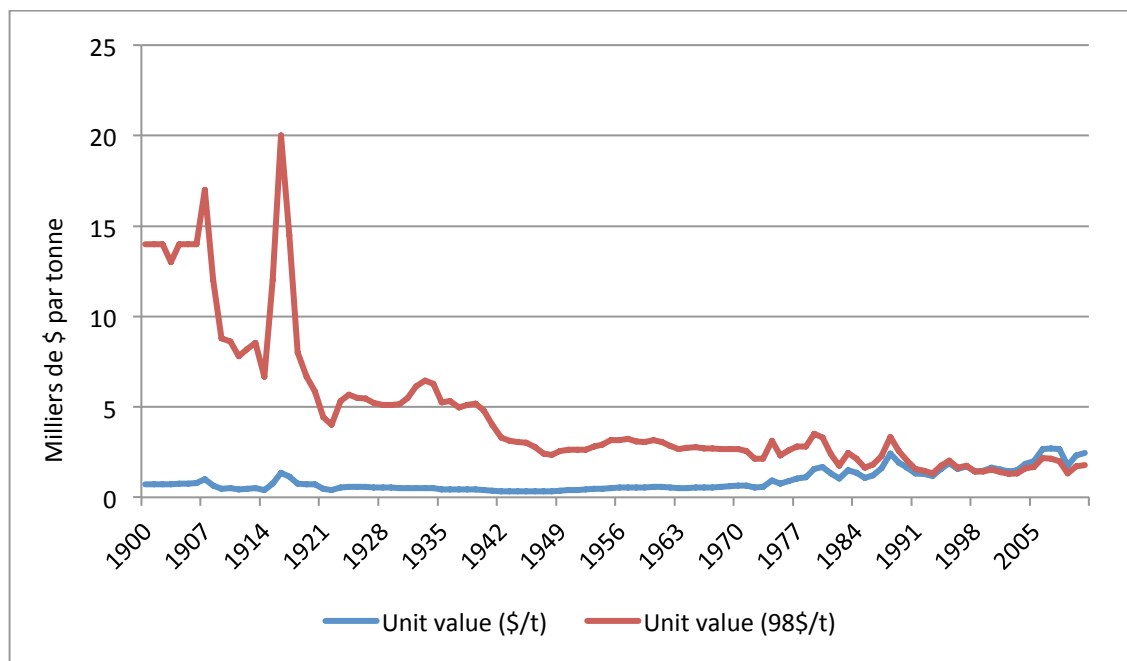


Source : René Lesclous, *Histoire des sites producteurs d'aluminium, Les choix stratégiques de Pechiney 1892-1992*, Les Presses de l'École des Mines, 2004.

VI. Les prix, les mécanismes d'ajustement

Le prix de l'aluminium est sans doute la chose la plus compliquée, voire la plus confidentielle qui soit ! Après plus de quatre-vingts années de prix producteurs et d'échanges internationaux modérés, sont arrivées, la cotation au London Metal Exchange (LME¹) en 1978 et l'ouverture progressive au monde de la finance et de la concurrence. Les prix de l'aluminium collationnés par l'USGS sont représentés ci-dessous, de 1900 à 2011, en dollar courant et dollar constant 1998 (milliers de \$/t).

Prix de l'aluminium primaire aux USA 1900-2011



Source : USGS

¹ Le LME sera présenté en deuxième partie. Il a fait l'objet d'un mémoire de Master2 d'Économie Internationale à la Faculté de Pau (UPPA), en 2008.

Récemment, d'importants retards de livraison du métal à partir des entrepôts américains du LME ont nui à l'activité de gros clients et entraîné de leur part une action en justice aux États-Unis. Elle est en cours. Elle semble plus ou moins liée à l'existence d'une prime de livraison qui s'ajoute à la cote LME. Pour faire le point sur ce sujet d'actualité, la question a été posée à des spécialistes de MMI¹, (MetalMiner™), voici la traduction de leur réponse :

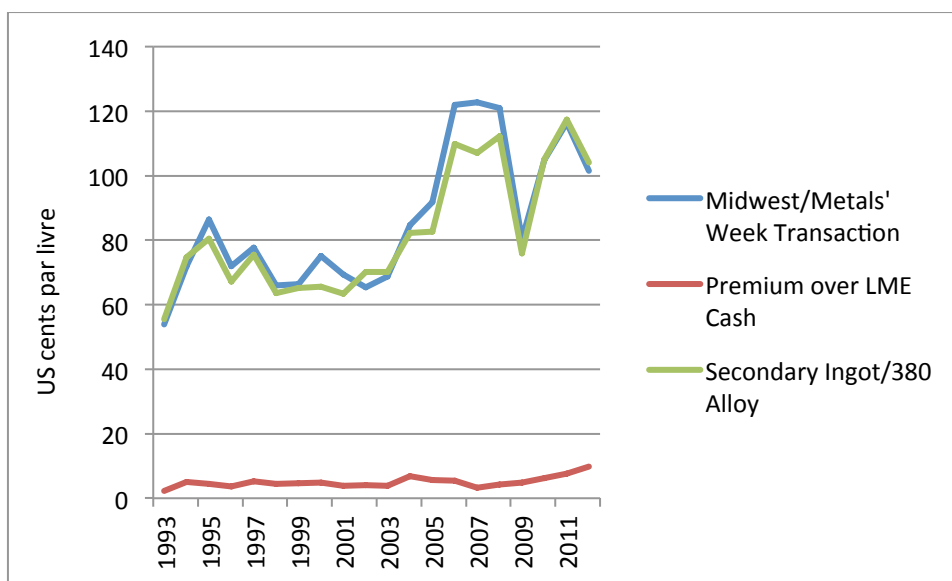
« Il y a eu de tout temps une prime sur l'aluminium. Autrefois, elle était faible et sa valeur variait peu. Ainsi les acheteurs n'y faisaient pas trop attention.

« La prime varie suivant les régions, elle représente le coût de livraison du métal aux hangars de stockage du LME. Les producteurs sont maintenant en droit d'appliquer la prime en dehors du LME. Autrement dit, une prime s'applique à toutes les expéditions d'aluminium dans le monde, quels que soient les producteurs et les acheteurs.

« La prime a augmenté parce que les échanges de métal et de papier commercial concernant l'aluminium ont eux aussi beaucoup augmenté depuis 2008. Cela s'est aggravé avec les terribles files d'attente qui ont touché deux lieux de stockage du LME, Flessingue (Pays-Bas) et Détroit (USA). Ces attentes ont provoqué une distorsion de la prime qui s'est globalement répercutée sur toutes les tonnes, achetées et vendues ».

Aujourd'hui, la prime varie suivant les régions et elle atteint couramment 200 à 300 \$ par tonne. Le graphique suivant confirme l'ordre de grandeur et la forte hausse de la prime depuis 2007.

Prix U.S. de l'aluminium



Source : Platts Metals Week

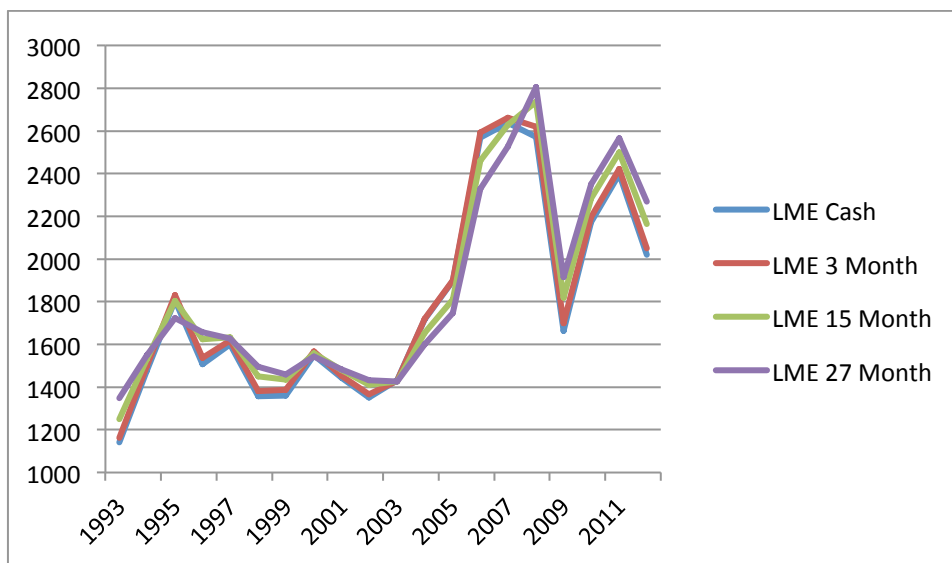
Dans l'Union Européenne (UE), la prime a une histoire liée aux droits de douane, 6 % avant 2007 et 3 % depuis, appliqués à la valeur CIF (LME plus fret) ; elle augmente donc avec le cours du LME. Les producteurs de l'UE appliquent cette prime, comparable à la prime américaine Midwest. Elle est publiée par le *Metal Bulletin*, ce qui lui donne un aspect officiel.

Par mécanismes d'ajustement, il faut entendre les moyens dont disposent les acheteurs et les vendeurs sur le marché pour limiter leurs risques. Les différents prix du LME suivant les échéances

¹ Lisa Reisman c/o MetalMiner, 421 W. Melrose, Suite L2, Chicago, Illinois 60657, United States.

sont représentés ci-dessous depuis 1993 et le sujet sera développé dans le paragraphe consacré au LME.

LME Contracts (\$ per tonne)



Source : Platts Metals Week

En complément, divers prix de 2011 et 2012, collationnés par l'USGS pour des produits différents, seront indiqués en même temps que les données relatives aux échanges internationaux.

VII. Les coûts, les contraintes étatiques

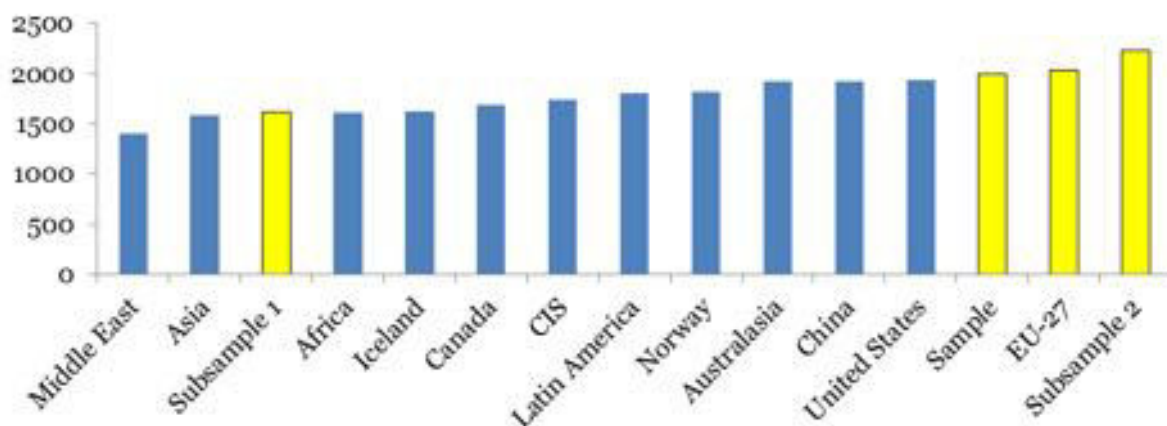
En 2012, les pays de l'UE ont, en moyenne, pâti des coûts de production¹ les plus hauts (2 041 \$/tonne), suivis des USA (1 944 \$/t), de la Chine (1 923 \$/t) et de l'Australie (1 922 \$/t). Si les producteurs de l'UE, mal placés dans leur ensemble, sont séparés en deux groupes, désignés ci-dessous comme *subsample1* et *subsample2*, les premiers, protégés par leurs contrats d'électricité de long terme, ont un coût de 1 615 \$/t et les seconds, totalement exposés à la réglementation de l'UE, de 2 229 \$/t. Les premiers sont très compétitifs : seuls les producteurs du Moyen-Orient (1 402 \$/t) et d'Asie (1 582 \$/t) sont mieux placés.

Si, maintenant, aux coûts de production des installations du Moyen-Orient sont ajoutés les frais généraux et le coût du capital, le total monte à 1 880 \$/t, c'est le plus bas de tous. Derrière, arrivent l'Islande (1 982 \$/t) puis le *subsample1* (1 992 \$/t). En moyenne, les coûts complets les plus élevés sont subis par les producteurs d'Australasie (2 383 \$/t), proches de ceux des producteurs de l'UE à 27 (2 318 \$/t). Les producteurs du *subsample2* (2 462 \$/t) sont les moins compétitifs. Les producteurs du Canada, de Norvège, de Russie, de Chine, des USA et d'Amérique Latine se situent entre 2 157 et 2 207 \$/t.

¹ Les coûts de production comprennent les matières premières, l'énergie, la main-d'œuvre et l'entretien. L'analyse porte sur un échantillon de 11 usines d'aluminium primaire sur les 16 qui étaient encore actives dans l'UE-27, fin 2012. Cet échantillon représente environ 60 % de la production primaire totale de l'UE fin 2012. Source des valeurs du texte, du diagramme et du commentaire : Commission Européenne — MEMO/13/954 06/11/2013.

Les coûts de production par Région sont représentés sur l'histogramme ci-dessous en ordre croissant. Ils montrent que la compétitivité des pays producteurs, aujourd'hui, dépend bien plus de leur localisation géographique que de la performance individuelle et de la technologie des entreprises. Pour l'année considérée, 2012, le prix moyen du LME a été calculé à 2 049 \$/tonne, ce qui explique la situation jugée précaire de l'industrie dans son ensemble.

Coût d'exploitation moyen par tonne d'aluminium en 2012 (\$ 2012)



Source : Assessment of Cumulative Cost Impact for the Aluminium Industry, Executive Summary, EAA, 2013

Très important, un thème à l'origine justement de l'analyse des coûts ci-dessus, reviendra fréquemment dans la présente étude, c'est celui de l'intervention des États dans la compétition mondiale. Il ne sera pas traité systématiquement, mais de nombreuses situations conduiront à l'évoquer. Ici, la comparaison des coûts mondiaux qui met en évidence la mauvaise position d'ensemble de l'Europe, est accompagnée d'une évaluation des coûts supplémentaires induits par la réglementation européenne. À titre d'exemple, ses conclusions sont reproduites *in extenso* pour décrire les faits et la gravité de la distorsion de concurrence qu'ils engendrent :

« Le présent document résume les résultats clés de l'étude évaluant les effets cumulés (directs, administratifs et en termes de conformité) sur les coûts supportés par le secteur de l'aluminium et attribuables aux politiques de l'UE en matière d'énergie, de changement climatique, d'environnement, de concurrence, de commerce et de produits, mises en œuvre au cours de la dernière décennie (2002-2012). Cette évaluation a été réalisée par le CEPS (Centre for European Policy Studies) sur demande de la Commission européenne.

« Les usines pleinement exposées aux politiques européennes en matière de changement climatique et d'énergie ont vu leurs coûts de production monter en flèche jusqu'à 228 € par tonne de produit fini, soit 11 % des coûts de production totaux matières premières incluses (20 % si on ne les prend pas en compte), et sont ainsi les moins compétitives au niveau mondial.

« Les usines moins exposées à ces politiques, c.-à-d. celles qui sont encore protégées par des contrats énergétiques à long terme préexistants mais qui arriveront bientôt à expiration, font face à des coûts réglementaires européens de 27 € par tonne.

« Pour les fonderies [usines] les plus exposées, soit la majorité dans l'UE, les coûts réglementaires encourus proviennent de la répercussion des coûts et surtaxes énergétiques

pour soutenir les coûts des énergies renouvelables et liés au réseau (49 %), des coûts indirects du système d'échange de quotas d'émission, intégrés dans les factures d'électricité (42 %) et des coûts environnementaux (9 %).

« Le coût cumulé des règles et règlements de l'UE est passé de 23 % des bénéfices en 2006 (l'année la plus rentable pour le secteur) à 242 % en 2011, lorsque les marges étaient au plus bas en raison de la crise.

« L'évaluation du CEPS montre clairement que les politiques et législations de l'UE ont des effets contre-productifs sur la compétitivité du secteur et dévalorisent les actifs exposés aux règles européennes. **Le secteur n'est pas compétitif en raison des coûts des politiques européennes.** »

Il sera tenu compte de ces résultats dans la conclusion.

VIII. Les échanges internationaux

Les échanges mondiaux d'aluminium sont extrêmement divers et ils fluctuent rapidement. Leur évolution a probablement tenu compte de la délocalisation des dernières vingt années. La CNUCED¹ publiait des tableaux de chiffres, importations et exportations, d'aluminium et d'alliages, pour les principaux pays développés et en développement, mais les séries ont été interrompues il y a quelques années. Les chiffres les plus complets et les plus aisés à interpréter sont encore une fois ceux de l'USGS qui concernent les États-Unis, tant à l'import qu'à l'export.

i. Exportations U.S.

- Les exportations impressionnent par leur diversité. D'abord, diversité des produits, rassemblés en 3 grandes catégories : métal pur et allié, brut ; produits transformés : plaques, feuilles, barres, pièces coulées et forgées, etc. ; et enfin, déchets de toute sorte. Ils sont tous rapportés en quantité et en valeur. Nombre de destinataires de ces produits : 22 pays en 2011 et 2012 ; tonnage total 3,4 millions de tonnes pour une valeur d'environ 9,5 milliards de dollars.

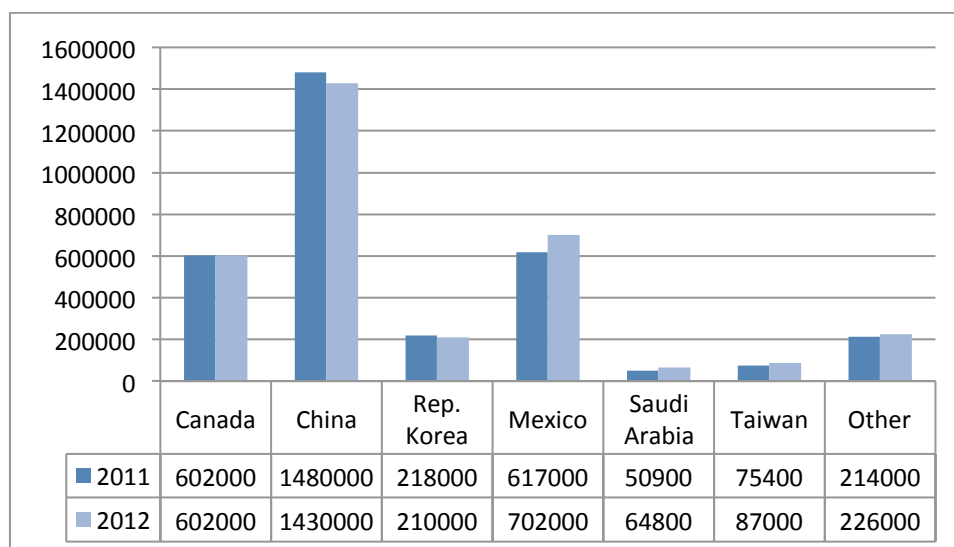
- Dans le détail des produits, un poste occupe une grande place, c'est celui des déchets : environ 2 millions de tonnes pour une valeur de 4 milliards de dollars en 2011 et de 3,5 milliards en 2012, soit 1 900 à 1 700 \$/t, reflétant plus ou moins les cours du métal allié, neuf. Pays destinataires : Chine, Corée, Canada et Mexique, avec des tonnages presque identiques sur les deux années considérées. Les deux autres catégories de produits apparaissent alors plus faciles à saisir dans leur ensemble, d'une part 314 000 et 360 000 tonnes suivant les années, pour les produits bruts², valorisés environ 900 millions de dollars les deux années, soit respectivement 2 900 et 2 500 \$/tonne et, d'autre part, 964 000 et 1 080 000 tonnes pour les produits transformés et des valeurs de 4,69 milliards et 5,1 milliards de dollars, soit 4 865 et 4 713 \$/tonne en moyenne.

Les exportations en tonnage, tous produits confondus, limitées à celles qui ont dépassé 20 000 tonnes annuelles, concernent 6 pays et sont illustrées ci-dessous avec leurs valeurs annuelles. Elles sont très stables sur les deux années considérées :

¹ « Régie par ses 194 États membres, la CNUCED est l'organe des Nations Unies chargé des questions de développement, en particulier du commerce international qui en est le principal moteur ».

<http://unctad.org/fr/pages/AboutUs.aspx>

² *Crude* en anglais, non transformés.

Principales exportations U.S. (tonnes)

Source : USGS, myb1-2012

Les valeurs reflètent les tonnages avec quelques faibles variations. Le « modèle » d'exportations semble stable, au moins à court terme.

Les produits se sont échangés à des prix unitaires qui semblent élevés par rapport au cours moyen du métal, d'après la martingale ci-dessous — en dollars par livre¹— et la valeur ajoutée de transformation est de l'ordre de 2 000 \$/tonne. L'Arabie Saoudite, le Canada et le Mexique paient leurs produits respectifs le moins cher en moyenne, les Pays-Bas, les Philippines, et l'Afrique du Sud, le plus cher. Les explications des écarts, assez importants, ne sont pas accessibles par ce moyen, sauf peut-être variations liées au tonnage.

¹ Une tonne métrique est égale à 2 200 livres.

Aluminum prices		
(dollars par livre)		
	2011	2012
Material:		
Primary aluminum, average ⁽¹⁾		
U.S. market	1,161	1,010
LME, cash price	1,088	0,916
NASAAC, cash price, average ⁽²⁾	1,079	0,907
Secondary alloy, average ⁽³⁾		
A319 (3 % Cu)	1.233	1.100
A356 (0,2 % Cu)	1.255	1.126
A360 (0,6 % Cu)	1.245	1.116
A380 (3 % Zn)	1.175	1.044
A413 (0,6 % Cu)	1.247	1.117
Scrap, average ⁽³⁾		
Clean, dry turnings	0,757	0,706
Mixed low-copper clips	0,819	0,748
Old cast	0,768 ⁽⁴⁾	0,733
Old sheet	0,750 ⁽⁴⁾	0,707
Used beverage cans	0,867	0,755
(1) Source: Platts Metals Week (2) North American Special Aluminum Alloy Contract (3) Source: American Metal Market (4) Average price for April-December; prices for January through March were not available		

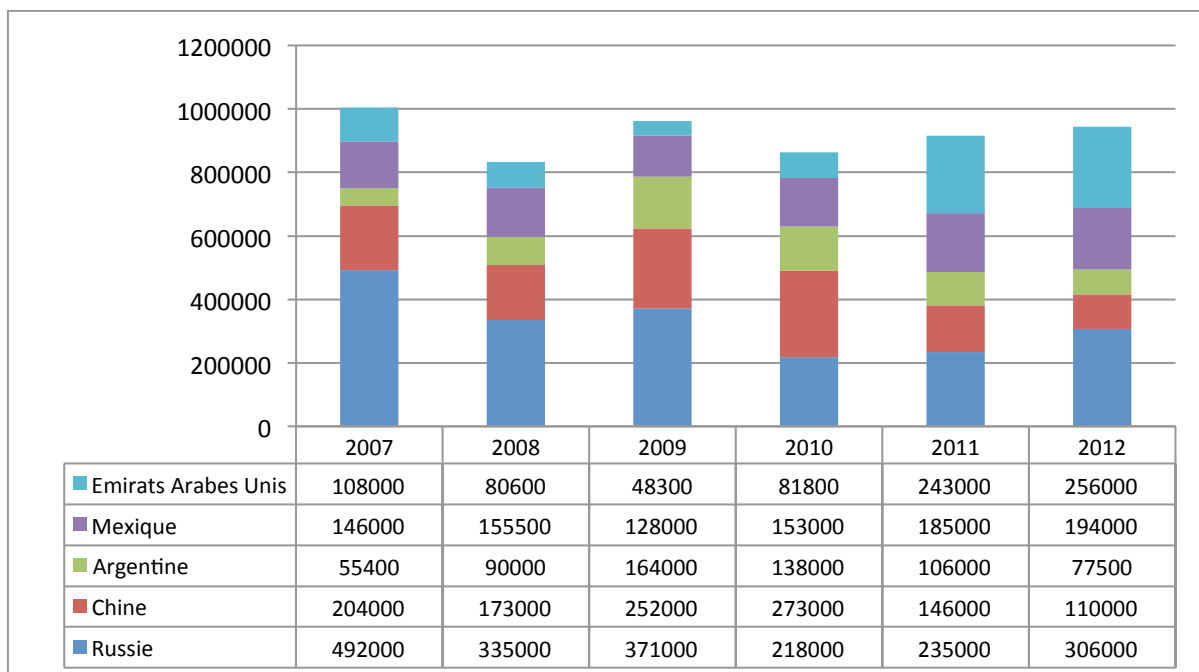
La part modeste réservée à l'aluminium pur dans la liste des prix montre l'importance croissante du métal recyclé et aussi la non-valorisation du métal d'addition à ce stade : l'alliage de cuivre le plus cher est celui qui contient le moins de cuivre (0,2 %).

ii. Importations U.S.

Le schéma des importations des dernières années est très différent ; il fluctue beaucoup, à l'exception d'un partenaire privilégié qui ramasse la part la plus importante, année après année, c'est le Canada, stable aux environs de 2,6 millions de tonnes. Loin derrière, seconde de 2007 à 2009 puis à nouveau en 2012, la Russie fournit « à peine » 500 000 tonnes. Afin d'éviter que le niveau élevé de la stabilité canadienne masque sur le graphique les fluctuations des autres fournisseurs importants — Émirats Arabes Unis, Mexique, Argentine, Chine et Russie — les tonnages de ces derniers sont

représentés ci-dessous à part. Les variations annuelles des tonnages par pays sont importantes, ce qui atteste d'une gestion à court terme et d'une apparente concurrence.

Principales importations U.S. (tonnes) Canada excepté



Une analyse plus académique des échanges sera effectuée dans la deuxième partie.

Au total, il existe une relation commerciale privilégiée avec le Canada, en partie due à des liens historiques entre producteur et transformateur, qui fournit des tonnages très importants de métal brut et reçoit des États-Unis des produits transformés. La nature des contrats de transformation, éventuellement de tolling¹, n'est pas mentionnée. Une autre relation particulière existe avec la Chine pour le traitement des déchets dont la cause possible a déjà été énoncée plus haut.

Pour préparer la lecture de la suite, voici l'essentiel de l'exposé ci-dessus :

- L'aluminium a connu une croissance exceptionnelle et le XX^e siècle lui doit le développement de l'électricité et du transport, terrestre et maritime ;
- En revanche, son handicap majeur est l'importante quantité d'électricité que sa production nécessite ;
- L'augmentation considérable de la production d'aluminium au cours du siècle a nécessité un déplacement progressif des usines d'électrolyse pour accéder à l'électricité disponible ;
- La possibilité et l'intérêt du recyclage du métal ont changé ses perspectives de développement pour les années à venir, indépendamment de toute considération sur le climat.

¹ Traitement à façon, en importation temporaire.

IX. La structure de l'industrie et le recyclage

L'ancienne complémentarité de l'aluminium primaire et de l'aluminium recyclé s'est, avec le temps et la nécessité d'économiser l'énergie, transformée en substituabilité — surtout au niveau du chiffrage de la production. Au plan technique, malgré des progrès, il n'en va pas rigoureusement de même. En fonderie¹, les recherches continuent sur la réduction des impuretés du métal recyclé et un pourcentage d'aluminium primaire est toujours nécessaire pour compenser l'enrichissement en métaux d'addition. L'article cité en référence présente une vue d'ensemble récente des techniques de tri sélectif disponibles, au laboratoire et à l'échelle industrielle, pour améliorer la pureté du produit et faciliter son recyclage. L'optimisation des méthodes à utiliser en fonction d'un programme de fabrication donné nécessite des outils de calcul élaborés, l'exemple suivant le montre. Entre 2002 et 2007, la valeur des exportations de déchets des États-Unis² à destination de Taïwan, Hong Kong, la Corée et la Chine a été multipliée par cinq, parce que les ouvriers de ces pays se sont montrés capables d'effectuer un tri manuel très efficace et peu cher, en fonction de la couleur du déchet.

La structure de l'industrie européenne³ de l'aluminium en 2011 est chiffrée ci-après à titre d'exemple, de la bauxite à la transformation. La position centrale du métal est soulignée, avec les trois sources de l'offre, le métal primaire, le métal recyclé et les importations. L'Europe n'est auto-suffisante en rien, elle importe de la bauxite, de l'alumine et de l'aluminium. Le nombre d'usines indique l'ordre de grandeur de la taille de chacune d'elles qui décroît en passant de la bauxite à l'aluminium. La différence de taille entre l'usine d'électrolyse et l'usine de recyclage s'explique à la fois par les critères de localisation et par le coût de l'investissement⁴. Il en est de même pour le nombre de sites de transformation suivant les produits.

¹ *Improving aluminum recycling: A survey of sorting and impurity removal technologies*, Gabrielle Gaustad, Elsa Olivetti, Randolph Kirchain, *Resources, Conservation and Recycling* 58 (2012) 79–87, Elsevier.

² Source : Plunkert, USGS, 2010.

³ Europe occidentale et centrale, CIS exclue sauf États Baltes.

⁴ Le capital nécessaire pour recycler de l'aluminium est d'environ 10 % de celui du capital de l'électrolyse, à tonnage égal. Source: Plunkert, *op. cit.*

Secteur de l'aluminium en Europe, en 2011				
		Production	Importations	Total
Bauxite (millions de tonnes)		3,2	12,3	15,5
nombre d'usines		6		
Alumine (millions de tonnes)		6,8	4,0	10,8
nombre d'usines		12		
Métal	recyclé	primaire	importé	Total
Aluminium (millions de tonnes)	4,3	4,7	4,2	13,2
nombre d'usines	283	31		

Transformation	laminés	extrudés	coulés	fil, poudre, etc.
Métal (millions de tonnes)	4,5	3,0	3,2	1,2
Nombre d'usines	55	> 300	> 2400	non précisé

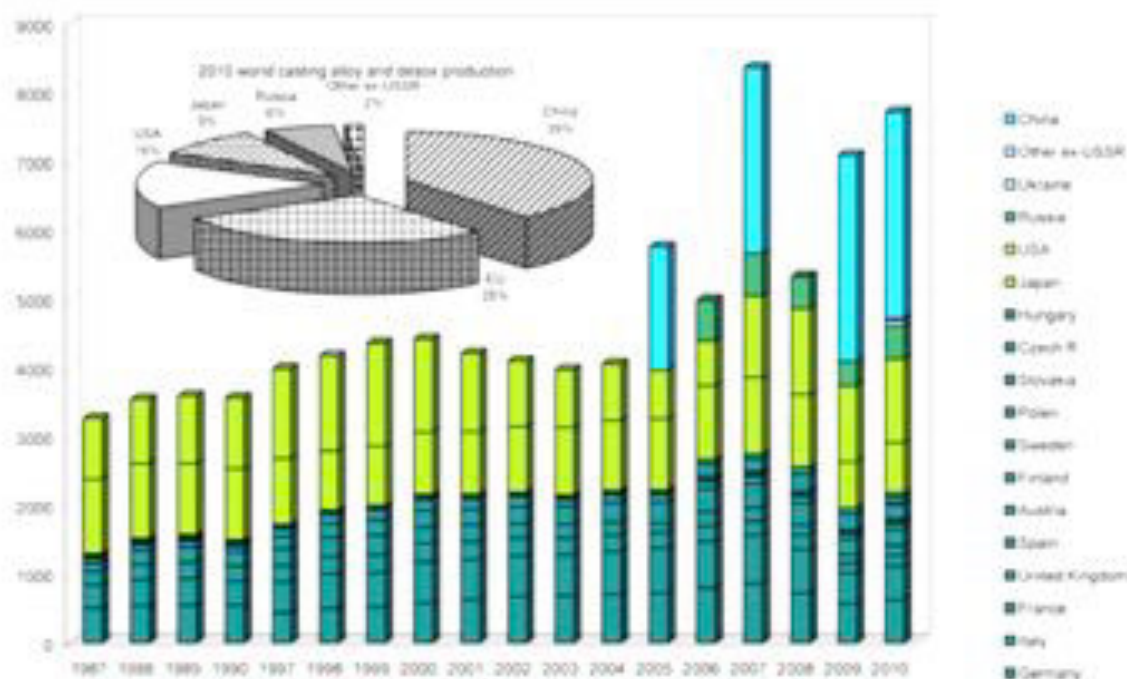
Source : <http://www.alueurope.eu/about-aluminium/facts-and-figures/>

Une précision de plus sur la spécialisation dans le métal recyclé : dans l'UE15¹, en 2007, 133 affineurs produisaient des alliages de moulage et de l'aluminium désoxydant (pour l'acier), et 107 refondeurs, des alliages de corroyage sous forme de billettes et de plaques. L'effectif employé s'élevait à environ 10 000 personnes.

Au plan mondial, l'IAI souligne l'importance capitale du recyclage pour le « Développement durable ». Le graphique ci-dessous décompose, en 2010 et pour le monde, la production de 7,7 millions de tonnes d'alliages de moulage et de désoxydation par les principaux pays affineurs. L'Europe a produit 2,2 millions de tonnes (28 % du total mondial, dans 12 pays principaux, sur un total de 4,3 millions de tonnes de métal recyclé), la Chine compte pour 39 % et les USA pour 16 %.

¹ Source : <http://www.oea-alurecycling.org/fr/recycling/eckdaten.php/> Organization of the European Aluminum Recycling Industry. Rudolf P. Pawlek recense pour la Revue américaine Light Metal Age de mai 2013, 499 Entreprises de recyclage aux USA, lma@lightmetalage.com

Recyclage de l'aluminium : « la clé du développement durable, IAI »



Aux États-Unis, une étude des flux de 26 commodités métalliques, a été publiée en 2000 par l'USGS. Mrs Patricia Plunkert¹ a pris en charge l'aluminium et présente une synthèse de grande qualité. Elle conclut ainsi : « en 2000, le taux de recyclage des déchets d'aluminium usagés a été estimé à 42 %. Environ 60 % de l'aluminium recyclé provenait de déchets neufs et leur taux de recyclage était estimé à 36 %. La principale source de déchets usagés était les boîtes de boisson ». La même année, la part de métal recyclé approchait de 36 % de l'offre totale d'aluminium. Les résultats principaux sont rassemblés ci-dessous pour montrer la complexité du réseau, accompagnés des définitions techniques indispensables et cependant non traduites afin d'éviter des erreurs de terminologie (valeurs en milliers de tonnes de métal contenu, sauf spécification contraire) :

Déchets usagés

Produits¹ : 4 000 ; Consommés² : 1 370 ; Valeur de consommation : 1,9 milliards de dollars ;
Efficacité du recyclage³ : 42 % ; Offre⁴ : 4 625 ; Non récupéré⁵ : 2 660 ;

Déchets neufs

Consommés : 2 080⁶ ; Ratio déchets neufs/ déchets usagés⁷ : 60 :40 ; Taux de recyclage⁸ : 36 % ;
Importations nettes de déchets aux USA⁹ : 50 ;
Valeur des importations nettes U.S. de déchets : 96 millions de dollars. »

Notes

- 1 Aluminum content of products theoretically becoming obsolete in the United States in 2000. It excludes dissipative uses and net U.S. imports of finished products containing aluminum in the year of consumption.
- 2 Aluminum content of aluminum products that were recycled in 2000.
- 3 (Old scrap consumed plus old scrap exported) divided by (old scrap generated plus old scrap imports minus old scrap stock increase).
- 4 Old scrap generated plus old scrap imports.
- 5 (Old scrap generated plus old scrap imports) minus old scrap stock increase minus old scrap consumed minus old scrap exports.

¹ *Aluminum Recycling in the United States in 2000*, By Patricia A. Plunkert U.S.G.S. Circular1196–W.

6 Metal content of prompt industrial aluminum scrap (excluding home scrap).

7 Ratio of quantities consumed, in percent.

8 This is the fraction of supply that is scrap on an annual basis. It is defined as old plus new scrap consumed divided by apparent supply (primary plus secondary production (old plus new scrap) plus imports minus exports plus adjustment for Government and industry stock changes), in percent.

9 Trade in scrap is assumed to be old scrap".

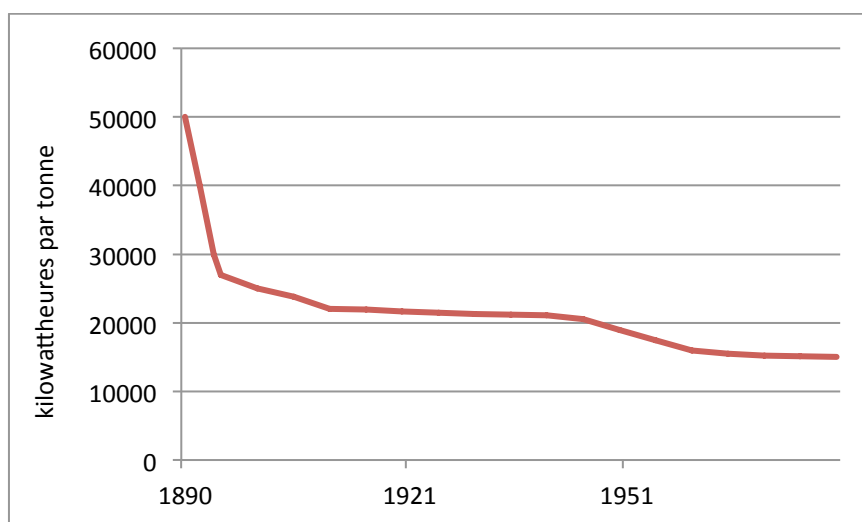
L'introduction au document par le Responsable de l'étude précise que le travail a été entrepris afin de souligner la grande importance du sujet au niveau des États-Unis et d'orienter les décisions des dirigeants concernés.

X. La consommation d'électricité

Il faut le rappeler, l'électricité est indispensable au procédé Hall-Héroult. Ce fut une des principales causes des vicissitudes passées de l'aluminium et, sauf situation particulière dans le temps, le premier poste de coût de sa fabrication. La consommation d'électricité dans le procédé d'électrolyse constitue donc le nœud des relations entre les deux domaines, l'aluminium et l'électricité. À la fin du XIX^e siècle, les installations de production étaient physiquement proches afin de limiter les pertes de courant. Le choix du site commun dépendait des possibilités hydroélectriques. Le développement progressif du courant alternatif et des équipements électriques de puissance a permis de les éloigner sans conséquences excessives. Mais la leçon n'a pas été oubliée, les nouvelles usines sont construites là où existent des disponibilités locales de courant électrique !

La diminution de la consommation par tonne d'aluminium a été très rapide au début, ce qui est normal. Elle a ralenti entre les deux guerres, bénéficiant des seuls perfectionnements techniques. Elle a repris, à partir de 1950, grâce à une recherche fondamentale bien structurée. Ci-dessous, les résultats obtenus par Pechiney.

Consommation d'électricité par tonne d'aluminium



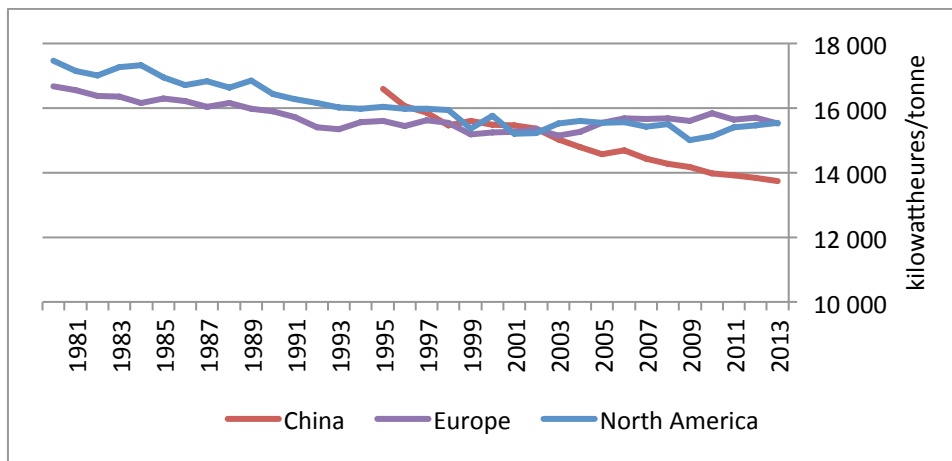
Source : « Il faut savoir pour faire », Charles Crussard¹.

Dans les années 1980, l'aluminium est devenu un métal mondial, produit et surtout consommé partout. L'augmentation des échanges — de bauxite, d'alumine et d'aluminium — a conféré une dimension importante aux taux de change puisque les prix sont formulés en dollars américains. Alors,

¹ Histoire de la science et de la technique dans le développement de l'aluminium, Cahier d'histoire de l'aluminium, 2, hiver 1987-1988.

les prix du métal ont varié en fonction de deux *drivers* principaux : le cours du U.S.\$ et le prix concédé de l'électricité (ou en arrière-plan celui du pétrole). De nombreux producteurs se sont retrouvés pris en tenaille. Ils ont d'abord agi sur le seul facteur important à leur disposition, la consommation d'électricité, liée à la technologie et au progrès des modes opératoires. Les deux graphiques ci-dessous retracent les évolutions sur trente années, dans le monde.

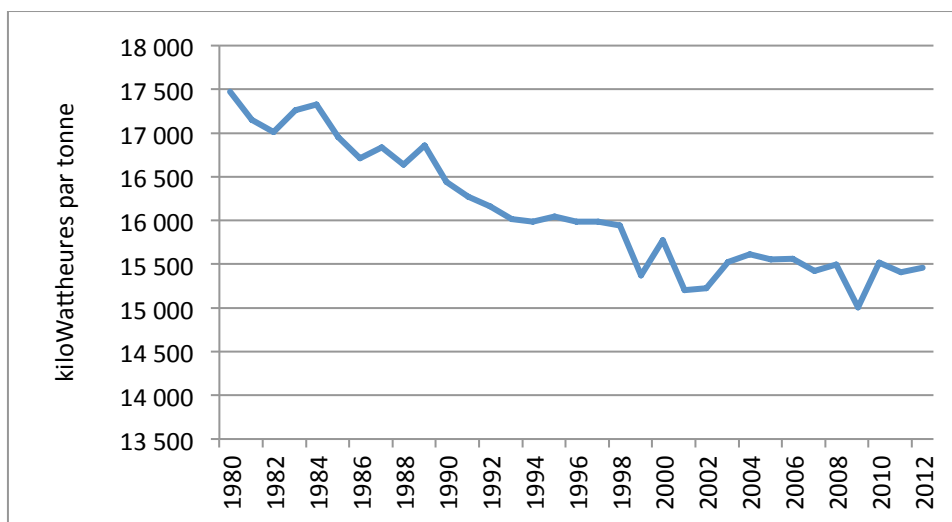
Consommation d'électricité par tonne



Source : IAI

La consommation d'électricité par l'électrolyse, de loin le poste de consommation principal de toute la chaîne de production, est passée, entre 1990 et 2010, de 17 500 à 14 000 kWh/t en Chine où les installations étaient récentes. En Amérique du nord, où subsistaient de vieilles technologies, elle a diminué de 17 500 à 15 500 kWh/t.

Consommation U.S. d'électricité par tonne d'aluminium



Source : IAI 2012

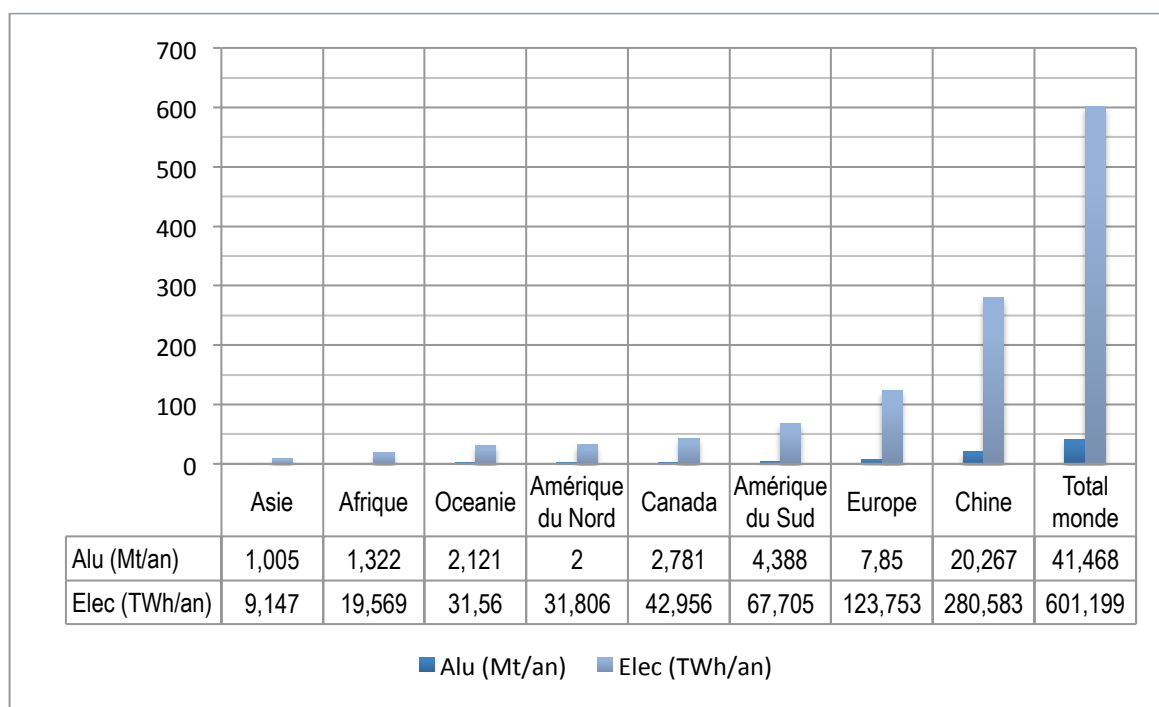
<http://www.world-aluminium.org/statistics/primary-aluminium-smelting-energy-intensity/#data>

Mais l'action managériale n'a pas suffi à éviter les crises. Avec le temps, la croissance de la demande domestique d'électricité dans tous les pays du monde, la rivalité entre combustibles

énergétiques et l'augmentation de la production d'aluminium ont fait de l'électricité un problème politique mondial, indépendant de considérations sur le climat. L'écriture normalisée des quantités consommées masque leur énormité : 1 TWh = 1 000 000 000 kWh et les deux graphiques ci-dessous visualisent les choses.

Le premier représente, pour huit régions du monde, la production d'aluminium et la consommation d'électricité. L'échelle rend la production d'aluminium en Amérique du Sud à peine visible ! Le second graphique est relatif aux États-Unis. Il présente en regard, avec deux échelles, la production d'électricité totale (en rouge) qui a été multipliée par 5,4 entre 1960 et 2010, et la production hydraulique d'électricité (en vert) qui plafonne, voire décroît depuis 1976. Il est évidemment tentant de rapprocher cette situation de la décision des producteurs américains d'aller produire à l'étranger.

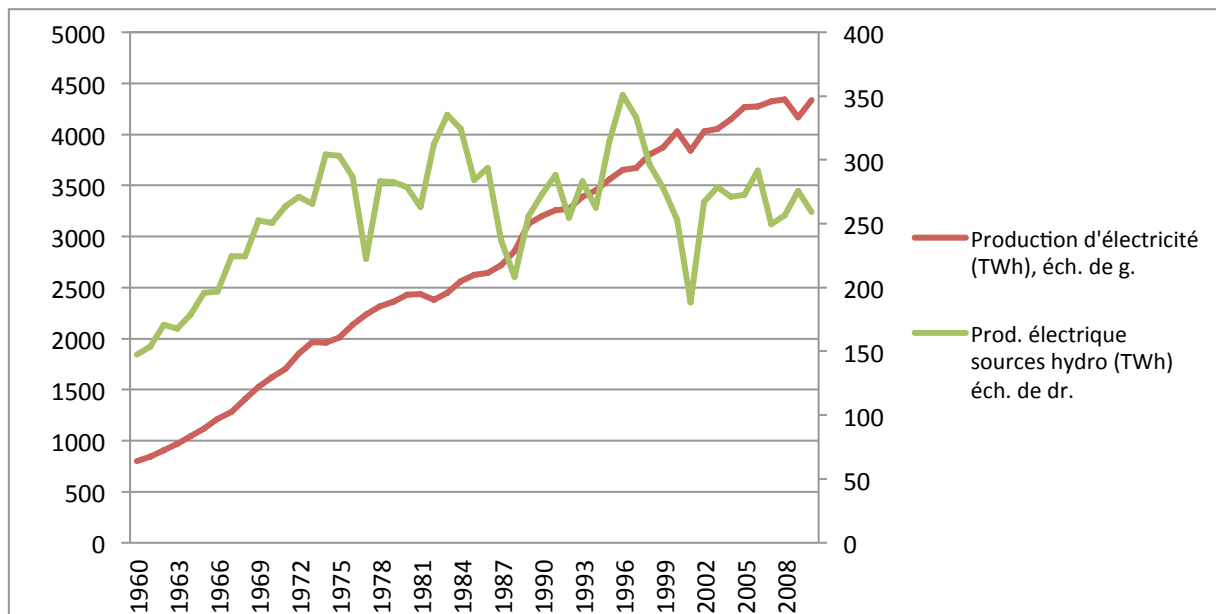
Production mondiale d'aluminium et consommation d'électricité en 2012



Source : Aluminium Association du Canada, mars 2014 ; les données proviennent de IAI¹.

¹ Remarque : les chiffres de la source relatifs à l'Asie, ne sont pas en accord avec l'état actuel de la technique.

Production U.S. d'électricité (TWh)



Source : statistiques WB USA

Le chapitre qui suit, explique les débuts et la croissance de l'électricité, sans développer la partie technique. L'objectif est de comprendre les interactions entre les deux productions et leurs conséquences dans le temps et dans l'espace.

2. L'électricité et l'industrie de l'aluminium

*"What determines which activities a firm chooses to do for itself
and which it procures from others?"*

...

*(Coase) insisted, correctly,
that firm and market were alternative modes for organizing the same very transactions.
In mundane terms, the issue is that of make-or-buy."*

Oliver E. Williamson¹

L'aluminium doit tout à l'électricité ! Sans elle, il serait resté « un métal sans avenir² » suivant la formule prêtée à Alfred Rangod, directeur de l'usine de Salindres en 1886. Hall et Héroult se sont attachés à prouver le contraire et la constitution du couple électricité-aluminium a révélé au monde les deux composantes qui ont ensuite connu une expansion sans pareil. Après la présentation de l'aluminium vient logiquement celle de l'électricité dans ce qu'elle a d'indispensable à la fabrication. Le reste est en dehors du champ d'analyse.

D'abord, les ordres de grandeur des principales caractéristiques et leurs récentes évolutions seront présentés. Néanmoins, la nature et la technicité du produit rendent nécessaires des explications que seuls des travaux d'historiens du domaine fournissent. Ils ont travaillé sur de nombreux pays. Le choix d'y faire référence résulte de leurs caractéristiques géographiques et sociales.

¹ *The Nature of the Firm, Origins, Evolution, and Development*, Edited by Oliver E. Williamson and Sidney G. Winter, Oxford University Press, 1993. Traduction libre: « Qu'est-ce qui détermine le choix d'une entreprise entre ce qu'elle produit pour elle-même et ce qu'elle achète à d'autres ? ... (Coase) a raison d'affirmer que la firme et le marché sont deux organisations possibles pour une transaction donnée. En termes simples, il s'agit du choix entre faire ou acheter ».

² Dans *Cent ans d'aluminium, 1886-1986*, Émile Ravier et Maurice Laparra, la Technique moderne, n°5-6, 1986.

Il n'est pas possible de faire voir les formes que peut prendre l'électricité, sauf dans des circonstances exceptionnelles comme les arcs électriques — ci-dessous. Elle est à la fois familière et omniprésente dans la vie quotidienne des pays favorisés. Elle est aussi l'objet de graves interrogations pour l'avenir des pays et du monde. Ces questions conditionnent justement le futur de l'industrie de l'aluminium et elles feront partie du dossier de prospective qui ouvrira sur l'avenir.



Source : KWES, Rapport annuel 2008, EIA, 2010.

I. Énergie, électricité, et hydroélectricité

Dans le paragraphe sur l'Aluminium, il a été question d'abord d'hydroélectricité puis d'électricité. Il faut donc expliquer l'importance de la distinction et préciser les sources d'énergie qui ont été utilisées au cours du temps. L'étude du domaine dans le monde entier relève d'une Agence internationale de l'énergie, l'IEA — International Energy Agency¹— branche autonome de l'OCDE, Organisation de Coopération et de Développement Économique. L'Agence a publié en 2014, une synthèse des statistiques mondiales de l'énergie (KWES, *Key World Energy Statistics 2013*), disponible sur internet, ainsi que des statistiques détaillées payantes. Les chiffres qui suivent proviennent de la synthèse et ils caractérisent la situation des principaux pays en matière d'énergie, d'hydroélectricité et d'électricité, afin de relativiser les situations.

¹ "The IEA was founded in response to the 1973/4 oil crisis in order to help countries co-ordinate a collective response to major disruptions in oil supply through the release of emergency oil stocks to the markets". Source : IEA, www.iea.org. Traduction libre : l'IEA a été fondée en réponse à la crise pétrolière de 1973/74 pour faciliter la coordination entre pays et limiter ses conséquences par l'utilisation des stocks stratégiques.

i. L'énergie dans le monde

Ci-dessous est reprise la comparaison, faite par l'IEA, de l'offre d'énergie dans le monde par source, exprimée en millions de tonnes d'équivalent pétrole (Mtep¹) entre les années 1973 et 2011 :

Part (%) de l'énergie	1973	2011
Autre	0,1	1,0
Hydraulique	1,8	2,3
Nucléaire	0,9	5,1
Gaz	16,0	21,3
Pétrole	46,1	31,5
Charbon/tourbe	24,5	28,8
Énergie renouvelable et pertes	10,6	10,0
Total annuel en millions de tonnes d'équivalent pétrole	6 115	13 113

Source : IEA, 2013

En 38 ans, l'offre mondiale d'énergie a plus que doublé, avec une légère reprise du charbon dans les années 2000. Cela montre combien l'énergie est indispensable à la croissance, en l'occurrence celle des nouveaux pays industrialisés. Dans le détail des chiffres, l'augmentation d'une part individuelle traduit une augmentation de l'énergie considérée plus forte que la moyenne. Ainsi la part de l'hydraulique a-t-elle un peu augmenté, celle du nucléaire a été multipliée par 5,7 mais le récent coup de frein ne se fait pas encore pleinement sentir, le gaz (+ 33 %) et le charbon (+ 18 %) ont augmenté dans des proportions différentes, le pétrole a fortement diminué (– 32 %) et enfin les énergies renouvelables conservent leur part, en moyenne. Le poste autre comprend la géothermie, l'énergie solaire et éolienne, etc.

Pour l'aluminium, l'information la plus intéressante concerne l'offre mondiale d'électricité d'origine hydraulique. Elle s'est élevée à 2,3 % de 13 113 Mtep — ou 3 566 TWh — en 2011 (*voir page suivante*). Par ailleurs, l'électricité totale consommée dans le monde pour produire l'aluminium a été estimée à 601,2 TWh en 2012 (*voir plus haut*), soit environ 17 % de l'offre d'hydroélectricité et moins de 2,5 % de toute l'électricité mondiale. En conséquence, au niveau de l'ensemble, il n'existe pas de problèmes de quantité, mais un problème de priorité, de prix et de localisation de la production. L'évolution de sa répartition régionale reflète les informations connues sur la diminution de la part relative des pays de l'OCDE et l'augmentation de celles de la Chine, l'Asie, l'Amérique latine, l'Afrique et le Moyen-Orient. Le nucléaire est plus rigide encore que l'hydraulique dans ses applications — civiles — il ne peut produire que de l'électricité. Il est d'un faible intérêt ici, car le kWh nucléaire a la réputation d'être plus cher que celui de toute autre source².

¹ Mtep ou *Mtoe* = million de tonnes d'équivalent pétrole ou *million tons of oil equivalent* ; le facteur de conversion est 1 Mtep = 11,63 TWh, si bien que l'énergie totale consommée dans le monde en 2008 s'est élevée à 152 500 TWh.

² L'usine ex-Pechiney de Dunkerque est une exception, analysée par ailleurs.

ii. L'offre mondiale d'hydroélectricité

La production mondiale d'hydroélectricité est passée de 1 295 TWh en 1973 à 3 566 TWh en 2011, elle a été multipliée par 2,75, soit plus que la croissance de l'énergie totale consommée dans le monde ! Peut-être existe-t-il encore aujourd'hui des ressources inexploitées.

L'offre d'hydroélectricité est analysée par l'IEA de la même manière que l'offre générale d'énergie, par pays producteur, par capacité installée et par le pourcentage de l'hydraulique dans la production totale d'électricité. Les chiffres ci-dessous sont relatifs à l'année 2011 pour les 10 premiers pays producteurs :

Producteurs d'hydro-électricité	Rép. Pop. de Chine	Brésil	Canada	États-Unis	Russie	Inde	Norvège	Japon	Venezuela	Suède	Reste du monde	Total monde
TWh	699	428	376	345	168	131	122	92	84	67	1 054	3 566
% monde	19,6	12,0	10,5	9,7	4,7	3,7	3,4	2,6	2,3	1,9	29,6	100

Source : IEA, 2013 ; chiffres de 2011.

La Chine, le Brésil, la Russie et l'Inde se situent parmi les premiers producteurs¹.

Les pays les mieux placés — d'après les schémas du passé — pour produire de l'aluminium sont ceux dont la part d'hydroélectricité est la plus élevée, puisque son coût est indépendant des prix des produits énergétiques. Le tableau ci-dessous présente les dix plus gros producteurs mondiaux et le Japon, comme les États-Unis, sont les moins bien placés. Les huit premiers pays sont des producteurs d'aluminium importants, à l'exception de la Suède dont la situation sera expliquée plus loin. Le Brésil et le Venezuela sont en excellente position sur ce plan.

Les plus gros pays producteurs d'hydro.	Norvège	Brésil	Venezuela	Canada	Suède	Russie	Rép. Pop. de Chine	Inde	Japon	États-Unis	Reste du monde	Total monde
% d'hydro. dans leur production	95,3	80,6	68,6	59,0	44,3	15,9	14,8	12,4	8,7	7,9	13,6	16,1

Source : IEA, KWES, 2013 ; chiffres de 2011.

iii. L'offre mondiale d'électricité

L'offre mondiale d'électricité, passée de 6 116 à 22 126 TWh entre 1973 et 2011, a connu une augmentation de 260 %. La part de l'hydroélectricité a diminué, celle du nucléaire a beaucoup augmenté et aujourd'hui elle diminue ; la part du gaz a beaucoup augmenté aussi, mais elle est à peine supérieure à la moitié de celle du charbon ; enfin, la part du pétrole est réduite à peu de chose. En 2011, 68 % de l'électricité mondiale proviennent des trois fuels fossiles, le gaz, le pétrole et le

¹ Pour comparaison, la France produit en moyenne 67 TWh, soit environ 13 % de la production électrique française. La capacité installée de production est de 25 400 MW, 20 % de la capacité totale. Source : Syndicat des énergies renouvelables, juin 2012. Sauf erreur, elle devrait donc figurer dans le tableau ci-dessus !

charbon, contre 75,1 % en 1973. Il existe donc probablement un lien fort et durable entre le prix moyen de l'énergie fossile et le prix de l'aluminium. Sinon, les marchés des quatre biens ne seraient pas en équilibre.

Répartition des sources de la production d'électricité	Année	Autre ¹	Hydro	Nucléaire	Gaz	Pétrole	Charbon, tourbe	TOTAL TWh
	1973	0,6 %	21,0 %	3,3 %	12,1 %	24,7 %	38,3 %	6 116
	2011	4,5 %	15,8 %	11,7 %	21,9 %	4,8 %	41,3 %	22 126

L'analyse de la répartition de la production d'électricité par source d'énergie, entre les principaux pays producteurs, donne les résultats suivants pour l'année 2011 :

Charbon, tourbe	Chine	États-Unis	Inde	Japon	Allemagne	Afrique du Sud	Corée	Australie	Russie	Pologne	Reste du Monde	Monde
TWh	3 723	1 875	715	281	272	243	225	173	164	141	1 332	9 144

Les deux premiers pays, la Chine et les États-Unis, tirent du charbon 61 % de l'électricité mondiale qu'ils contribuent à produire. Le reste du monde en produit seulement 15 %.

Pétrole	Japon	Arabie Saoudite	Iran	Mexique	Indonésie	États-Unis	Koweït	Pakistan	Russie	Égypte	Reste du Monde	Monde
TWh	153	142	67	48	42	40	36	34	27	25	444	1 058

Le pétrole apparaît comme l'énergie des pays pétroliers et des pays pauvres pour produire de l'électricité, hormis le Japon — qui garde plusieurs fers au feu — et l'Arabie Saoudite, producteur majeur. Le reste du monde en tire 42 %.

Gaz	États-Unis	Russie	Japon	Iran	Mexique	Royaume Uni	Italie	Égypte	Corée	Inde	Reste du monde	Monde
TWh	1 045	519	374	160	156	147	145	117	116	109	1 964	4 852

Enfin le gaz confirme d'abord l'exception américaine — 21,5 % de l'électricité mondiale — et l'intérêt de ses producteurs locaux, Russie, Iran, Mexique, Royaume-Uni...

L'impossibilité de stocker l'électricité en grandes quantités exige que l'offre soit strictement égale à la demande. C'est la demande qui suscite la production et l'ajustement doit être instantané. Les échanges de courant entre régions ou entre pays de fuseaux horaires ou de rythme de vie différents, facilitent, en principe, la gestion par les producteurs. Mais il existe des limites, notamment de distance, car le transport génère des pertes².

¹ La colonne « Autre » inclut la géothermie, le solaire, l'éolien, les combustibles renouvelables, les déchets et la chaleur.

² Par Effet Joule, en plus du coût des installations.

La même chose est également vraie pour l'énergie, il peut être impossible de transporter le gaz produit en grandes quantités en même temps que le pétrole. Il faut l'utiliser sur place. L'expression consacrée est américaine, « *stranded energy* » ou littéralement énergie abandonnée. Ce gaz peut servir à produire de l'électricité à condition qu'il existe, à proximité, un consommateur d'une taille adaptée. Cette conjonction a été développée avec profit par les Émirats du Golfe Persique, devenus en quelques années d'importants producteurs mondiaux d'aluminium. Il est d'ailleurs possible que la création d'installations de production d'électricité éolienne ou solaire, ou autre, dans des régions privées de consommateurs, conduise à une impasse, faute de client, et qu'il faille parfois cesser la production.

iv. Électricité et aluminium, l'indissociable couple impossible

L'étroite relation, physique et économique, entre l'aluminium¹ et l'électricité indispensable à sa fabrication, a été rendue instable par la croissance. Au départ, elle s'est établie au cas par cas, sur un contrat de fourniture à longue durée que l'évolution des conditions environnantes a fini par rendre obsolète². À l'expiration du contrat, souvent son renouvellement a posé problème. Un échec des négociations pouvait conduire à des situations extrêmes de fermeture, voire de délocalisation. Le phénomène n'a rien d'exceptionnel en soi, il relève de la destruction créatrice de Schumpeter. Simplement, son lien avec le progrès technique est indirect et la taille autant que l'importance capitalistique de l'industrie de l'aluminium pouvaient laisser espérer une plus grande stabilité. Il n'en est rien ! Le présent paragraphe a donc pour objectif de préciser les questions qui relient économie et technique : pourquoi et comment la relation entre l'électricité et l'aluminium a-t-elle évolué depuis la fin du XIX^e siècle ? Les conséquences et l'avenir font l'objet d'analyses ultérieures.

Le choix des entités à étudier — entreprises ou pays d'accueil — doit être guidé par la disponibilité des informations et la représentativité de l'échantillon. Beaucoup d'auteurs se sont intéressés aux « Majors », les six entreprises multinationales³ qui ont longtemps exercé une position dominante⁴. Nées, pour les plus anciennes, à la fin du XIX^e siècle, elles contrôlaient encore, en 1969, 77 % de la production mondiale⁵. Depuis, leur poids relatif a beaucoup diminué au profit de producteurs localisés dans des pays naguère qualifiés d'émergents. L'histoire des producteurs, individuelle ou collective, a été étudiée de manière approfondie, les relations économiques entre eux peut-être moins, surtout sur une longue période de transformation. Il paraît donc intéressant de montrer leur évolution en termes de capacité de production, de stratégie d'entreprise, de concurrence sur les marchés et de localisation géographique. Mais, parce que le rôle des États a été déterminant⁶ pour l'électrification comme pour la production d'aluminium, des données nationales de source sûre existent et incitent à raisonner de préférence sur les principaux pays producteurs et/ou consommateurs d'aluminium et sur leurs échanges. Il existe aussi deux exemples significativement différents, la Suède qui n'a pas beaucoup développé sa production d'aluminium

¹ Le mot aluminium, sans précision, désigne l'aluminium primaire, produit par électrolyse. L'autre forme générique est l'aluminium recyclé.

² Une description lumineuse de la situation « liée » de l'électrolyse et de l'électricité (BPA) dans le Nord-ouest des USA, dans les années 1980, et de ses péripéties, est faite par Paul Spies dans *Variable Electricity Prices for Aluminum Smelting in Northwestern USA*, Energy Policy, March 1990, pp.162-169.

³ Dans l'ordre d'importance, à leur grande époque : Alcoa (USA), Alcan (Canada), Kaiser (USA), Pechiney (F), Reynolds (USA) et Alusuisse (CH).

⁴ Seul son abus est répréhensible.

⁵ Source : *L'Aluminium*, Carmine Nappi, ECONOMICA, 1994 p. 66.

⁶ Notamment en raison des Guerres mondiales, la littérature spécialisée est unanime sur le sujet.

malgré un avantage absolu en matière d'électricité et le Japon, pauvre en ressources naturelles, qui a effectué une révision drastique de ses orientations après les chocs pétroliers.

Le sujet est mieux précisé, l'économie des relations entre électricité et aluminium depuis leurs débuts quasi simultanés, et son cadre géographique aussi, des pays producteurs importants plus deux autres pour comparaison. Du côté de l'offre, la situation a tellement changé que les plus importants producteurs d'autrefois ne sont plus — à l'exception des USA — les plus importants d'aujourd'hui. La production mondiale a basculé vers le sud et vers l'est, après 1980. En conséquence, peut-être faudra-t-il, au moment d'une synthèse chiffrée, diviser la période en deux parties inégales, l'une de 1890 à 1980 et l'autre de 1980 à nos jours. Pendant la première période, les pays du Vieux Continent et l'Amérique du Nord ont joué les premiers rôles. Depuis le début de la seconde, ils ont cédé peu à peu les premières places à la Chine, la Russie, le Brésil, les Émirats du Golfe et l'Inde. L'augmentation du nombre de producteurs dans le monde a rendu la situation changeante et moins lisible. Pour d'autres raisons, la croissance est devenue incertaine et son évolution peu prévisible depuis le début de la crise de 2008.

Les pays industriels du XX^e siècle, États-Unis, Canada, Suisse, France, Allemagne, Norvège et Russie, producteurs de longue date, ainsi que Suède et Japon, peuvent être comparés afin d'identifier leurs éventuelles spécificités. Pour réduire leur nombre, la Suisse, l'Allemagne, la Norvège et la Russie dont les processus de croissance ne semblent pas significativement différents ne seront pas étudiés. La montée en puissance des nouveaux producteurs sera évoquée par rapport à celle de leurs prédécesseurs. Une question cruciale sera de savoir s'ils suivent une voie originale ou s'ils tentent de reproduire le parcours, peu économe en énergie, des pays précurseurs.

Dans le couple électricité-aluminium, qualifié plus haut d'impossible dans la durée, il existe une dépendance totale du second envers la première, donc une asymétrie de rôle entre les deux « *matières premières produites* ». Leurs progrès techniques ont été synchrones, voire coordonnés grâce à une étroite relation client-fournisseur, mais le lent processus d'électrification a fini par modifier les rapports de force. Il est intéressant d'en connaître les grandes lignes. Cependant, il faudra toujours avoir présente à l'esprit la contrainte liée au sujet, et accepter que la dimension électricité soit réduite à son interaction, potentielle ou réelle, avec l'aluminium. Et réciproquement.

II. L'électrification et la croissance, un premier cas : la Suède

La question fondamentale relative à l'électricité pour produire de l'aluminium est posée par Oliver Williamson dans la citation en exergue. La solution « *make* » — pour l'électricité — la seule susceptible d'assurer la stabilité de la production dans le temps, n'a pas résisté longtemps à la pression populaire en faveur d'une fourniture d'électricité aux particuliers et d'une baisse du prix du kWh, sauf au Québec. Des repères historiques, des éléments de géographie, des chiffres et quelques informations techniques permettent de se faire une opinion sur les évolutions dans différents pays, en commençant par la Suède dont les principales caractéristiques sont intéressantes.

i. Le développement de l'électricité depuis ses débuts

Il semble utile de commencer ce paragraphe important, par trois citations qui précisent le sujet et relativisent sa place dans le monde :

1. « Énergie secondaire par excellence, non fossile en elle-même, [l'électricité] doit être produite par d'autres énergies « primaires », thermique, hydraulique, nucléaire, et, dans chaque cas, son utilisation structure l'espace habité, villes, campagnes, terres cultivables ou non¹ ». L'aluminium, lui aussi, nécessite de l'énergie pour être produit et influe sur la société qui l'utilise. Électricité et aluminium sont deux matières premières produites et structurantes.
2. « Les chiffres empruntés à l'IEA ont montré que la production d'électricité de 2011 (22 126 TWh) n'est qu'une modeste partie (14,5 %) de toute l'énergie consommée dans le monde (152 504 TWh). Pour l'aluminium, c'est le contraire, il lui faut beaucoup d'électricité et peu d'énergie thermique.
3. « L'électricité est à bien des égards sans frontière : ses savants viennent de tous pays, ses filières techniques se répandent aussitôt que créées, ses réseaux s'interconnectent » disait Marcel Boiteux, le 15 avril 1986, en ouvrant le Premier colloque international d'histoire de l'électricité, à Paris. Les Actes de ce Colloque² seront utilisés : pour explorer, sur les pas des experts qui présentent leurs résultats et ceux de compatriotes, dans un essai novateur de comparaison internationale ; et pour identifier, afin de pouvoir raisonner par analogie et différence à l'intérieur d'un cadre commun réduisant les risques d'erreurs et les répétitions.

L'électricité est un produit extrêmement technique. Le Pr. Vaclav Smil, de l'Université d'Alberta, Canada³ a écrit à son sujet : *"When looking for a perfect example of a technically complex and spatially extensive system it would be hard to find anything better than generation, transmission and distribution of electricity"*. Elle est devenue, depuis la Seconde Guerre mondiale, tellement familière que ses caractéristiques sont au mieux banales pour le consommateur et comprises des seuls professionnels. À l'opposé des commodités, définies une fois pour toutes ou presque⁴ sur les marchés où elles s'échangent, l'électricité qui pourtant traverse les frontières, n'a pas fait l'objet de définition internationale unique autre que par ses unités de mesure. Deux exemples illustrent sa technicité. Au début de la production d'électricité, vers 1880, Thomas Edison produisait du courant continu. Celui-ci avait pour l'industrie de l'aluminium un important avantage, production et consommation étaient compatibles sans transformateur. Pourtant, le courant alternatif a été adopté dans le monde entier ! Mais, les voyageurs d'aujourd'hui en font l'expérience, aux USA le courant domestique est en 110 volts, 60 hertz, et en Europe en 220 volts, 50 hertz. Le deuxième exemple concerne plutôt les informaticiens. Pour le bon fonctionnement de leurs matériels sophistiqués, le courant doit être stabilisé, c'est-à-dire extrêmement régulier dans ses principales caractéristiques, tension et fréquence, ce qui requiert des équipements spéciaux. Ces deux exemples sont séparés par un siècle de progrès technique incessant.

Il est vain d'espérer que quelques synthèses donnent une image représentative du processus d'électrification commencé pendant la Seconde Révolution industrielle, celle de l'électricité et de la chimie. La période qui a suivi la Seconde Guerre mondiale semble plus familière, même si les conflits armés, les revirements des opinions publiques et les hésitations des décideurs rendent plus hasardeuses les tentatives d'explication logique. Les informations et les éléments de réflexion des

¹ Dans Énergie : Électricité, structuration sociale, économique et politique ; source :

<http://www.leconflit.com/article-energie-electricite-structuration-sociale-economique-et-politique-119152624.html>

² *Un siècle d'électricité dans le monde, 1880-1980*, Fabienne Cardot éd., PUF, 1987.

³ *Beyond the Blackout*, Vaclav Smil, Published 08/18/2003. Traduction libre: « Pour montrer combien un système peut être complexe et ses ramifications étendues, il serait difficile de trouver un meilleur exemple que la production, le transport et la distribution de l'électricité. »

⁴ Exemple des adaptations qualitatives de titre pour l'aluminium au LME.

paragraphes qui suivent, devraient aider à comprendre une évolution nécessaire qui s'est opposée à une croissance paisible de l'aluminium.

La Suède, la France et le Canada — Ontario et Québec — étaient représentés au Colloque des Électriciens. Leurs représentants ont montré les cheminements et expliqué les spécificités. Les USA et le Japon sont connus et évalués par d'autres sources. Le processus d'électrification de la Suède, bien décrit par ses spécialistes, vient en premier, à titre d'exemple. Malgré un bon potentiel hydroélectrique, l'industrie primaire de l'aluminium¹ ne s'y est pas développée, à la différence de la Norvège². En revanche, les fortes compétences acquises dans l'électricité industrielle de puissance sont utilisées pour produire de gros équipements qui sont exportés³.

ii. L'exemple suédois⁴

« On ne peut pas comprendre le début de l'histoire de l'électricité sans connaître l'histoire du gaz » écrit Arne Kaijser⁵ qui s'intéresse à la période critique du commencement. La condition porte sur l'histoire, elle est nécessaire parce qu'il a fallu d'abord combattre l'existant pour le supplanter. Dans ce cas précis, il s'agit clairement de destruction créatrice et les choses furent plutôt laborieuses. Les premiers postes électriques de production à partir du charbon, datent du milieu des années 1880 (en Suède, du moins⁶). L'électricité produite était relativement chère et ne pouvait servir qu'à l'éclairage public et à des usages particuliers de même nature, dans les grandes villes. Elle s'est trouvée sur ce marché en concurrence directe avec l'industrie du gaz d'éclairage, déjà solidement installée, et la compétition a démarré immédiatement. De puissants intérêts, municipaux ou privés, soutenaient le gaz. Comme les autorisations d'exploitation passaient par les municipalités, certaines ont réussi à s'opposer à des projets qui constituaient pour elles une concurrence dangereuse. Pour mettre le sujet de côté, l'éclairage domestique était alors assuré par des lampes à pétrole dit lampant⁷ ; indépendant de tout réseau, il ne constituait pas encore un marché à conquérir.

En 1905 — vingt ans après les débuts de l'électricité — la moitié des villes de Suède bénéficiaient de services du gaz mais pas encore de ceux de l'électricité. Dans la lutte décisive qui a opposé le gaz à l'électricité pour l'éclairage, il semble difficile de dire si la demande a précédé la technologie ou l'a suivie. Bien sûr, au début est l'invention, mais il faut ensuite en assurer la promotion en soulignant les inconvénients ou les faiblesses de l'existant afin d'ouvrir un marché potentiel et de jouer sur l'intérêt de la société civile pour la nouveauté. Tout cela prend du temps. La situation connue aujourd'hui sur certains marchés de haute technologie, où les acheteurs attendent impatiemment la sortie d'un nouveau produit, hyper performant, ne peut pas être prise comme modèle pour le passé.

¹ En revanche, c'est un modèle en matière de recyclage de l'aluminium et de protection de l'environnement.

² L'industrie de l'aluminium a été développée en Norvège par les Anglais et les Nord-Américains pour leurs propres besoins. Ils trouvaient là des ressources hydrauliques facilement accessibles.

³ La Suède a aussi développé une industrie du fer et de l'acier de premier plan.

⁴ Comme l'expose Albert Broder dans *La multinationalisation de l'industrie électrique française, 1880-1931, Causes et pratiques d'une dépendance*. In: *Annales Économies, Sociétés, Civilisations*, 39^e année, n° 5, 1984, pp. 1020-1043, la France ne pouvait pas être prise comme premier exemple. Les modes de fonctionnement y sont à l'opposé de la situation suédoise. Ils expliquent que des déphasages entre pays peuvent être durables et lourds de conséquences économiques.

⁵ *From local networks to national systems, A comparison of the emergence of electricity and telephony in Sweden*, Arne Kaijser, in *Un siècle d'électricité dans le monde, 1880-1980, op. cit.* De nombreuses informations en sont extraites.

⁶ L'invention cruciale, celle de la dynamo, indispensable génératrice de courant continu, date de 1869. Elle est due au belge Zenobe Gramme.

⁷ Appelé *kerosene* aux USA.

La rude compétition entre gaz et électricité dans les rares pays industrialisés de l'époque, a mis en évidence des traits spécifiques du succès qui présentent de fortes ressemblances avec ce qu'il a fallu faire — à la même époque, aux États-Unis — pour créer le marché de l'aluminium. Cela ne doit pas être considéré, tant s'en faut, comme ayant été chose facile. Pour comparaison, le cas particulier de l'aluminium en France peut être abordé à partir d'une excellente étude¹.

La compétition entre le gaz et l'électricité a duré une trentaine d'années. La performance technique et le prix ont constitué les critères ultimes de choix, abstraction faite des considérations politiciennes. En fait, il s'agit-là d'un exemple très significatif de cette interaction entre industrialisation et société qui a fait l'objet d'études d'histoire approfondies², sur une période de quatre-vingts ans. L'innovation n'a pas seulement été de nature technologique, elle a atteint toutes les dimensions constitutives de la société et, pour être efficaces, certains changements ont dû être simultanés.

Voici brièvement le cœur de l'affaire et sa conclusion. Technique et coût se sont trouvés réunis dans un facteur critique, l'efficacité énergétique des lampes. Sous l'effet de la concurrence, cette efficacité a été multipliée par un facteur dix en vingt ans, pour les deux procédés. D'un côté, le jadis célèbre « bec Auer », avec son lumineux manchon de terres rares, date de 1890. Son efficacité a vite été égalée par celle de l'ampoule à filament de tungstène. En 1910, l'électricité était supérieure au gaz dans tous les domaines, écrit Kaijser. S'il était encore nécessaire, un coup mortel sera porté au gaz — issu du charbon — et au pétrole, tous les deux importés, par l'embargo résultant de la Première Guerre mondiale. Le prix de l'électricité, d'origine hydraulique donc « nationale », ne s'en trouva que légèrement affecté : la cause était définitivement entendue !

L'électricité l'ayant emporté sur le gaz dans une application publique et précoce, l'éclairage des villes, il faut maintenant expliquer comment son développement s'est structuré³, dans le temps et dans l'espace. Les concepts importants sont le circuit local et les lignes de distribution — schéma de type « *hub and spoke*⁴ » — la structure juridique des acteurs et les conditions économiques du développement. Bien sûr, les aspects scientifiques et techniques de l'électricité ne peuvent pas être développés ici. Au tout début, la production d'électricité — en courant continu — se faisait dans une centrale au charbon, le plus souvent propriété d'une régie municipale de l'éclairage qui se chargeait aussi de la distribution. La première unité de ce type est apparue en 1885 ; il y en avait 35 en 1900 et 75 en 1910. Leur portée ne dépassait pas quelques kilomètres, il s'agissait bien d'un réseau local. Outre des régies municipales, de nombreuses sociétés construisirent leurs propres installations de production d'électricité pour une utilisation sur place. Dans les années 1900, les moteurs électriques à courant continu constituaient, pour elles, la meilleure utilisation possible de l'électricité — pompes, scies, machines diverses. Le passage du niveau local au niveau régional se fera au cours des premières décennies du XX^e siècle⁵ par la construction de lignes de transport à haute tension — inférieure à 50 kV en 1911 — et **surtout** grâce à la technologie du courant alternatif.

¹ L'Aluminium français, L'invention d'un marché 1911-1983, Florence Hachez-Leroy, CNRS Éditions, 1999.

² Industrialisation et Sociétés en Europe occidentale du début des années 1880 à la fin des années 1960, France, Allemagne-RFA, Italie, Royaume-Uni et Benelux, ouvrage collectif, Éditions CNED-SEDES, 1997.

³ *Networks of Power: Electrification of Western Society, 1880-1930* Thomas P. Hughes (Johns Hopkins University Press, 1983), analyse de Leslie Hannah dans le *Chicago Journal*.

⁴ Centre et rayons.

⁵ Pour comparaison, les campagnes françaises ne seront électrifiées qu'après la Seconde Guerre mondiale et la généralisation du 220 V se fera, à Paris, aux frais du producteur, au milieu des années 1960.

En général, les chutes d'eau sont situées assez loin des villes et des usines. Elles peuvent produire de l'électricité à bas prix mais les équiper présentait de nombreuses difficultés, autres que techniques. Difficultés juridiques, car la loi suédoise n'autorisait pas l'expropriation des chutes d'eau et rendait problématique la construction des lignes à haute tension dont les pylônes reposent sur le sol. La première bataille s'est donc déroulée au Parlement¹. Difficultés juridico-financières aussi : il fallait réunir l'important capital nécessaire et lui donner la forme adaptée de société par actions. Plusieurs sociétés de ce type ont été créées et le State Power Board a été formé en 1909, impliquant l'État pour longtemps. Il en résulta un changement fondamental et durable de la répartition des tâches. Les sociétés municipales qui effectuaient à l'origine la production et la distribution devinrent de simples distributeurs, totalement dépendants des producteurs. Dans les années 1910, la structure anticipa la croissance et adopta la forme qui existe encore aujourd'hui, mélange entre propriété privée, propriété municipale et propriété de l'État.

L'étape suivante de structuration technique commence au début des années 1920. Le réseau s'étend progressivement au plan régional puis au niveau national par la construction de lignes de transport plus longues et plus puissantes. Ainsi a été construite en 1921, une ligne 130 kV entre l'ouest et l'est de la Suède, première étape vers un réseau national qui comprendra en outre, en 1960, des lignes 220 kV et 380 kV², dans un réseau maillé³ qui apparaît serré sur une carte. L'objectif d'une telle construction était et est encore, comme le montrent *a contrario* les effondrements de réseau dont la presse se fait l'écho, la fiabilité au moindre coût d'opération. Sa fonction, commune à tous les pays, est de permettre des échanges de courant — entre les régions et avec l'étranger⁴ — et de stabiliser la charge par l'augmentation du nombre d'abonnés. L'autre composante fondamentale de la distribution est constituée par les réseaux locaux qui permettent de desservir le plus grand nombre possible d'usagers. D'importants investissements ont servi, jusque dans les années 1960, à rassembler les producteurs et à unifier les techniques. En effet, depuis les années 1920, la diversité technologique dominait. Dans les villes, les deux-tiers des abonnés étaient alimentés en courant continu alors que les faubourgs étaient alimentés en courant alternatif. Pas moins de treize systèmes différents de distribution coexistaient. En tout, il a fallu quarante ans pour reconstruire les réseaux locaux et parvenir à un système techniquement homogène, étendu au pays tout entier.

¹ Il a interdit la construction de centrales sur les 4 fleuves principaux ainsi que sur une quinzaine de fleuves à plus petit débit, renonçant ainsi à près de la moitié du potentiel hydro-électrique du pays. Source : les Notes AFSR (Association franco-suédoise pour la recherche), n°11, 1998.

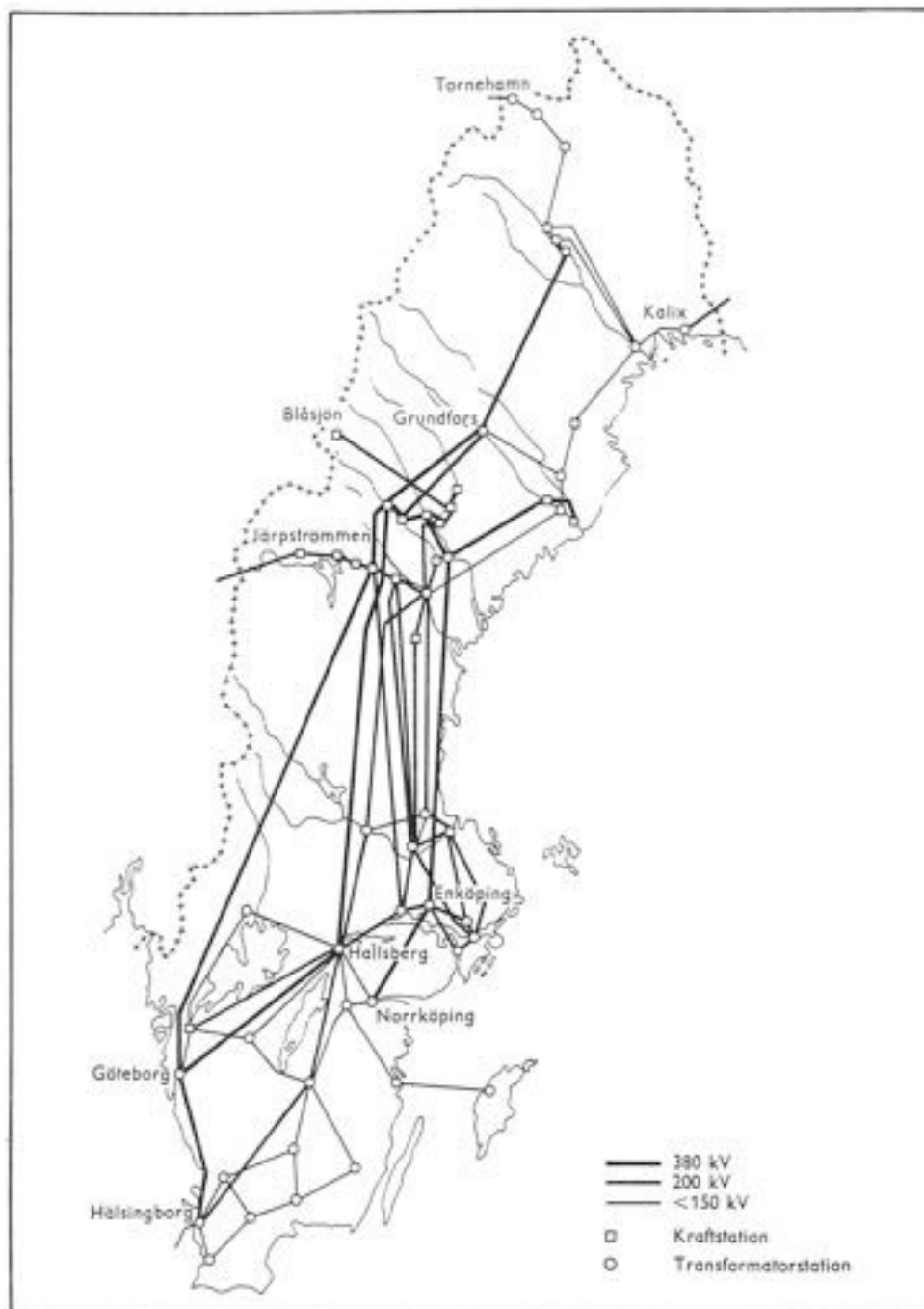
² Construite en 1952, cette ligne 380 kV était la première au monde de ce type. Source : Arne Kaijser.

³ On parle aussi de grille et d'interconnexion.

⁴ Ces échanges sont spécifiques au domaine. Effectués dans les deux sens, ils peuvent être brefs, nombreux et porter sur des quantités importantes d'électricité. Leur bilan annuel est présenté un peu plus loin.

Le réseau électrique suédois en 1960

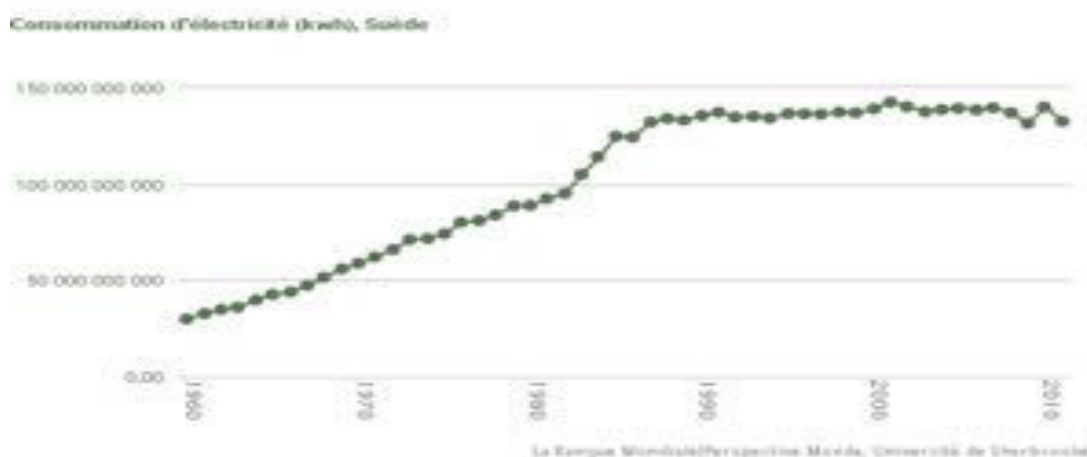
≥ 130 kV



Sources : Kungl. Vattenfallstyrelsen, *Elkraft Samarbete i Norden*, Stockholm, 1961.

La suite de l'histoire est politique et plus complexe ; des choix de modes de production ont dû être effectués quand des besoins nouveaux sont apparus dans les foyers. À la fin des années 1950, pas avant¹, la croissance de la consommation fit entrevoir les limites de l'hydroélectricité² et la Suède développa l'usage du pétrole, aussi pour ses besoins de transport. Les crises pétrolières des années 1970 entraînèrent une forte baisse de la consommation d'énergie. Commença alors, en substitution, un programme de développement du nucléaire. Mais les accidents et notamment celui de Three Miles Island (Pennsylvanie, USA), en 1979, inquiétèrent la population qui devint hostile au nucléaire et qui, par referendum, décida d'y renoncer à partir de 1998. Le Gouvernement a alors choisi de favoriser le développement d'autres formes d'énergie au travers de programmes de politique énergétique à long terme³. Plus tard, le besoin d'acheter de l'électricité aux pays voisins — Norvège et Danemark — ainsi que les préoccupations environnementales ont repositionné le nucléaire dans ses limites existantes. La politique énergétique⁴ est un exercice difficile.

Le déclin relatif de l'hydroélectricité dû à ses limites, naturelles ou réglementaires, le recours au charbon — 0 à 3 % de la production — toujours susceptible de fournir facilement un complément d'électricité et le développement du nucléaire sont illustrés par d'excellents graphiques dus à l'Université de Sherbrooke⁵ (Québec). Plusieurs sont reproduits ci-dessous, afin de donner une vision d'ensemble de la situation.



La consommation totale d'électricité a augmenté de 360 % entre 1960 et 2006. Après un maximum absolu de 142,5 TWh en 2001, elle a eu tendance à diminuer un peu chaque année. Après une croissance soutenue, la consommation par tête a connu un pic à 16 700 kWh⁶ en 1988 et elle a diminué lentement depuis. Les variations annuelles de la production, plus que celles de la consommation, se sont amplifiées depuis 1996. Ainsi, d'une année sur l'autre, la production

¹ En 1962, 96 % de l'électricité étaient encore produits par l'hydraulique, mais la décroissance relative s'annonçait, voir courbe ci-dessous (Source : Université de Sherbrooke, Québec).

² Il existe environ 1 200 centrales hydrauliques en Suède dont la moitié fournit moins de 1 000 kWh (ASFR, n° 11, op. cit.)

³ Cf. Lennart Bodén, *la Suède affiche ses ambitions*, n° 9 Énergie, Un risque de pénurie, novembre 2004, www.constructif.fr

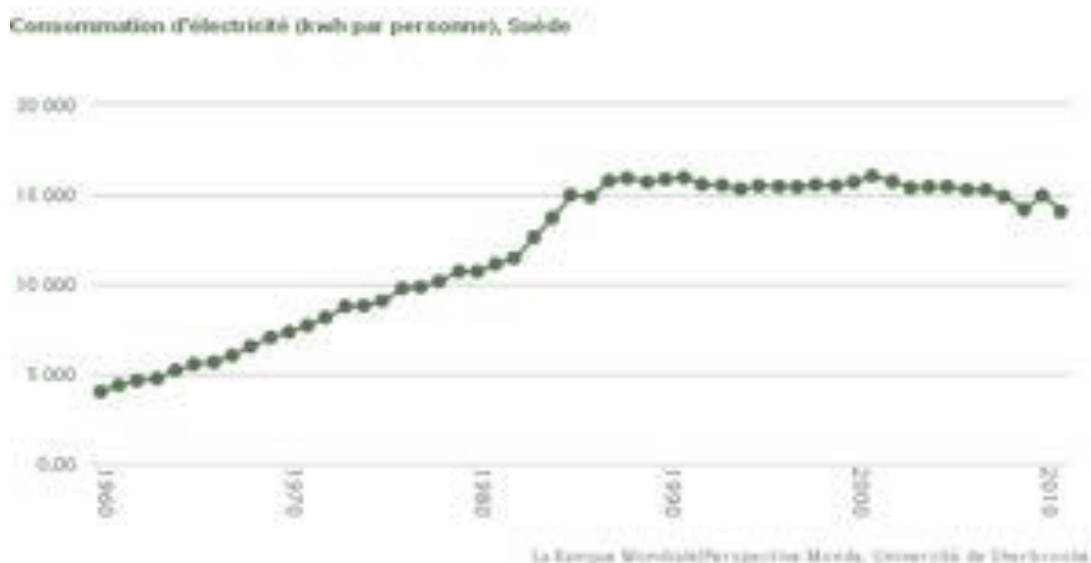
⁴ À titre d'ordres de grandeur, en 1996, la consommation d'électricité du pays était de 142 TWh et la consommation totale d'énergie de 484 TWh dont près de 40 % provenaient du pétrole (ASFR, n° 11, op. cité)

⁵ Ces graphiques existent pour tous les pays et leur existence permet d'y faire référence, allégeant d'autant la présentation.

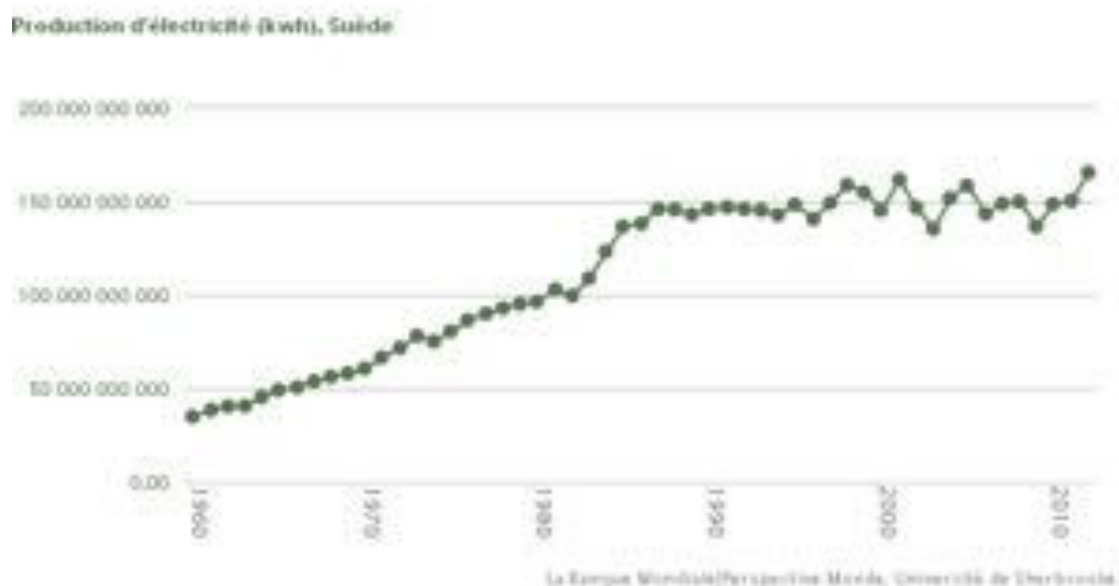
<http://perspective.usherbrooke.ca/bilan/servlet/BMTendanceStatPays?langue=fr&codePays=SWE&codeStat=EG.ELC.PR.OD.KH&codeStat2=x>

⁶ Soit, à peu de choses près, la quantité d'électricité nécessaire à la production d'une tonne d'aluminium.

hydraulique a pu passer de 52 à 68 TWh¹, fonction sans doute de la pluviosité, alors que la consommation varie, elle, en fonction du froid et d'un éventuel arbitrage des consommateurs entre le pétrole, le bois et l'électricité.



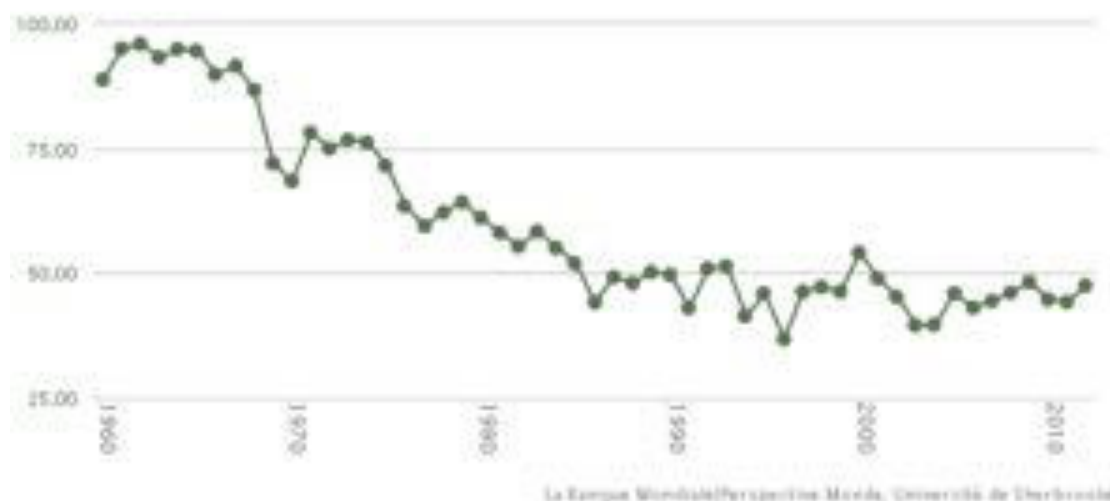
Définition. Cette statistique donne une évaluation de la production des centrales électriques moins les pertes occasionnées par la transmission, la distribution et la transformation, ainsi que l'énergie utilisée par les centrales elles-mêmes. Un kilowattheure est l'équivalent du travail accompli en une heure par un moteur d'une puissance de 1 000 watts. Rappel des unités : 1 TWh = 1 Téra Watt heure = 10^9 kWh.



Définition. En plus de l'électricité générée par l'énergie hydraulique, le charbon, le pétrole, le gaz et l'énergie nucléaire, la statistique tient également compte de l'électricité générée par l'énergie géothermique, solaire et éolienne.

¹ Soit 30 %. ASFR, *op. cit.*

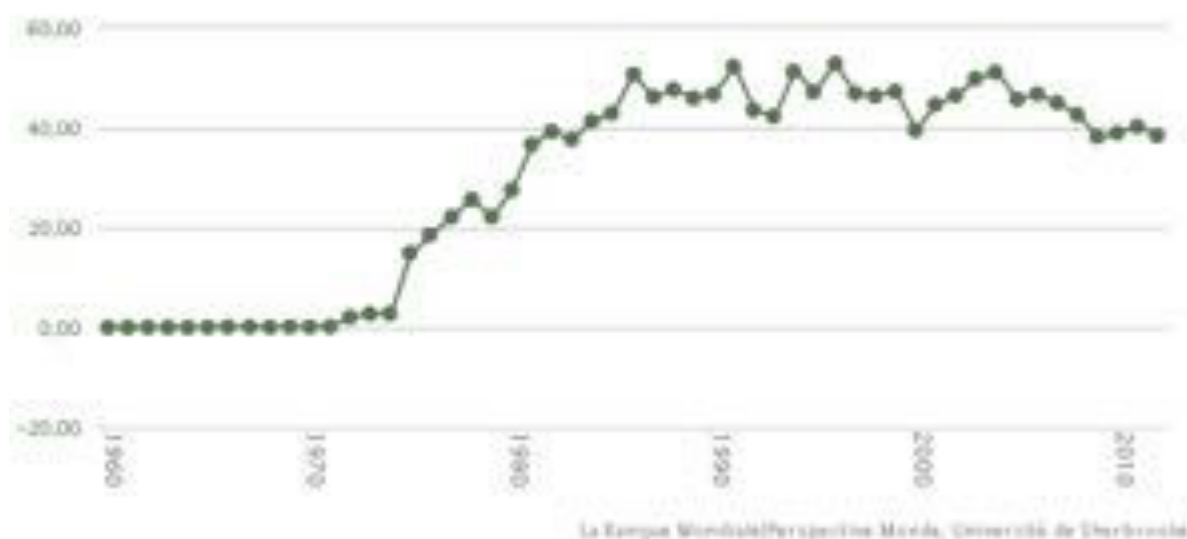
Production d'électricité - hydroélectricité (% de la production totale), Suède



Définition. Il s'agit du pourcentage de la production d'électricité par l'énergie hydraulique.

Les fortes fluctuations de la production hydroélectrique sont liées, pour partie, aux variations des conditions climatiques, en particulier aux chutes de neige qui doivent reconstituer les réserves d'eau.

Production d'électricité - à partir d'énergie nucléaire (% de la production totale), Suède



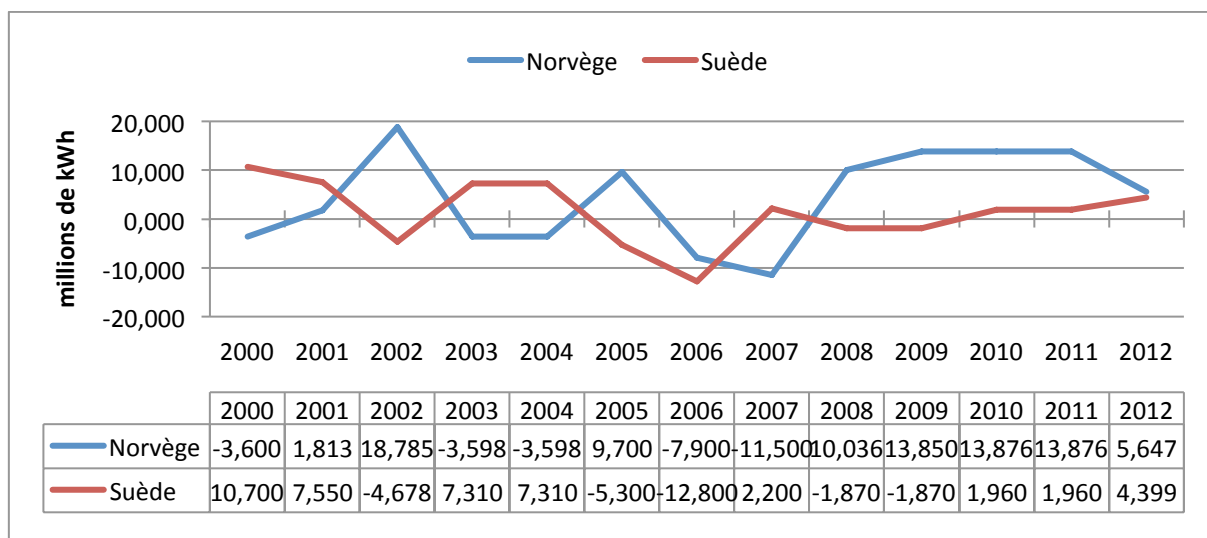
Définition. Il s'agit du pourcentage de la production d'électricité dont la source est l'énergie nucléaire.

La part de l'électricité d'origine nucléaire est devenue significative au milieu des années 1970 et elle a continué à croître. La production d'énergie renouvelable, solaire, géothermique et éolienne a pris une part croissante, environ 4 TWh dans les années 2000.

Pour réaliser la parfaite égalité instantanée entre la demande et l'offre, la Suède doit importer de l'électricité. Ce besoin affirme l'absolue nécessité d'un réseau national et de son interconnexion avec l'étranger. Les variations de la demande peuvent être importantes, fréquentes et très rapides. Les échanges de courant s'effectuent à l'importation et à l'exportation, parfois les deux au même instant — par exemple du Danemark et vers la Finlande — ce qui nécessite un surdimensionnement du

réseau pour faire face aux pointes. La figure ci-dessous représente le bilan annuel des échanges de la Suède, avec ses voisins, sur vingt ans. À titre de comparaison et pour montrer une possible complémentarité, la courbe et les chiffres relatifs aux échanges de la Norvège ont été ajoutés. Les valeurs, de source anglo-saxonne, correspondent à des milliers de millions de kWh, soit à des échanges de 1 à 14 TWh.

Bilan annuel exports-imports d'électricité de la Suède et de la Norvège



Enerdata, Global Energy Statistical Yearbook 2011

Source : <https://yearbook.enerdata.net/>

Sur le graphique, les exportations apparaissent avec les valeurs négatives (–).

Plusieurs généralités peuvent encore être énoncées, voire précisées.

D'abord, les échanges imposent un savoir-faire commun entre pays voisins, à la fois en matière de techniques¹ utilisées, d'équipements mis en œuvre et de politique énergétique. Les évolutions doivent être coordonnées. L'essentiel des applications civiles de la science a été mobilisé pour parvenir à la situation actuelle. En contrepartie, les modes de vie ont été profondément transformés et les mutations accélérées par les deux Guerres Mondiales. Il a fallu attendre les années 1990 pour voir apparaître une situation quasi stationnaire en termes de consommation, dans un pays occidental industrialisé et très préoccupé par l'environnement.

Les choix des moyens de production de l'électricité sont contraints par la nature éphémère du bien et par la multiplicité de ses emplois, publics, domestiques et de production de biens ou de services. L'adaptation, dans le temps, de ces choix à la réalité peut conduire à des revirements politiques, la Suède l'a expérimenté avec le nucléaire. Un autre exemple intéressant est celui des éoliennes que le voisin danois a développées plus vite et plus fort, ce qui a pu inciter le gouvernement suédois à mettre sur pied en 1997 deux « programmes de politique énergétique à long terme² » qui dès 2004 avaient permis des avancées tangibles en matière d'énergie renouvelable et d'économies d'énergie.

¹ La Suède a développé des compétences de premier plan dans l'industrie des matériels électriques (ASEA puis ABB, Ericsson), ce qui peut avoir facilité les évolutions législatives et accéléré les processus d'adoption des nouveautés technologiques par la population.

² Cf. Lennart Bodén, *op. cit.*

La déréglementation et le contrôle confiés au marché en 2002 fonctionnent, mais ne peuvent pas prendre en compte toutes les dimensions de l'action. L'intervention de l'État reste parfois nécessaire. En outre, en raison de sa nature et de son importance, le réseau de transport est resté monopole national dans sa totalité.

La Suède dispose d'avantages naturels sur lesquels elle s'est construite : un fort potentiel hydraulique exploité à son maximum légal, des compétences techniques précoces, sans cesse améliorées, et des moyens industriels pour les mettre en œuvre jusqu'à l'exportation des produits. En outre et surtout, elle a évité bien des détours grâce à l'existence d'une volonté politique consensuelle et de capitaux à risques disponibles, tant publics que privés. Elle ne possède par ailleurs ni pétrole, ni charbon qui auraient pu conduire à une dispersion des efforts. Le pays est resté neutre pendant les Guerres mondiales, il n'a donc ni subi leurs dommages, ni développé d'industrie d'armement à outrance. Pour autant et pour faire le lien avec le deuxième élément du « *binôme* », la situation de l'aluminium primaire dans le pays n'a jamais été florissante. Ainsi, en 1935, la Suède qui débutait dans le métier a produit 1 800 tonnes¹, autant que la France en... 1904. Elle n'a pas cherché à rattraper son retard sur les premiers pays engagés dans cette activité. L'établissement des priorités n'a pas été un automatisme de contagion. Il faut dire qu'à la différence de la Suisse et de l'Allemagne, la Suède était géographiquement éloignée des sources de l'invention, et qu'elle n'avait pas d'accès facile à la bauxite. Les mêmes remarques s'appliqueraient sans doute à l'ex-URSS qui avait commencé sa production d'aluminium quelques années plus tôt, mais il est très probable que les enjeux militaires y ont orienté les choses dans un sens différent.

L'analyse qui précède a permis de retracer les étapes de la construction d'une production nationale d'électricité exonérée de la production d'aluminium. La demande est venue d'une pression sociale en faveur d'un plus grand confort, pression qui ne s'est pas modérée avant les années 1990, pour des raisons économiques et écologiques. On peut alors penser que chaque pays industrialisé a développé, en matière d'électrification, une situation particulière, fruit de ses ressources naturelles et des contraintes géographiques liées à leur mise en valeur. En revanche, le processus de croissance, parti d'un état initial commun à tous, l'usage un peu répandu du gaz d'éclairage dans les villes, pour arriver à un état final comparable, la quasi-saturation du marché de l'électricité et un partage fluctuant entre les différents moyens de la produire, est passé par les mêmes étapes obligées. Là où le choix de produire de l'aluminium a été fait par des savants pleins d'assurance et de goût d'entreprendre, la force de l'eau a été mise à leur service. Mais la force des seuls torrents n'a pas, en Europe², fourni assez d'électricité pour les deux besoins, celui lié à la croissance de l'aluminium et celui issu du désir de bien-être d'une population en augmentation. Le faible prix du pétrole pendant la première moitié du XX^e siècle a sans doute contribué à rendre crédible ce désir de bonheur, aux États-Unis d'abord où la disponibilité de quantités considérables de charbon a limité les effets négatifs des chocs pétroliers. Aujourd'hui, des conséquences négatives apparaissent qui pourraient influencer sur le mode de vie des particuliers — il faudra trouver des économies ou des incitations à économiser l'énergie — et aussi sur la consommation des usines d'électrolyse, donc sur leur production d'aluminium. La délocalisation des usines ne répond qu'en partie à la question.

Un autre facteur influe grandement sur la demande d'électricité, c'est l'augmentation de la population qui entraîne une demande corrélative de tous les services. Elle est mesurée ainsi pour la

¹ Et 3 000 tonnes en 1948, Barrand et Gadeau, *op. cit.* *La répartition de l'industrie européenne de l'aluminium*, et Jean Chardonnet, *Revue économique* Année, 1950 volume 1 n° 5, pp. 597-607. La production semble avoir souffert de coûts élevés.

² À une exception près !

Suède : « Pour l'ensemble de la période 1960-2012, on enregistre une croissance annuelle moyenne de 0,5 % — fluctuante dans le temps — ou + 6 % entre la première et la dernière année¹ ». La valeur est faible et elle contribue à la stabilité des chiffres de la production.

iii. Les premiers faits stylisés de l'électrification

Suivant l'idée de Kaldor, il semble intéressant de dégager des faits stylisés qui seront testés dans les autres pays à étudier :

- a) Le potentiel hydroélectrique tend à être utilisé à son maximum — une fois défini le droit de l'eau ;
- b) L'absence de charbon et/ou de pétrole sur le territoire évite la dispersion des efforts mais ne permet pas une éventuelle concurrence, en principe favorable au consommateur ;
- c) Un fort degré de développement de l'éclairage au gaz, atteint en 1890-1900, a ralenti la percée de l'électricité ;
- d) Des connaissances scientifiques de haut niveau sont indispensables lors de la mise en place d'une nouvelle technique, pour en valoriser les retombées ;
- e) Seuls des laboratoires de recherche appliquée permettent un développement organisé ; ils orientent la fabrication des équipements, la diffusion des modes opératoires chez les installateurs et des habitudes chez les consommateurs ;
- f) Un potentiel industriel dynamique favorise la mise en œuvre des inventions ou des améliorations : la production et l'exportation — pour la Suède, du gros matériel électromécanique ;
- g) L'information, voire la formation du potentiel humain facilite l'apprentissage des nouvelles techniques et de leur application ;
- h) Le démarrage d'une nouvelle industrie requiert des capitaux à risques et un esprit d'entreprise — un marché des capitaux actif ;
- i) Une tradition de consensus dans le choix des priorités nationales réduit la dispersion des efforts ; l'indice de démocratie de *The Economist*, plaçait la Suède au 1^{er} rang sur 165 pays, en 2008 ;
- j) Une bonne entente entre l'État et les municipalités a facilité le passage du gaz à l'électricité ; les municipalités ont été les premières à mettre en place la distribution et ont ensuite conservé un rôle dans le domaine ;
- k) La politique de neutralité pendant les deux Guerres Mondiales a eu des conséquences positives sur l'évolution des domaines de croissance ;
- l) Le découpage en périodes de rythme de croissance proche se présente ainsi : 1890-1930, 1930-1960 ; 1960-1990 ; depuis 1990 ;

Ces douze faits stylisés peuvent être regroupés en plusieurs catégories :

- i. Les ressources naturelles (a, b)
- ii. La technologie, par le niveau de connaissance — adaptabilité — des spécialistes, des exécutants et des consommateurs (c, d, e, f, g)
- iii. L'esprit d'entreprise des industriels et des banquiers (c, e, f, h, i)
- iv. Le niveau de consensus national (h, i, j, k)
- v. Le découpage de la croissance dans le temps (l)

¹ Contre + 41 % en France pour la même période, soit une différence considérable en valeur : +19 millions de personnes en France contre + 2 millions en Suède. Source : perspective usherbrooke.ca, *op. cit.*

Ce regroupement sera éventuellement revu. Quant au découpage en périodes, il reste évidemment à adapter en fonction de la situation des autres pays.

iv. La production d'aluminium en Suède

Faible au regard du potentiel hydraulique, la production d'aluminium n'est pas nulle. La revue, *Light Metal Age*, a publié en décembre 2013 deux listes, celle des usines d'électrolyse et celle de la refusion dans le monde. Voici les résultats, avec les indications de capacités annoncées de chaque établissement. La production primaire, connue par ailleurs, a été ajoutée¹.

a) Aluminium primaire

1. La société Sundsvall dispose d'une unité de production d'une capacité 130 000 t/an dénommée Kubikenborg Aluminium AB (Kubal). De 1998 à 2011, sa production a peu varié autour de 100 000 tonnes par an, avec cependant une réduction volontaire à 70 000 tonnes en 2009. La quantité d'électricité consommée par cette production est de l'ordre de 1,5 TWh, soit environ 1 % de la consommation d'électricité du pays.

b) Aluminium secondaire

2. La capacité de production annoncée de chaque site est indiquée ci-dessous :

Sweden	Älmhult	Stena Gotthard	90 000 t/an
Sweden	Aseda	Profilgruppen AB	
Sweden	Charlottenberg	Nemak	
Sweden	Finspong	Sapa Heat Transfer	65 000 t/an
Sweden	Gränges	Gränges Aluminium	15 000 t/an
Sweden	Helsingborg	AB Elektrokoppar	58 000 t/an
Sweden	Vetlanda	Sapa	35 000 t/an

Source : Light Metal Age²

3. La production secondaire annuelle n'est pas publiée mais les capacités installées laissent penser que cette production pourrait être supérieure à la production primaire, par la refusion de déchets.
4. La Suède constitue un bon exemple de processus d'électrification à partir de l'hydraulique, de ses débuts jusqu'à aujourd'hui, c'est pour cela qu'elle a été choisie. Le progrès technique est rendu visible par la tension des lignes de transport, 50 kV, puis 130, 220 et 380 kV, ou par leur longueur, et il est daté ; la croissance se mesure par la production annuelle exprimée en TWh — 62 TWh en 2008, elle plafonne. Le processus daté rappelle les situations et les difficultés passées. Il permet aussi la comparaison avec le rythme de croissance de l'aluminium, car les deux ont été plutôt concomitants dans les pays développés. Par rapport à eux, la Suède a suivi un chemin original, la production d'aluminium y a commencé plus tard, à un niveau modeste ; ensuite, elle n'a pas constitué un axe privilégié de la croissance. Plusieurs causes semblent plausibles : 1) la volonté précoce de préserver le cadre de vie qui

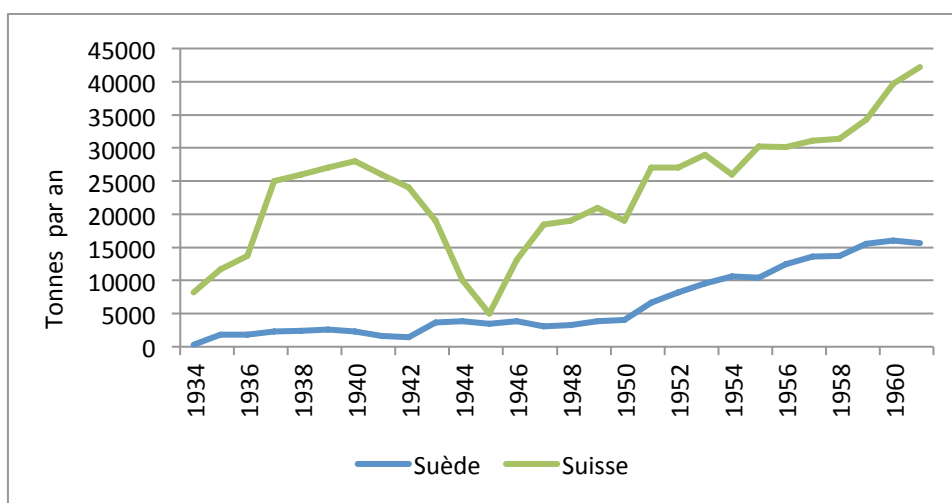
¹ Source : USGS, différentes années.

² http://lightmetalage.com/producers_primary.php

s'est traduite par une limite légale de la puissance hydraulique pouvant être installée ; 2) l'éloignement des sources de bauxite ; 3) la présence de minerai de fer, le développement d'une sidérurgie spécialisée et d'une industrie de gros matériel électrique ; et enfin, 4) la neutralité d'un pays peu peuplé, pendant les deux conflits du XX^e siècle.

5. La production annuelle d'aluminium primaire de la Suède, de 1934 — première année de production — à 1961, est comparée ci-dessous à celle de la Suisse, la seule qui soit restée à la même échelle dans la période de croissance de l'après-guerre. Le choix de la Suède, d'une croissance modeste de la production y apparaît clairement. Les développements ultérieurs ont confirmé cette décision.

Production d'aluminium comparée, Suède et Suisse



Source : *L'Aluminium*, Pierre Barrand et Robert Gadeau, Éditions Eyrolles, 1964.

Le nombre de pays producteurs d'aluminium a augmenté après 1980 quand de nouveaux venus, disposant d'énergie bon marché et de capitaux, ont acheté la meilleure technologie disponible. Leur situation initiale était totalement différente de celle des fondateurs. Ils se sont vite développés, car leurs usines étaient plus grandes et plus productives que les anciennes, ils n'appartiennent pas à la même « génération », mais leurs besoins sont restés de même nature. Le cas complexe de la France, pays du brevet Hérault, est bien décrit dans la littérature tant pour l'électricité que pour l'aluminium. Ses particularités seront présentées. Ensuite, pour des raisons à venir, les États-Unis et le Canada seront les exemples privilégiés de l'analyse économique. Leur évolution en matière d'électricité, spécifique en raison des dimensions du continent, mérite une description détaillée. La littérature montre que les autres producteurs anciens ont reproduit peu ou prou les mêmes schémas.

III. De nouveaux exemples, France, États-Unis et Canada

Dans le monde de l'aluminium, la France et les États-Unis ont occupé une place particulière qui aurait pu être prédominante. Les inventeurs des deux pays avaient fait jeu égal, à quelques mois près, mais la partie industrielle qui s'est engagée ensuite était très inégale, en dépit de l'intrépide stratégie d'Adrien Badin de construire une usine en Caroline du Nord, en 1912. S'il avait réussi...

Un exemple illustre l'irréductible différence de taille : la première usine américaine d'aluminium utilisant l'hydroélectricité a été construite par La Pittsburgh Reduction Company en 1896 sur l'énergie des Chutes du Niagara. Quel fleuve français aurait soutenu la comparaison alors qu'en 1892, la SEMF avait installé en Maurienne, à La Praz (Savoie), la première usine d'électrolyse de la vallée de l'Arc ? La suite a été à l'avenant, avec notamment les découvertes d'immenses ressources

en charbon et en gaz. La compétition était ouverte dans un seul domaine : la technologie ; elle n'a malheureusement pas suffi à compenser !

i. La France

À ce stade, le premier exemple est naturellement celui de la France qui, au moment crucial, la fin du XIX^e siècle, avait les savants, les brevets, l'audace et l'expérience, tant du côté de l'électricité (Aristide Bergès, le « Père » de la Houille Blanche) que du côté de l'aluminium (de Sainte Claire-Deville, le chimiste, à Paul Héroult, l'électro-chimiste). Elle disposait en outre d'importants gisements de cette bauxite qui doit son nom aux Baux-de-Provence où elle fut découverte. Que sont devenus au fil des ans ces incontestables avantages absolus ? La réponse générale revient aux historiens.

Historien de l'économie, Albert Broder¹ dresse un tableau de la France aux XIX^e et XX^e siècles qui met à l'épreuve de nombreux paramètres. Il distingue électrochimie et électrometallurgie, deux domaines connexes dans lesquels l'industrie française a longtemps occupé une place de premier plan². À propos de l'industrie électrique, il parle de « dépendance technique et de subordination industrielle au tournant du XX^e siècle » en raison des difficultés de création de la Compagnie Générale d'électricité en 1898. Il note que certains matériels sont fabriqués en France, sous licence et dans des filiales de compagnies étrangères, et il ajoute : « La France ne dispose pas d'une industrie de biens d'équipement correspondant à sa situation dans le monde ». Dans ce domaine, les USA, l'Allemagne et la Suède ont une avance certaine. Il souligne l'étrange attachement à l'éclairage au gaz « qui donne toute satisfaction », notamment à Paris, et le manque d'intérêt des capitaux pour des investissements dans l'industrie. L'électrification urbaine progresse lentement, les tramways s'implantent difficilement faute de trouver une rentabilité satisfaisante dans la croissance de la demande de transport. Ces lenteurs expliquent peut-être la place prépondérante prise par l'État dans tous les domaines, et ses multiples interventions, contrôle des prix, barrières protectionnistes, législation, nationalisation.

a) L'histoire de l'électricité

Le passage de l'histoire de l'économie à l'histoire de l'électricité est effectué par M^{me} Fabienne Cardot³. Dans sa présentation au Colloque, elle divise l'électrification en trois périodes⁴, en accord dit-elle avec les autres spécialistes du domaine⁵ :

Le départ date de 1881, l'année de la Première exposition internationale d'électricité de Paris. Elle marque l'apparition de l'électricité industrielle en France, après les premières applications des années 1870 et avant les débuts de l'introduction — par les municipalités — des premiers

¹ Professeur à l'Université de Paris XII, il a écrit « *L'économie française au XIX^e siècle* » et « *Histoire économique de la France au XX^e-1914-1997* », Synthèse Σ Histoire, Ophrys, 1993 et 1998.

² Henri Gall et Amaury de Montlaur déposent, en 1886, un brevet de fabrication électrolytique du chlorate de soude. Ils fondent en juin 1889 la Société d'Électrochimie qui deviendra en 1922 la Société d'Électrochimie, d'Électrometallurgie et des Aciéries Électriques d'Ugine — producteur d'aluminium — puis Ugine-Kuhlmann en 1966 et enfin Pechiney Ugine Kuhlmann en 1971.

³ *L'histoire de l'électricité en France*, Fabienne Cardot, dans Un siècle d'électricité dans le monde, 1880-1980, Actes du Colloque, PUF 1987, pp.69-83.

⁴ La France des électriciens, 1880-1980, P.U.F. Paris 1986, *op. cit.*

⁵ Dans *L'économie mondiale 1820-1992, Analyse et statistiques*, OCDE Paris, 1995, Angus Maddison distingue quatre « phases » de croissance qui recouvrent en partie l'intervalle de temps propre à cette étude : 1870-1913, 1913-1950, 1950-1973, et 1973-1992. Pour une étude jointe de l'aluminium et de l'électricité, il semble justifié de retenir ce découpage, en prolongeant la dernière période. Au plan de l'aluminium, l'IHA effectue un découpage en quatre périodes, très proche, 1914 au lieu de 1913, et 1975 au lieu de 1973.

équipements spécialisés des années 1890. Malgré ses savants, la France est en retard¹. La loi dicte l'évolution des mentalités : la loi du 15 juin 1906 régleme la distribution mais il faudra attendre la prise de conscience due à la guerre et la loi du 16 octobre 1919 pour que, près de quarante ans après l'Exposition Universelle, « l'électricité, issue de l'exploitation du potentiel hydraulique ou du charbon français, [apparaisse] comme une énergie nationale²... ».

Les barrages construits sont plus grands, plus nombreux, et des réseaux régionaux distribuent leur production. « C'est donc dans les années 1920 seulement que s'épanouit une branche industrielle florissante... La caractéristique française demeure une utilisation parallèle des ressources hydrauliques et thermiques, toutes deux facilement exploitables... qui mènera... à l'élaboration de réseaux de transport régionaux, puis à l'interconnexion nationale des années 1940 ». La France a vingt ans de retard sur le Canada³. Ses principales sources d'hydroélectricité, de petite taille, sont dispersées entre Alpes et Pyrénées et plutôt éloignées des zones urbaines, en revanche elle dispose de charbon. Logiquement, les barrages de montagne approvisionnent une industrie régionale, forte consommatrice d'électricité, et des centrales thermiques sont bâties à proximité des zones urbaines et des houillères. Ressources et emplois sont ainsi séparés, il n'y a encore ni concurrence sur les prix, ni ébauche de complémentarité autre que géographique.

La troisième date proposée par M^{me} Cardot est celle de la nationalisation de la production, du transport et de la distribution de l'électricité par la fondation, en avril 1946, d'Électricité de France. La décision intervient à un moment opportun, il faut reconstruire, rendre l'ensemble homogène et favoriser l'usage de l'électricité pour développer l'économie et améliorer le mode de vie des français. Pourtant, pour l'électrométallurgie, industrie ancienne et dispersée, éloignée des ports, c'est une mort annoncée longtemps à l'avance. Une anecdote du début des années 1960 a été racontée par un témoin⁴ de la scène, ce lui donne un caractère presque officiel. Un jour, Pierre Guillaumat, président d'EDF, et Pierre Jouven, président de Pechiney, anciens condisciples, participent à une réunion où il est question d'électricité. À la fin de la discussion, le premier dit au second « Pierre, va donc faire ton aluminium à l'étranger !... » Ensuite, de fait, Pechiney investira dans l'aluminium aux USA, en Grèce, au Cameroun, plus tard en Australie et au Canada. L'usine de Dunkerque ne sera construite qu'à la fin des années 1980, sur une tranche nucléaire, à la suite d'un accord unique et circonstanciel entre les deux présidents de l'époque ; l'histoire, contemporaine, est connue. De son côté, EDF a investi massivement dans le nucléaire et l'État a mis tardivement fin aux activités charbonnières⁵. Le gaz naturel de GDF — Lacq, Algérie, Groningue — constituera, heureusement, une alternative pour la consommation des ménages et fournira l'électricité de l'usine de Mourenx (Pyrénées-Atlantiques).

Les dates ci-dessus définissent trois périodes bien distinctes. La fin du XIX^e siècle est le temps des grandes expositions, des inventeurs, des pionniers et des vulgarisateurs, la France brille de l'éclat de ses savants. Et pourtant Fabienne Cardot décrit ainsi la situation à la veille de la Grande Guerre : « la France de l'électricité n'offre en 1914 que l'image d'un pointillisme maigre et épars sur l'ensemble de l'hexagone, hormis quelques concentrations régionales dans les Alpes [et un peu dans les Pyrénées] ou à Paris⁶ ». L'entre-deux-guerres est dénommé par Henri Morsel¹ « la période classique de

¹ Cf. Edison et son installation en Allemagne plutôt qu'en France.

² Citations : M^{me} Cardot, Op Cit.

³ Voir plus loin, l'étude de l'Ontario et du Québec.

⁴ M. Maurice Laparra, ancien directeur général d'Aluminium Pechiney.

⁵ Fermeture du siège de la Houve dans les Houillères du Bassin de Lorraine en avril 2004. Au total, 4,6 milliards de tonnes ont été extraites. Source : *les Charbonnages de France en chiffres, 50 années d'extraction*, 04/03/2004.

⁶ M^{me} Cardot renvoie à M. Magnien, *Le réseau électrique*, Bulletin d'histoire de l'électricité (B.H.E.), 7 juin 1986.

l'électrification », celle de la croissance, de l'harmonisation, de la concentration. Dans les années 1920, la production thermique d'électricité se développe, les réseaux d'éclairage public et les tramways aussi. Dans les années 1930, sont construits de grands barrages au fil de l'eau, l'interconnexion des réseaux régionaux commence, les producteurs se regroupent, bref l'échelle change. Les lignes à haute et très haute tension font leur apparition. C'est l'époque de la « Fée Électricité » dessinée par Raoul Dufy. Après la Seconde Guerre, la combinaison reconstruction-électrification dure jusqu'en 1955 environ, sous la responsabilité des mêmes dirigeants qu'avant la guerre. L'énergie électrique acquiert l'image d'un service public performant. Elle connaît le boom de la recherche nucléaire et de sa tentative de conquête d'un marché international. Les années 1956-1973 voient une forte croissance, l'usine marémotrice du barrage de la Rance est démarrée en 1967. À la fin du siècle, les techniques solaires et éoliennes sont lancées sans continuité et avec assez peu de succès. Le goût français pour la recherche, l'innovation, la vulgarisation et l'amateurisme éclairé, déjà sollicité près d'un siècle plus tôt, provoque un transfert des efforts individuels et collectifs vers l'électronique puis l'informatique qui perdent peu à peu leur lien originel avec l'activité mère.

b) Panorama de l'électricité

Henri Morsel² publie dans les Cahiers de l'histoire de l'électricité et dans les Cahiers de l'histoire de l'aluminium. Pour lui, trois traits, *a priori* favorables, caractérisaient les débuts de l'électricité en France : le haut niveau des savants français, la possibilité de compter à la fois sur le thermique et sur l'hydraulique, et le rôle puissant de l'État. Pourtant, écrit-il, « notre croissance n'a été que timorée » sur la période considérée et « il faut se demander si le trait le plus original de cette histoire n'a pas été que la France a gaspillé ses chances même dans ce domaine³ ». Dans les analyses d'Arne Kaijser et de Pierre Lanthier qui ouvrent sur l'international — la Suède et le Canada — les considérations de nature sociale, juridique et politique, présentes en permanence dans la description de la situation française, sont à peine mentionnées.

c) Les débuts, de 1881 à la Grande Guerre, la liberté d'entreprendre

Les débuts relèvent du paradoxe : la France organise l'Exposition de 1881, elle voit naître les inventions de Benoît Fourneyron (la turbine, 1832), d'Hippolyte Fontaine (1873, associé de Zenobe Gramme, la dynamo), de Marcel Deprez (le transport et la distribution d'électricité, 1883), de Lucien Gaulard (le transformateur électrique, 1884) mais elle ne réussit pas à en faire des réussites industrielles. Une dimension-clé du succès a échappé aux chercheurs français, celle des grandes applications, source de notoriété : l'éclairage électrique a été inventé par l'américain Thomas Edison et le tramway par l'allemand Siemens (1881) aidé un peu plus tard par l'américain Sprague (1888). Une bonne gestion des brevets d'invention a concrétisé la domination étrangère, les français doivent se contenter de licences excluant l'exportation. Seuls Paul Héroult et Henri Gall ont su créer une branche d'activité performante et durable, l'électrometallurgie !

L'électricité, à la différence de l'aluminium, n'était pas attendue quand elle est apparue. Ainsi que l'écrit Morsel, « le moulin à eau, la vapeur et le gaz d'éclairage sont... bien adaptés à la production et à la consommation de l'époque et résistent longtemps ». En fait, quand l'électricité apparaît, elle se trouve face à trois concurrents :

¹ Voir ci-dessous.

² Henri Morsel : Panorama de l'histoire de l'électricité en France dans la première moitié du XX^e siècle, in un Siècle d'électricité dans le monde, *op. cit.* et Aluminium et électricité depuis cent ans en France, *Cahiers d'Histoire de l'aluminium*, n° 4, été 1989.

³ Cf. p. 89, *op. cit.*

i. Les « petites forces hydrauliques¹ », non électriques, fournies par de faibles chutes très nombreuses — 27 445 d'après des recensements officiels — disposent encore d'une puissance totale installée de 356 000 kVA, en 1933, dix ans après que l'Ontario a mis en service, sur le Niagara, sa gigantesque centrale électrique de 413 000 kW. Les petites installations françaises, d'un rendement très faible mais bien adaptées aux besoins de leurs utilisateurs, ont donc eu la vie longue. Beaucoup servaient à la petite industrie textile, installée au bord d'un modeste cours d'eau.

ii. Les moteurs à vapeur, autre source d'énergie de l'époque, ont connu un lent développement sous le Second Empire. Leur nombre, multiplié par 3,5 entre 1871 et 1894, a donné naissance à un parc d'une puissance significative. C'est le « boom charbonnier » de la grande industrie, l'électricité attendra. Elle a attendu 1913 pour que la puissance totale des ensembles machine à vapeur + génératrice de courant atteigne 22 % de la puissance totale des machines à vapeur installées². La consommation d'électricité non substituable est alors principalement le fait de la nouvelle industrie et des transports, tramways et métropolitain, et, pour une faible part, de l'éclairage urbain et de la petite force motrice.

iii. Pour les « petites » consommations, la bataille entre le gaz et l'électricité a duré longtemps. C'était l'époque des usines à gaz : 816 alimentaient 1 253 villes³ ou communes urbaines en 1910. Elles disposaient d'un « monopole de la distribution de l'éclairage public et domestique — et non de la force motrice — et, au besoin, défendaient leurs droits devant la justice. Ainsi, d'après Héroin⁴, cité par Morsel, « on ne compte pas moins d'une quarantaine d'arrêts en Conseil d'État... » à la fin du XIX^e et au début du XX^e siècle. Dans de nombreux cas, l'éclairage public au gaz s'est maintenu jusqu'aux années 1920. C'est la concurrence de l'électricité qui a poussé les compagnies du gaz à s'intéresser aux usages domestiques et... à l'électricité !

Les vrais problèmes techniques ont été « universels ». Exemple du courant continu contre le courant alternatif : en 1907, la municipalité de Paris uniformise, mais bien mal inspirée choisit le courant continu. Une importante particularité de la France a déjà été évoquée : le partage entre le Nord, essentiellement « thermique (charbon) » où le producteur est souvent le distributeur et le Sud « hydraulique » où le distributeur achète le courant aux électro-chimistes, auto-producteurs qui mélangent dangereusement les genres. La ligne de partage est sensible aux prix.

Les villes périphériques furent pionnières, Lyon avec l'usine de Jonage⁵, le long du Rhône, et Avignonnet⁶. Située à 120 km de Grenoble, la ville pouvait poser la question du choix entre l'hydraulique et le thermique. Ce choix était difficile⁷, car l'électricité se transportait encore mal sur de longues distances et le transport du charbon était coûteux⁸. La ville a choisi l'hydroélectricité proche. En 1914 « la Chambre syndicale des forces hydrauliques recensait 49 grosses affaires de force et lumière, plus 25 entreprises d'électrochimie et d'électrométallurgie. Au total, pour les

¹ Terminologie et chiffres de J. Maroger, dans la Revue Générale de l'Électricité, 15 mai 1937, cité par Morsel.

² Morsel, *op. cit.* p. 91.

³ Pour une comparaison avec le Québec, la taille des villes n'est pas mentionnée par Morsel qui renvoie à Fernand Braudel et E. Labrousse, *Histoire économique et sociale de la France*, 4^e tome, 1^{er} vol. (1880-1914), P.U.F., 1979, p. 300.

⁴ *Les institutions et l'électricité à ses débuts* (1881-1914), P. Héroin, Bulletin d'histoire de l'électricité, 4, déc. 1984, p. 31-48.

⁵ La centrale avait une puissance brute de 16 000 CV, énorme pour l'époque ; les travaux, commencés en 1893, ont coûté 40 millions de francs. Source : Morsel.

⁶ Construite à partir de 1899. Source : Morsel.

⁷ Les paramètres techniques étaient les suivants : une centrale au charbon se construisait en 2 ans et coûtait 3 fois moins cher qu'une usine hydro-électrique laquelle nécessitait en outre 4 à 6 ans de travaux...

⁸ On retrouve les difficultés de transport évoquées par Broder.

750 000 CV installés en 1914, ce sont 800 millions de F qui ont été investis dans la production, le transport et la distribution d'hydro-électricité ; la moitié de cette production était destinée à la fourniture de l'éclairage et de la traction, le reste aux usages industriels ; les 2/3 étaient turbinés dans les Alpes alors que les autres massifs commençaient à peine à s'équiper¹ ».

Les prix étaient aussi dispersés que les efforts. Sur un quart de siècle, les coûts avaient baissé d'environ 80 %, mais les prix dépendaient des régions, de la clientèle et des quantités souscrites. À Paris, l'usager domestique payait 1,5 F/kWh en 1899 et 0,5 F en 1914². En même temps, le prix du gaz avait baissé de 0,30 F à 0,20 F/m³. D'après Jean Fourastié, cité par Morsel, « l'indice des prix réels du kWh basse tension, à Paris par exemple, a été divisé par 5 entre 1914 et 1940 et il semble qu'il ait été l'un des moins élevés d'Europe ».

Morsel souligne les difficultés de la France à s'organiser, les liens créés sont complexes et aucune grande entreprise n'émerge. Il écrit : « il n'est pas faux de dire que la technique suisse a considérablement contribué à édifier le domaine hydro-électrique alpin et qu'une partie notable de l'énergie turbinée dans nos montagnes appartenait à la finance helvétique », ce qui pose la question du meilleur emploi des richesses naturelles. La France est aussi décrite dans le rapport de Lévy-Leboyer et Lanthier³.

d) La Grande Guerre

Avant la Grande Guerre, la France produisait près de 40 millions de tonnes de charbon par an et en importait 20 millions. L'occupation des départements du Nord et du Pas-de-Calais a supprimé les deux-tiers de la production nationale et rendu les importations quasi impossibles, entraînant une brusque prise de conscience, par l'État et par le privé, de l'importance d'une politique énergétique. Le charbon faisant défaut, il restait une seule source d'énergie vraiment française, l'hydroélectricité. À son sujet, Morsel écrit : « il est apparu que cette industrie avait des rendements croissants en fonction de l'échelle de la production et de la distribution⁴ ». La complémentarité des productions d'électricité a donc été rendue flagrante par la pénurie de charbon... C'est précisément parce que l'électricité n'est pas « *marquée* » par sa source de production qu'elle constitue un bien fongible, transportable sur un seul réseau.

e) La situation technique, avant et après la Guerre

La guerre a donc démontré l'absolue nécessité d'effectuer des choix techniques cohérents et de disposer d'un réseau unique de transport de l'électricité. La puissance hydroélectrique « normale » installée était en 1914⁵ de 478 000 kW, la première au monde malgré tout, et l'équipement des chutes a repris pendant la guerre, aboutissant au doublement de la capacité à 930 000 kW. Les nouvelles installations étaient d'une puissance bien supérieure à celle des anciennes. Par exemple pour les Alpes, Les Sept-Laux (34 800 kW), le Doron de Beaufort (52 000 kW) et les aménagements de la Durance, de l'Isère et du Rhône ; pour le Massif Central, la Truyère et le barrage d'Éguzon sur la Creuse ; et pour les Pyrénées, le Gave de Pau, la Pique et la Neste.

¹ Morsel, *op. cit.* p. 94

² Source : *Documents pour l'histoire et la théorie des prix*, J. Fourastié, A. Colin, Paris, T. II, p. 53, dans Morsel, *op. cit.*

³ Histoire de l'entreprise et histoire de l'électricité, L'électricité dans l'histoire, Maurice Lévy-Leboyer et Pierre Lanthier, Paris, P.U.F., 1985, p. 13-24

⁴ Cette affirmation est énoncée sans commentaire. Elle reflète une conviction déjà exprimée à propos de l'aluminium.

⁵ *Les forces hydro-électriques pendant la guerre*, Raoul Blanchard, publ. S.D.N., 1926, cité par Morsel.

De la Brosse¹ estime que l'équipement de la totalité du massif alpin aurait permis d'économiser 20 millions de tonnes de charbon par an, c'est-à-dire la totalité des importations d'avant-guerre. Après la guerre, d'autres priorités se sont imposées, en particulier les besoins de la sidérurgie pour la reconstruction et les chemins de fer. Le charbon a ainsi effectué un retour offensif qui a ralenti les projets hydrauliques.

f) Le recours à la loi

Déjà évoquée, la loi du 16 octobre 1919 a défini des règles claires sur la propriété des droits du fil de l'eau, jusque là source de blocages. Elle donne « à l'État la propriété sur l'énergie des marées et des cours d'eau. Dès lors, il suffisait d'obtenir la concession de cette énergie des pouvoirs publics. Toutefois, pour entreprendre des travaux sur un site de 100 000 kW il fallait obtenir le vote d'une loi² ». Mais la loi entérine une différence majeure entre l'hydraulique et le thermique, au détriment des promoteurs de la première, c'est le facteur temps. Les droits de l'État sur l'eau ne sont pas vendus, ils sont loués, et, au bout d'un certain temps, les installations reviennent à l'État. Or, les critères de construction des barrages assurent la sécurité des personnes et des biens situés en aval pour très longtemps. Sous réserve d'effectuer les contrôles et les réparations nécessaires, l'usure du gros œuvre est faible, même après trente ans de service. Il semble alors que rendre à l'État des installations capables de servir encore longtemps le transforme en producteur et fausse la concurrence.

La loi du 11 juillet 1922 sur le transport à haute tension fixe la place de l'État dans un domaine techniquement disjoint de la production et de la distribution. Elle stipule que les réseaux doivent être placés sous la responsabilité de l'État pour des raisons d'efficacité, mais elle prévoit aussi que ces réseaux puissent être concédés à des organismes collectifs de producteurs ou de distributeurs. Ainsi, plus de vingt ans après l'Ontario, mais bien avant le Québec³, l'État met la main sur l'électricité et permet sa rationalisation, au niveau régional d'abord dans les années 1920, et au niveau national dans les années 1930.

g) La période de croissance

La question de savoir si l'offre a précédé la demande est posée par Morsel pour la France. La réponse dépend du prix et sans doute du temps. Les électrochimistes étaient demandeurs et ils ont lancé le mouvement dans les Alpes et les Pyrénées. Le temps de construction des centrales était trop long pour prendre le risque de pénurie et de ralentissement de la croissance : il fallait créer l'offre⁴. La guerre a accéléré un mouvement de substitution qui a ensuite fait long feu.

Les statistiques de production et de consommation ont été publiées annuellement par le Ministère des Travaux Publics à partir de 1923. En grandes masses, la consommation a triplé tous les dix ans entre 1900 et 1920, et quadruplé dans la décennie suivante ; dans les années 1930 elle a augmenté de « seulement » 40 %. Elle se situait autour de 20 GWh pendant la Seconde Guerre mondiale.

À partir de 1914, la taille des installations hydroélectriques a augmenté, sans que cesse la construction d'un nombre important de petites centrales. Leur représentation géographique pourrait donc ressembler à celle des États-Unis par la diversité, mais pas par la taille des installations. La

¹ *La Houille blanche dans les Alpes françaises au début de 1916*, De la Brosse, Revue Générale d'Électricité, 10 fév. 1917, p. 233-236.

² Morsel, *op. cit.* p. 100.

³ Voir plus loin.

⁴ Il semble évident que les fabricants d'aluminium ont tenu le même raisonnement.

croissance de la capacité installée a été surtout le fait d'une centaine de centrales de capacité unitaire supérieure à 10 MW, dont 5 supérieures à 100 MW¹.

L'augmentation de la taille unitaire a aussi été la règle dans la production thermique. La puissance unitaire des turbines est passée de 15 MW en 1914 à 60 à la fin des années 1930, en même temps que leur rendement s'améliorait. De 1919 à 1964, 250 centrales thermiques ont été construites, les plus puissantes — 60 à 300 MW — étaient situées dans la région parisienne et sur le carreau des mines.

En même temps, le réseau de distribution s'étendait. En 1924, il y avait 824 km de lignes et, en 1937, 8 084 km. À partir de 1927 le 220 kV a été développé, mais on a continué à monter du 110-120 kV jusqu'en 1930, remplacé ensuite par le 150 kV. Cela a contribué au découloisonnement des marchés régionaux et a augmenté la complémentarité entre l'hydraulique et le thermique. La part d'énergie distribuée par ces réseaux est passée de 30 % en 1928 à 60 % en 1940.

La comparaison avec l'étranger montre la timidité des réalisations : « en 1938, la consommation française par tête, en basse tension uniquement, n'était que de 57 kWh, contre 187 en Grande-Bretagne, 317 en Suisse, 747 en Norvège et 877 aux États-Unis² ». La même situation de faiblesse a existé pour la traction ou les usages industriels. Les causes sont diverses et elles peuvent trouver leur origine commune dans la dispersion des efforts financiers et le morcellement des installations. Il a fallu beaucoup de temps pour que le marché s'aggrave. Cette lente structuration s'est d'abord faite au niveau régional, par exemple dans les Alpes ou sur le littoral méditerranéen, et elle doit beaucoup à l'entente entre dirigeants, parisiens ou provinciaux. Le passage au niveau national par entente entre groupes régionaux s'est effectué vers 1936 aboutissant à l'interconnexion totale, indispensable à la sécurité de l'alimentation de Paris. Les intérêts des hydrauliciens et des thermiciens ont été enfin fédérés afin de satisfaire l'ensemble des besoins nationaux. Deux noms de dirigeants apparaissent au sommet de la pyramide, celui d'Ernest Mercier (Lyonnaise des eaux et Compagnie parisienne de distribution d'électricité), parisien, plus engagé dans la houille et le pétrole, et celui de Pierre-Marie Durand (Énergie industrielle ex-Société générale de force et lumière), provincial et impliqué dans la houille blanche. Ils ont préparé la future nationalisation, point de passage obligé pour arriver à une situation satisfaisante.

De son côté, Louis Marlio³ a joué un rôle important pour l'électricité et l'aluminium. Dans les années 1920, il présidait la Chambre des hydrauliciens et était opposé à l'intervention directe de l'État dans la gestion des affaires. Il prônait l'entente entre les grands groupes, afin de rationaliser et de développer la production hydraulique, et de réduire les importations de charbon. Il proposait de connecter le Massif Central et les Alpes dont les étiages diffèrent, pour régulariser la production. Allant au bout du raisonnement de la loi de 1919 sur la propriété finale des installations, il préconisait un Établissement public de crédit pour financer les infrastructures. En 1929, il propose encore d'étendre l'interconnexion aux grands centres de production thermique proches de Paris (Gennevilliers, Ivry...) et définit les modalités de comparaison des prix de l'électricité suivant le mode de production par l'utilisation de trois variables : 1) les heures d'utilisation, 2) les coûts financiers pour l'investissement hydraulique et les transports, 3) les prix des combustibles. « L'analyse s'affine donc et permet de s'acheminer vers une logique chiffrée de la complémentarité entre hydraulique et

¹ Dans un premier temps, les barrages-réservoirs (Chambon, Bissorte et Sautet), et, à partir des années 1930, les grosses centrales au fil de l'eau (Marège sur la Dordogne, Kembs en Alsace, Brommat et Sarrans dans le Massif central).

² Morsel, *op. cit.* p. 103.

³ Louis Marlio était administrateur délégué de la Compagnie de produits chimiques et électrométallurgiques d'Alais, Froges et Camargue (AFC) sous la présidence de Gabriel Cordier, puis Président. Source IHA.

thermique. La nécessité de l'intervention financière d'une institution quasi-publique comportait un motif supplémentaire : le taux du marché des obligations était trop élevé en France pour permettre une compétition positive de la houille blanche avec une production à partir d'un charbon venu de l'étranger à des coûts très bas¹ ».

Plus que les chiffres de production du passé, ancien ou récent, ce qui compte dans cette description de la France électrique, c'est la détermination des producteurs d'aluminium à faire leur métier le mieux possible, dans une situation de concurrence nationale et internationale. Sensible à la dimension politique, Morsel² analyse sévèrement les décisions prises par les dirigeants et, en particulier, le mélange des activités quand ils ont vendu leur électricité excédentaire. Ils créaient le précédent dont leurs entreprises allaient être les victimes lors de la nationalisation.

La situation américaine diffère totalement de celle de la France. Bien que plus complexe en raison des dimensions géographiques, des considérables richesses minières, du développement plus tardif de l'ouest, etc., elle a été plus propice à la grande réussite industrielle.

ii. L'électricité et l'aluminium aux USA

L'importance des États-Unis dans l'industrie de l'aluminium, impose de porter un même regard sur l'évolution de l'électricité dans le pays. L'EIA³ a publié une intéressante rétrospective de l'énergie qui y a été consommée, par source d'énergie, de 1776 à 2012. La synthèse est représentée ci-dessous dans son intégralité. Les quantités d'hydroélectricité apparaissent marginales, moins de 5 %, et l'électricité n'existe pas en tant que telle, ce n'est pas une énergie primaire.

a) L'énergie

Exception parmi les sources d'énergie, l'hydroélectricité est produite sans combustion, à partir de la seule puissance de l'eau de torrents ou de forts cours d'eau⁴, à l'aide de turbines et de générateurs. Par nature, elle est renouvelable et sa production ne génère ni déchet, ni sous-produit. Ce fut la première origine de l'électricité produite en quantité sur Terre et elle est comptabilisée à part comme une énergie *sui generis*.



Source: U.S. Energy Information Administration, AER Energy Perspectives and MER.

¹ Morsel, *op. cit.* p. 110.

² *Op. cit.*

³ U.S. Energy Information Administration, l'Agence américaine de l'énergie ; Source d'actualité : <http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.cfm?id=2130>

⁴ Ce sont les grands fleuves — ou les rivières — et non les torrents qui produisent les plus grandes quantités d'électricité.

Les autres formes d'énergie consommée aux États-Unis ont changé au fur et à mesure que de nouvelles sources étaient découvertes, à partir du milieu du XIX^e siècle ; les usages et les consommateurs se sont alors multipliés, les quantités ont considérablement augmenté. Au début était le bois et il est resté la première source d'énergie pour les besoins domestiques jusqu'au milieu des années 1880 quand il a été dépassé¹ — en quantité de chaleur consommée — par le charbon. Des moulins à eau avaient jusque là assuré le premier complément de force à usage industriel pour la transformation du fer et le broyage des grains ; ils ont été relayés par les machines à vapeur et la sidérurgie. La chronologie de la production d'électricité à partir d'énergie calorifique s'établit ainsi : la première centrale électrique au gaz date de 1915, la première centrale au charbon de 1921 et la première centrale au fuel de 1923. Le pétrole, connu depuis le milieu du XIX^e siècle, a dépassé le charbon après la Seconde Guerre. Sa disponibilité locale et son faible prix ont entraîné sa vive croissance et, en conséquence, la tendance baissière de la consommation de charbon de 1945 à 1960. Celle-ci a ensuite repris son élan jusqu'au début des années 2000, puis la tendance s'est à nouveau inversée en raison de la formidable croissance du gaz de schiste. Les chocs pétroliers des années 1970 ont entraîné un recul temporaire — environ 25 ans — des consommations de pétrole et de gaz qui a coïncidé avec le décollage du nucléaire supposé les supplanter. La forte crise de 2008 a été marquée par une baisse du pétrole et du charbon, une stagnation du nucléaire et un décollage des énergies renouvelables qui dépassent désormais en quantité l'hydroélectricité.

De 1956 à 2008, les trois principales sources d'énergie fossile ont cru simultanément, le pétrole, le gaz et le charbon. À partir de 1970, s'y est ajoutée la croissance, d'abord forte puis ralentie, de l'énergie nucléaire.

b) L'électricité

Seule une petite partie de toute l'énergie consommée, représentée ci-dessus par ses composantes, a servi à produire de l'électricité. L'EIA² a recensé les puissances électriques installées chaque année depuis 1890, pour chaque source, aux fins de comparaison. Au cours des années récentes, le charbon a repris un peu de place en 2004, quand l'hydroélectrique stagnait et que le gaz l'emportait de très loin. Ainsi, les dernières grosses installations hydroélectriques datent de 2001-2002, mais la puissance totale des centrales au gaz des mêmes années était de 150 à 250 fois plus élevée. En résumé, de 1890 à 2010, les puissances cumulées des installations de production d'électricité à partir du charbon, de la force de l'eau, du gaz et du pétrole sont respectivement d'environ 319,4 GW, 100,7 GW³, 407,9 GW et 56,8 GW. D'une année à l'autre, les proportions de chaque source ont varié et les courbes ci-dessous montrent les valeurs annuelles respectives. Les constructions de nouvelles installations au pétrole et au gaz se sont effondrées après 1976, puis le gaz a repris le leadership dans les années 1990 pour atteindre un niveau inouï dans les années 2000.

La puissance totale installée chaque année aux USA déborde évidemment du cadre de la seule production d'aluminium, cependant la courbe représentative de ses variations montre des informations intéressantes — voir ci-dessous. Avant 1945, l'hydroélectrique était seul, à bas niveau et donc non représenté ici. Après la Guerre, la consommation d'énergie a grimpé en flèche et toutes les sources y ont contribué. Le charbon a beaucoup servi à la production d'électricité ; en termes de

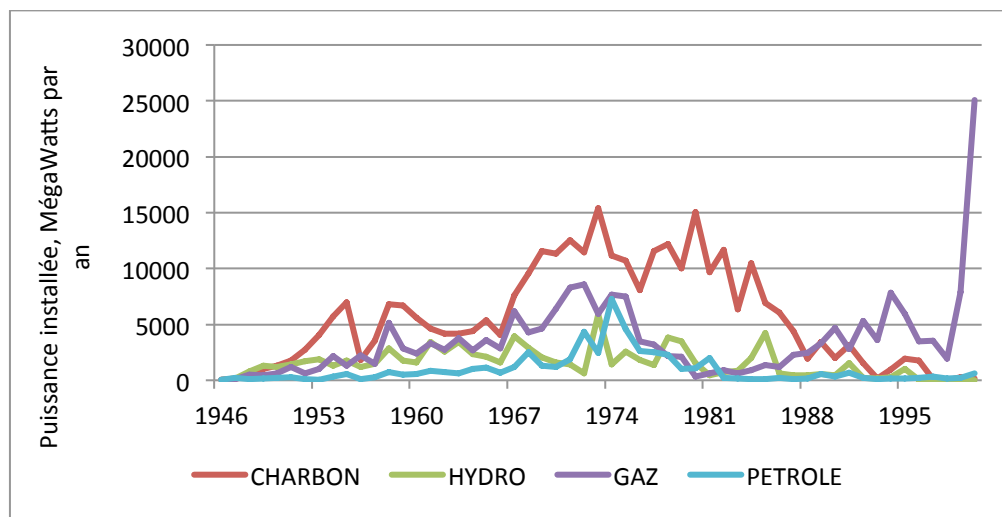
¹ La comparaison entre les sources d'énergie passe par la quantité de chaleur que procure leur combustion. L'unité de chaleur utilisée est d'origine anglaise : 1 quadrillion de Btu (British thermal unit) = 1 000 000 MBtu, et 1 Mtep = $3,968 \cdot 10^7$ MBtu.

² Source : <http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.cfm?id=2130> En 2014, l'EIA a tenu une Conférence sur l'énergie dont certaines présentations seront utilisées plus loin.

³ En 2007, l'IEA attribuait une capacité de 1000 gigawatts (GW) aux États-Unis, proche du cumulé déterminé ci-dessus.

consommation, il vient en premier dès 1951 ; de 1967 à 1989, il domine largement et ensuite le gaz l'emporte. Au plan général, la puissance totale annuelle installée diminue à partir de 1974, passe par un minimum en 1997 pour reprendre une hausse vertigineuse qui culmine en 2002 avec l'installation d'une puissance 14 fois supérieure à celle de l'année 1997. L'ampleur des chiffres récents impressionne, comme si la prise de conscience d'un retard accumulé générait un besoin de rattrapage immédiat. Pour l'aluminium, au moins pour les prochaines années, c'est trop tard !

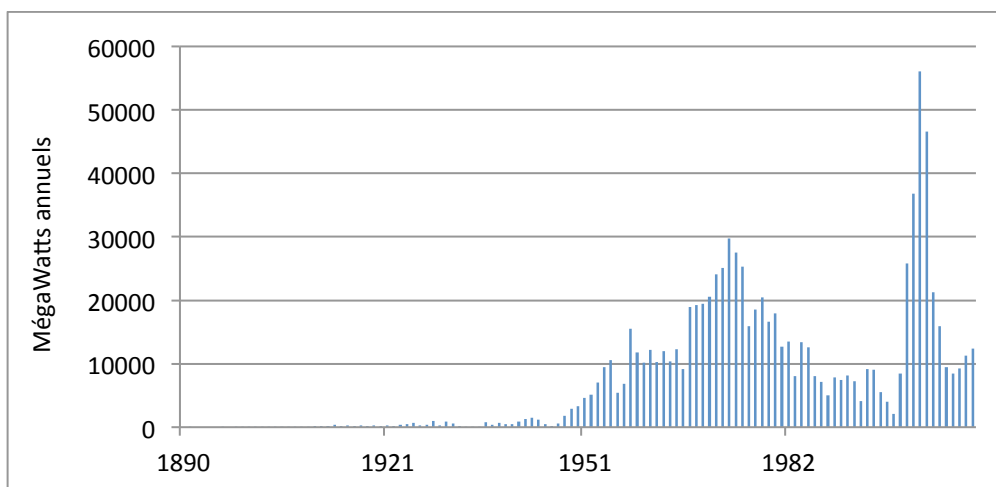
Compétition entre les 4 principales sources de production de l'électricité aux USA de 1946 à 2000



Pour des raisons d'échelle, la courbe est interrompue en 2000, avec la toute-puissance du gaz.

L'offre d'électricité conditionne le lieu, la date de construction et la taille des unités de production d'aluminium, tout comme l'hydroélectricité des débuts. L'EIA a établi l'historique des puissances des centrales construites, qu'elles soient au charbon, au gaz, au pétrole ou hydrauliques. Il est illustré ci-dessous ce qui rend flagrante l'ampleur des changements dans le temps et laisse supposer l'existence de rendements d'échelle croissants.

Puissance électrique totale installée aux USA chaque année, de 1890 à 2010



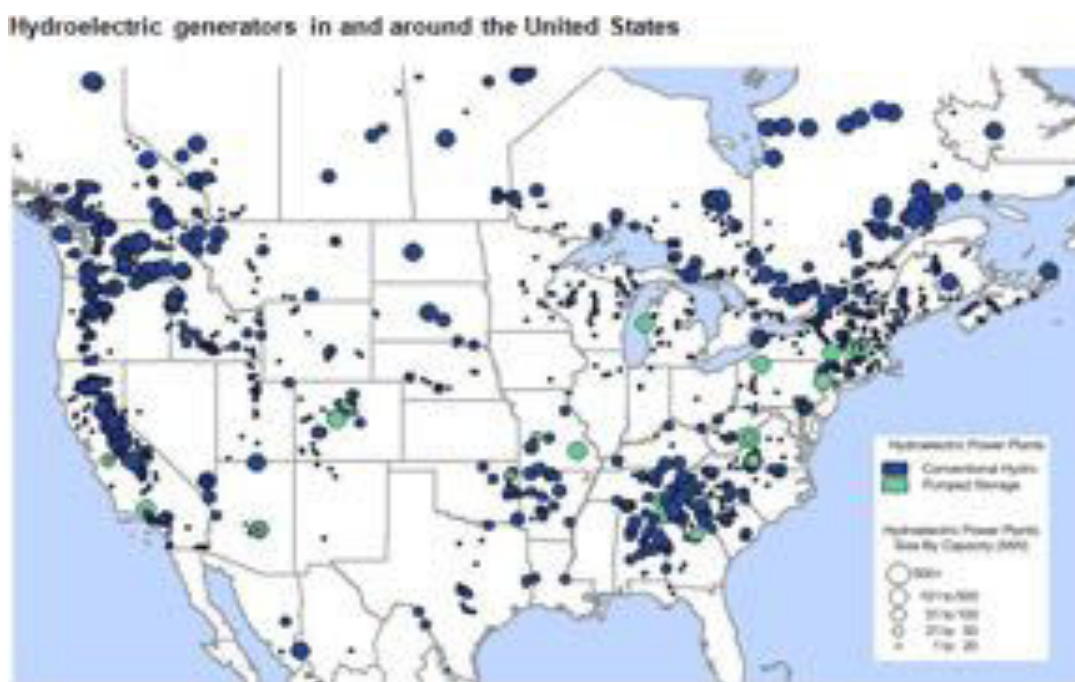
Source des diagrammes : <http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.cfm?id=2130>

c) L'hydroélectricité

Plus proche encore de l'aluminium se trouve l'hydroélectricité. L'EIA en fournit la description suivante : « en 2010, 24 des 25 plus anciennes centrales du pays fonctionnaient à la force de l'eau et 72 % des centrales électriques avaient plus de 60 ans¹ ». Ces chiffres pourraient provoquer une prise de conscience, car il semble aberrant de se priver un jour d'une telle énergie *propre*. La répartition géographique des installations a eu une grande importance, elle a orienté les choix industriels : « les capacités hydroélectriques sont réparties inégalement à travers l'Amérique du Nord ; leur taille varie avec le débit de l'eau captée, la plus puissante installation des États-Unis est le barrage de Grande Coulée dans l'État de Washington, soit 7 079 MW. Plus de la moitié de la capacité de production se trouve concentrée dans trois États du nord-ouest du Pacifique, Washington, Oregon et Californie. Les autres États, exception faite de ceux du nord-est, proches du Canada, sont moins bien lotis ».

La carte ci-dessous montre la répartition des très nombreuses installations de production de courant par la force de l'eau, aux États-Unis et au Canada. La taille du cercle indique l'ordre de grandeur de la puissance installée². Les principales zones d'accumulation sont faciles à identifier, la Bonneville Power Administration dans l'ouest, la Tennessee Valley Authority dans le sud-est, le Saint-Laurent et les fleuves canadiens dans le nord-est. Elles ont attiré une part importante de l'activité humaine. La répartition des usines d'aluminium, de première ou de deuxième fusion, y ressemble, comme une conséquence³. La notion d'électricité non-substituable, c'est-à-dire non-remplaçable par le fuel ou le gaz, aurait pu jouer un rôle dans les déplacements géographiques des industries à la recherche d'énergie peu chère. Peut-être aussi, aurait-il été « économique » de développer une égalité des territoires par une péréquation du prix, au moins de l'électricité.

Localisation des centrales hydroélectriques en Amérique du Nord



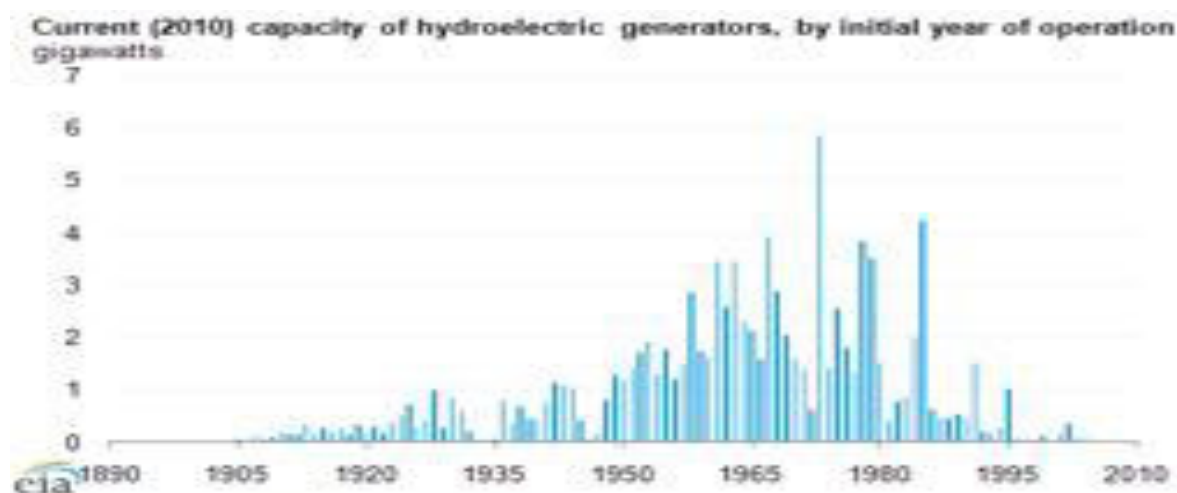
Source: U.S. Energy Information Administration, derived from Energy Velocity

¹ Source : <http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.cfm?id=1750#> / June 10, 2011. Traduction libre.

² Les importants lieux de stockage d'eau — donc d'énergie mécanique — par pompage sont indiqués en vert. Les importations d'électricité en provenance du Canada viennent principalement du Québec et de l'Ontario, pour les marchés U.S. du Nord-est, et du Manitoba.

³ Le sujet sera développé dans le paragraphe consacré à l'économie géographique.

Pour terminer ce paragraphe sur les États-Unis, la puissance et l'âge des installations de production d'hydroélectricité, évoquées en chiffres ci-dessus, sont présentées sous forme d'histogramme. La comparaison avec la puissance électrique totale — voir plus haut — fait clairement apparaître la différence d'ordre de grandeur des puissances et l'extrême ancienneté des constructions hydrauliques. Peut-être devront-elles un jour faire l'objet de travaux de renforcement des barrages.



En termes de résultats, « de 1998 à 2009, entre 6 et 9 % de toute l'électricité produite aux États-Unis étaient d'origine hydraulique. Les importantes variations sont dues aux conditions climatiques ». Ces variations naturelles constituent le point faible de l'hydroélectricité, car leur compensation passe par des surcapacités ou des installations d'appoint.

d) Électricité et aluminium, les débuts communs

Il n'y a guère d'inconnu dans l'histoire de l'économie des États-Unis, l'autre pays de l'invention du procédé d'électrolyse de l'aluminium. La Société Alcoa¹, détentrice du brevet d'invention, s'y est créé un brillant futur en même temps qu'elle développait la chaîne de fabrication d'un métal nouveau. Pour cela, elle a utilisé successivement les richesses naturelles à sa disposition à commencer par l'hydroélectricité des grands fleuves du nord-est. Des informations, parfois chiffrées, vont préciser les premières étapes de sa construction. Ensuite, une analyse plus construite alimentera les développements de la partie B. Enfin, dans la dernière partie, les statistiques de production seront analysées à la recherche d'explications complémentaires.

Ce n'est pas un petit paradoxe de la production industrielle d'aluminium aux États-Unis que d'avoir commencé avec l'emploi du charbon pour produire l'électricité nécessaire à l'électrolyse ! Bien sûr, les premiers essais de laboratoire de Charles Hall avaient été effectués avec des piles de Volta. Mais, en 1888, les premières « cuves² » de la Pittsburg Reduction Company étaient alimentées par deux dynamos de 1000 ampères chacune, mues par un moteur à vapeur³. Elles produisaient environ 20 kilogrammes d'aluminium par jour en régime permanent. La production était stockée dans le coffre-fort du bureau, faute de clients pour un produit nouveau et encore cher : \$4/lb venant de \$8/lb. Il fallait abaisser davantage les coûts et augmenter la production. L'usine de Pittsburg fut

¹ À l'origine The Pittsburg Reduction Company, elle deviendra, en 1907, Aluminum Corporation of America, et sera surnommée Alcoa en 1910.

² Terminologie consacrée pour désigner l'unité de production ; elle correspond à l'américain *pot*.

³ Source: *Mission mondiale, Histoire d'Alcan*, par Duncan C. Campbell, Editions Ontario Publishing Company Limited, 1985.

donc fermée, la société recapitalisée — avec le concours de la T. Mellon¹ & Son's Bank — et de nouvelles installations construites à New Kensington, près de Pittsburg, donc à environ 300 km de Buffalo et du Niagara. Elles utilisaient des moteurs à vapeur. En 1893, la production est pourtant portée à 166 tonnes par an et elle double en 1894. Les premiers produits sont des bouilloires et des ustensiles de cuisine, vendus en porte à porte par des étudiants. En 1899, pour la première fois, un câble en aluminium est fabriqué pour transporter de l'électricité — d'origine hydraulique ! — en Californie : la complémentarité technique électricité-aluminium se formait aussi en aval. Cependant, tous les produits commercialisables devaient être fabriqués par le producteur d'aluminium, la concurrence lui a refusé tout concours² pour les mettre en forme...

Pour diminuer les coûts, deux pistes se présentaient : produire l'alumine et produire l'électricité, les intrants les plus chers. Les deux pistes ont été mises en œuvre, seule la deuxième est développée ici. La faible distance entre Niagara Falls et une ville importante, Buffalo (New York), une vingtaine de km, et les récents progrès techniques dans l'électricité décidèrent les milieux d'affaires à tenter — une nouvelle fois — l'aménagement des chutes du Niagara. Et c'est ainsi que la compagnie d'électricité de Niagara Falls effectua sa première vente d'énergie pour l'industrie, en signant avec Charles Hall, le 28 juin 1893, un contrat de fourniture de 1 500 hp³ électriques (1 100 kW) plus 1 000 hp facultatifs pour février 1895⁴. Ce fut le signal de départ d'un vaste mouvement d'industrialisation et, dix ans plus tard, « Niagara était devenu le centre électrochimique du monde⁵ ».

« Entre 1895 et 1909, Alcoa construisit trois usines d'électrolyse à Niagara Falls et étendit ses contrats d'électricité. L'usine d'aluminium de New Kensington dut fermer au début de 1896, vaincue par le bon marché de la nouvelle merveille... l'énergie hydroélectrique. Elle devint pour de nombreuses années la principale usine de transformation d'Alcoa⁶ ». Le mouvement lancé était irrésistible. Il se propagea le long du fleuve Saint-Laurent et Alcoa construisit une usine à Massena (New York) en 1903 après avoir acquis de nouveaux droits sur l'électricité. L'aménagement du côté canadien des chutes posait des problèmes techniques plus difficiles et prit du temps. Or la concurrence devenait crédible dans le petit monde de l'aluminium et le Canada attirait. La société British Aluminum Company fondée en 1894 qui avait construit sa première usine à Foyers, en Écosse en 1896, aurait pu avoir des visées sur le Canada, comme Hall en avait eu sur l'Angleterre. En 1899, Hall jeta finalement son dévolu sur les chutes de Shawinigan de la Rivière Saint-Maurice et signa un contrat à long terme de fourniture de 5 000 hp (3 700 kW), l'aluminium s'installait au Québec, pour longtemps. Au cours de l'été 1900, la Compagnie d'électricité Shawinigan enregistra deux nouveaux contrats, le « processus d'industrialisation » était là aussi lancé.

La production industrielle d'aluminium en Amérique du Nord avec l'hydroélectricité débute donc en juin 1893 et les choses se passent autrement qu'en Europe. La géographie explique-t-elle toutes les différences ? Il est certain que les deux rives du Niagara, avec Buffalo et Pittsburg d'un côté, Toronto et le sud de l'Ontario de l'autre, et le Québec un peu plus loin, disposaient d'une capacité d'accueil que n'avaient pas les vallées étroites de la Maurienne ou de la Durance, séparées de Chambéry, Grenoble ou Briançon par de hautes montagnes. En revanche, les distances étaient d'un

¹ La famille de banquiers Mellon restera longtemps un puissant soutien de l'industrie de l'aluminium.

² L'argument sera repris plus tard au Tribunal pour justifier l'intégration « aval » de l'entreprise.

³ Le cheval-vapeur électrique européen est défini comme valant 1 ch = 735,5 W, tandis que le cheval-vapeur électrique britannique vaut 1 hp = 746 W. http://fr.wikipedia.org/wiki/Cheval_vapeur

⁴ Source des informations et des chiffres : Duncan Campbell, *op. cit.*

⁵ Idem.

⁶ Idem.

autre ordre de grandeur et, à l'époque, cela comptait beaucoup. Toujours est-il que les personnages qui ont entouré et soutenu Charles Hall, le Colonel Hunt, les banquiers Mellon et surtout Arthur Davies¹ ont posé les bases d'un « empire industriel » autour d'une organisation aux principes simples qu'ils ont fait prospérer près de cinquante années. Les auteurs des monographies² apologétiques, longtemps cadres dirigeants des deux sociétés ne sont certainement pas impartiaux. Si les belles histoires qu'ils racontent, décrivent une très grande réussite industrielle « à l'américaine » qui doit son succès aux hommes qui l'ont conduite, il est possible que les notions de concurrence, d'éthique, de partage du profit ou d'optimum économique n'aient pas été souvent, du moins sous un libellé académique, à l'ordre du jour. Pour imposer l'aluminium face au cuivre et surtout face à l'acier, toujours très puissant, pour continuer à exister et croître en conservant une totale autonomie, pour créer des dizaines de milliers d'emplois et fabriquer à temps les produits demandés par les armées, il fallait en permanence essayer et réussir, produire et vendre, et enfin gagner beaucoup d'argent pour investir. Le même état d'esprit pionnier animait encore les dirigeants d'Alcoa et de l'industrie américaine de l'aluminium au début des années 1980. Peut-être dure-t-il encore³.

Le Département de la Justice avait, pendant des décennies, cherché à faire condamner des pratiques soupçonnées d'être de nature monopolistique, jusqu'à la décision du Juge Learned Hand de 1945. Schématiquement, Alcoa avait toujours œuvré de manière à se « réserver » le marché américain. Le Canada et le reste du monde relevaient des activités d'Alcan⁴, sa filiale à 100 %, dont le président fut le propre frère d'A. V. Davies, devenu lui-même président d'Alcoa. Suite au jugement, la division de « l'Empire industriel » a créé la concurrence aux États-Unis, par la volonté du Gouvernement. Le dossier judiciaire avait, paraît-il, atteint une complexité, un volume et une importance considérables. Ce n'est pas le lieu de développer mais il fallait en faire état.

e) Le schéma de base de la croissance

Les chefs d'entreprise américains ont vite compris que l'association d'installations hydroélectriques surpuissantes et d'une usine d'électrolyse à la consommation forte et régulière (24 h/24) crédibilisait et donc permettait de financer un projet susceptible d'entraîner l'industrialisation progressive d'une région. Dès le début, la segmentation en deux marchés de l'électricité produite était clairement anticipée. L'aluminium⁵ supportait une partie des coûts fixes de la centrale électrique et l'installation à venir d'industries diversifiées ouvrait la porte à des bénéfices ultérieurs. Les choses sont allées assez vite dans le sens prévu. Aux USA d'abord (Niagara Falls), au

¹ Arthur Vining Davies, (1867-1962), premier collaborateur de Hall, Président d'Alcoa de 1910 à 1928. L'usine d'ARVIDA, au Québec, lui doit son nom.

² Mission mondiale, *Histoire d'Alcan*, op. cit. et *From Monopoly to Competition, The Transformations of Alcoa, 1888-1986*, George David Smith, Cambridge University Press, 1988. Et *Alcoa an American Enterprise Charles C. Carr, Rinehart & Co., Inc., New York, 1952* dans J. Chem. Educ., 1952, 29 (6), p. 322, "Not well known is the struggle to commercialize the process invented by Hall", source :

https://openlibrary.org/books/OL14323530M/Alcoa_an_American_enterprise.

³ « Alcoa ... a été classée première sur la liste des entreprises métallurgiques les plus admirées pour la troisième année consécutive par le magazine Fortune. Depuis les débuts de ce classement, il y a 31 ans, Alcoa figure sur la prestigieuse liste des compagnies les plus admirées ». Traduction libre.

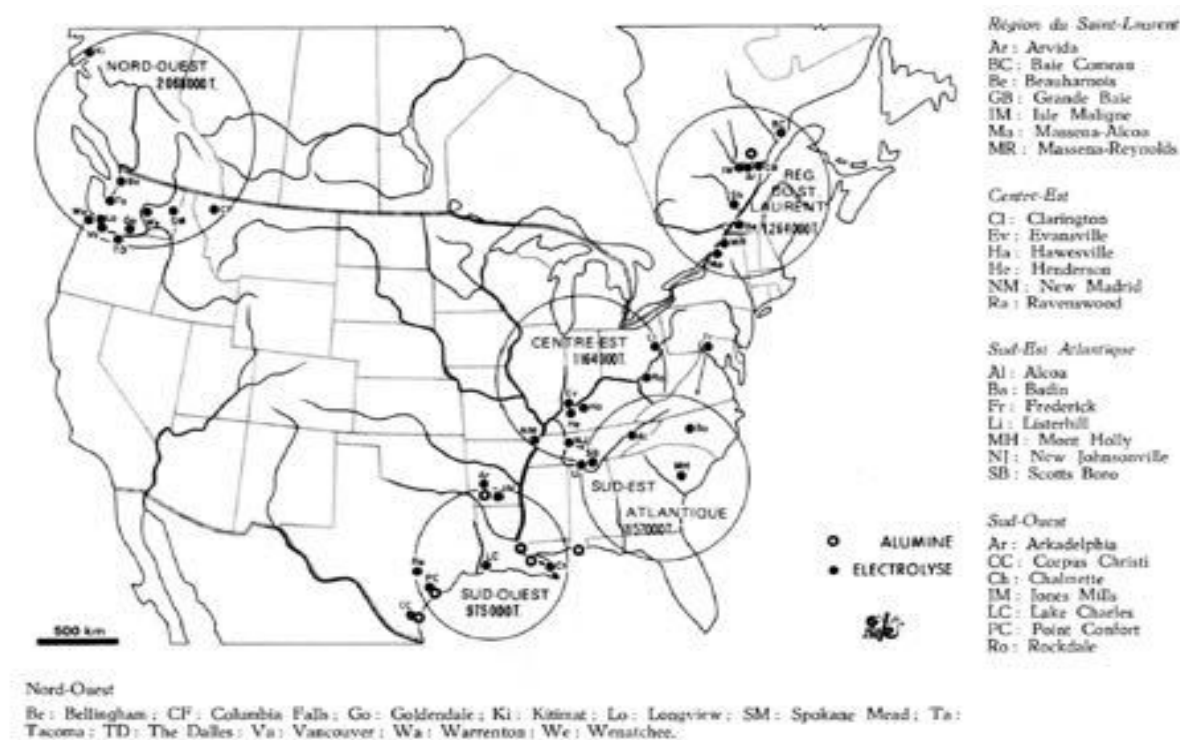
Source: http://www.alcoa.com/global/en/news/news_detail.asp?pageID=20140227000197en&newsYear=2014

⁴ Créée en 1928, la société a changé de nom à plusieurs reprises ; elle s'appelait à ses débuts Northern Aluminum. Aujourd'hui, la séparation géographique des activités n'existe plus, Alcoa produit aussi au Québec et vient de signer avec le Gouvernement du Québec une entente sur le prix de l'électricité. Source : la presse québécoise, 25 février 2014.

⁵ Dans ce travail, l'aluminium est considéré comme le consommateur d'électricité de base, le premier arrivé. Cependant, d'autres fabrications avides d'électricité ont pu jouer un rôle analogue, comme l'électrometallurgie en France ou les pâtes et papiers et le carbure de calcium au Québec.

Canada ensuite (Niagara Falls aussi, les chutes de Shawinigan puis celles du Saguenay), l'effet d'entraînement escompté a parfaitement fonctionné, allant jusqu'à provoquer, en Ontario, l'inquiétude des régions éloignées qui ne connaissaient pas la même vitesse de croissance, et à justifier le besoin de régulation. Le Québec, plus éloigné, a suivi le mouvement avec ses spécificités.

Avec le recul, le schéma initial était parfait. Il reposait sur une capacité de production d'électricité surabondante qui laissait du courant disponible pour les consommateurs à venir et du temps aux producteurs d'aluminium pour s'adapter à l'évolution de leur marché et... de celui de l'électricité. Une preuve se trouve dans la durée de vie des premières usines, par exemple Massena¹ (1907-20XX) et Shawinigan (1901-2013) qui ont — ou auront — longtemps résisté. Cependant, la stratégie a dû évoluer. À mesure que la demande d'électricité croissait dans les deux pays, de nouvelles sources d'énergie, charbon, pétrole ou gaz étaient découvertes dans des États du sud et de l'ouest. Elles rendaient possible la construction d'installations de production et de consommation d'électricité, en attendant la prochaine découverte. Pour comparer avec la carte des installations hydroélectriques présentée ci-dessus, voici celle des 38 usines de production d'alumine et d'électrolyse, en 1984.



Source : *L'industrie de l'aluminium de première fusion dans la région du Saint-Laurent*, Jacques Donze, in *Revue de géographie de Lyon*, Vol. 59 n°4, 1984. pp. 301-329.

En raison de son importance, le sujet sera développé dans la deuxième partie, au paragraphe économie géographique. Pour l'instant, les exemples canadiens vont fournir de nouvelles pistes de réflexion.

¹ L'usine de Massena (New York), appartenant à Alcoa, produit encore 130 000 tonnes par an d'aluminium primaire. Elle reçoit son électricité en vertu d'un contrat à long terme avec the New York Power Authority. L'ancienne usine de Reynolds, devenue Alcoa en raison de la fusion de l'an 2000, a été définitivement arrêtée en mars 2014. Source : http://www.alcoa.com/massena_operations/en/info_page/home.asp/ L'usine de Shawinigan a été arrêtée en mars 2013, source : <http://www.lapresse.ca/le-nouvelliste/vie-regionale/shawinigan/201311/29/01-4716098-l'aluminium-a-shawinigan-un-parcours-unique.php>

iii. L'Ontario et le Québec, le Canada

Les deux Provinces canadiennes, l'une à l'est (le Québec) et l'autre plus au Centre (l'Ontario) ont vite été sollicitées par leur puissant voisin du sud en plein développement, pour lui servir de sous-traitant pour les pièces mécaniques, ainsi que de fournisseur de main-d'œuvre et de matières premières (le bois de charpente) pour la construction. À ce potentiel il faut ajouter, à la fin du XIX^e siècle, l'électricité d'origine hydraulique : Toronto et Hamilton se sont rapidement développées, Montréal a suivi de loin. « En 1881, une génératrice électrique à vapeur de 1,86 kW est installée au centre-ville de Toronto et la première patinoire est éclairée par des lampes à arc. Des lumières à arc électrique sont installées à l'Exposition nationale canadienne en 1882 et l'éclairage des voies publiques commence en 1883 à Montréal et à Toronto¹. [...] Toutes les rues d'Ottawa sont éclairées électriquement pour la première fois en 1885 ; c'est la première ville au monde éclairée de la sorte. Dans les années 1890, le transport de l'électricité à des distances importantes sans pertes excessives et l'exploitation de sites hydroélectriques plus éloignés deviennent possibles, grâce à la transmission par courant alternatif sous haute tension et à la création de transformateurs commercialement viables. Par exemple, en 1896, on réussit à transporter de l'électricité sur une ligne de 11 000 V — considérée à l'époque comme une tension prodigieusement élevée — à une distance d'environ 32 km, soit des chutes du Niagara jusqu'à Buffalo (État de New York). Cette possibilité de transport à longue distance suscite alors d'importantes augmentations de la puissance de l'équipement de production d'hydroélectricité : dès le début du XX^e siècle, on fabrique des génératrices à turbines de 5 000 hp² (3 725 kW). [...] En 1910, l'Hydro-Electric Power Commission of Ontario [...] termine l'installation des premières lignes de transport massif d'énergie électrique, sous 110 kV, destinées à alimenter plusieurs municipalités du sud-ouest de l'Ontario. Cette importante réalisation place le Canada au premier rang des pays pionniers de l'énergie électrique. En 1920, plus de 97 % de la production totale d'électricité du Canada est d'origine hydroélectrique ».

En 1994, la puissance installée au Canada atteignait 114 gigawatts dont 56 % provenaient de l'hydroélectricité, 18 % du charbon, 14 % du nucléaire, 7 % du pétrole, 4 % du gaz naturel et 1 % d'autres sources³. Aujourd'hui, le Québec, la Colombie-Britannique et l'Ontario génèrent la majorité de l'hydroélectricité au Canada. Ainsi, en 2004, le Québec⁴ a produit près de 50 % de l'hydroélectricité canadienne, la Colombie-Britannique, 16 %, et l'Ontario, environ 12 %. Les exportations du Québec dépassent 20 % de sa production, celles de l'Ontario s'élèvent à environ 15 %.

Une parenthèse commence page suivante pour comparer, à l'aide de plusieurs graphiques, les évolutions des productions et des consommations américaines et canadiennes d'électricité depuis 1960.

...

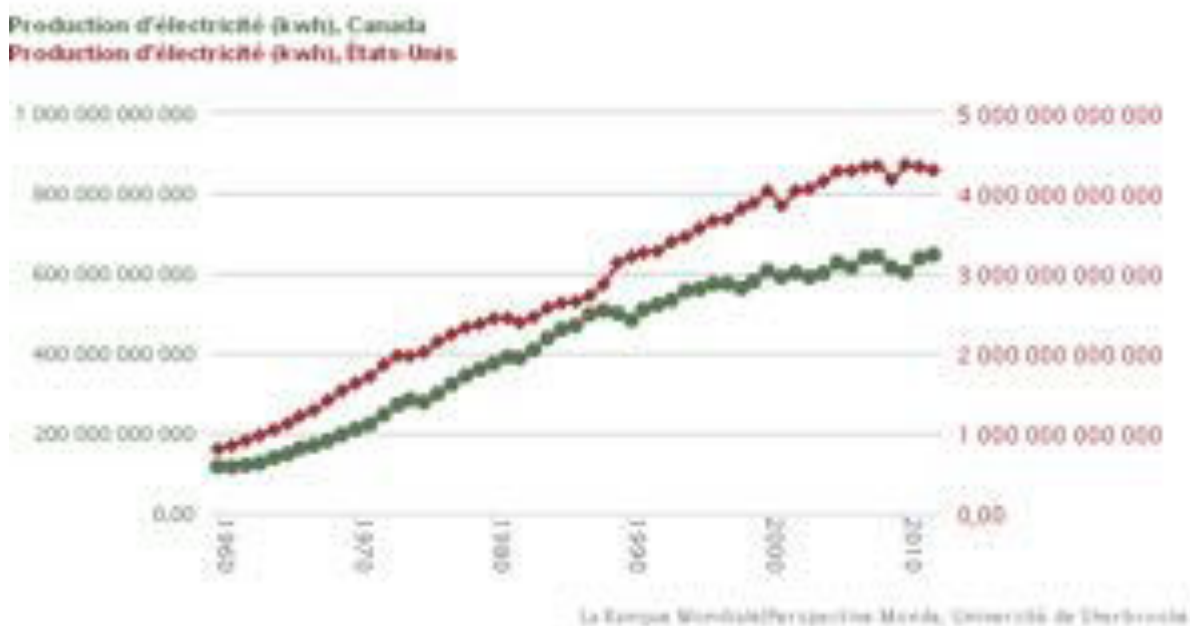
¹ Source : Énergie, utilisation de l'Électricité au Canada, via internet.

² À titre de comparaison, on utilise maintenant des génératrices hydroélectriques à turbines dont la puissance dépasse 600 000 hp (447 000 kW).

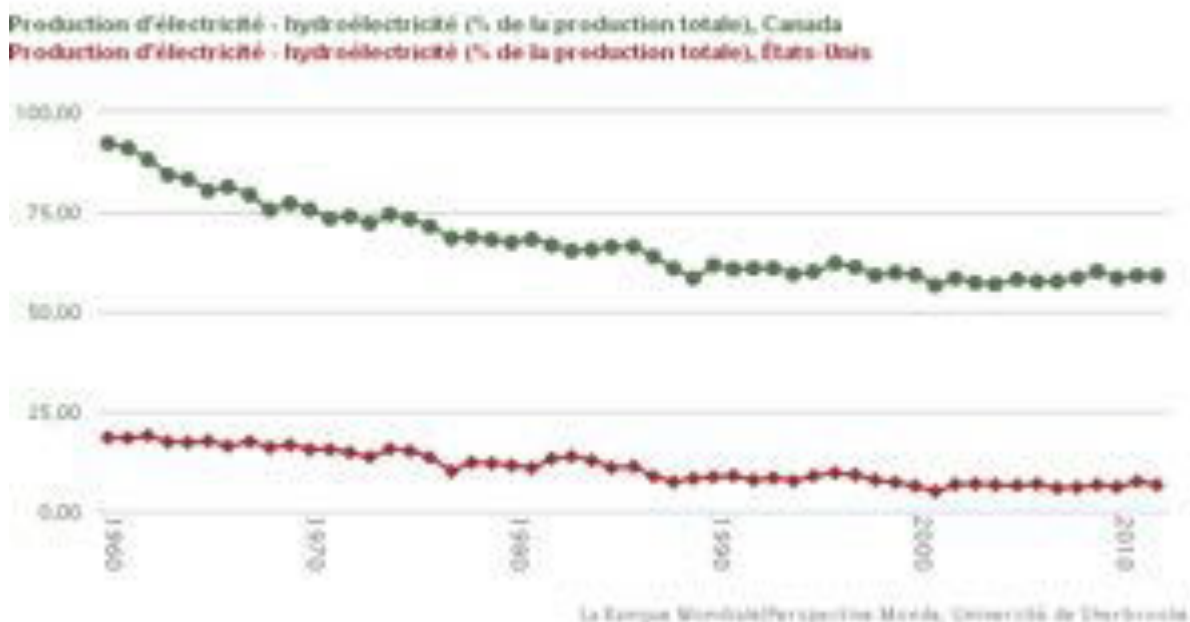
³ Source : <http://www.thecanadianencyclopedia.com/fr/article/electric-power-generation/>

⁴ En 2008, le Québec a produit 98 % de son électricité à partir de l'eau ; d'après le site Hydroquebec.com.

Comparaison entre les États-Unis et le Canada en matière d'électricité



Les courbes de production ci-dessus¹ restent sensiblement parallèles de 1960 à 1988 ; après, la croissance canadienne ralentit. Le creux de 2008-2009 apparaît nettement. La croissance est faible depuis l'an 2000 ; la part hydraulique semble stabilisée autour de 60 % depuis les années 1990 ; la consommation annuelle par personne a augmenté lentement depuis 1989, à un niveau élevé², environ 17 000 kWh, elle tend à diminuer depuis 2008 — voir plus bas.

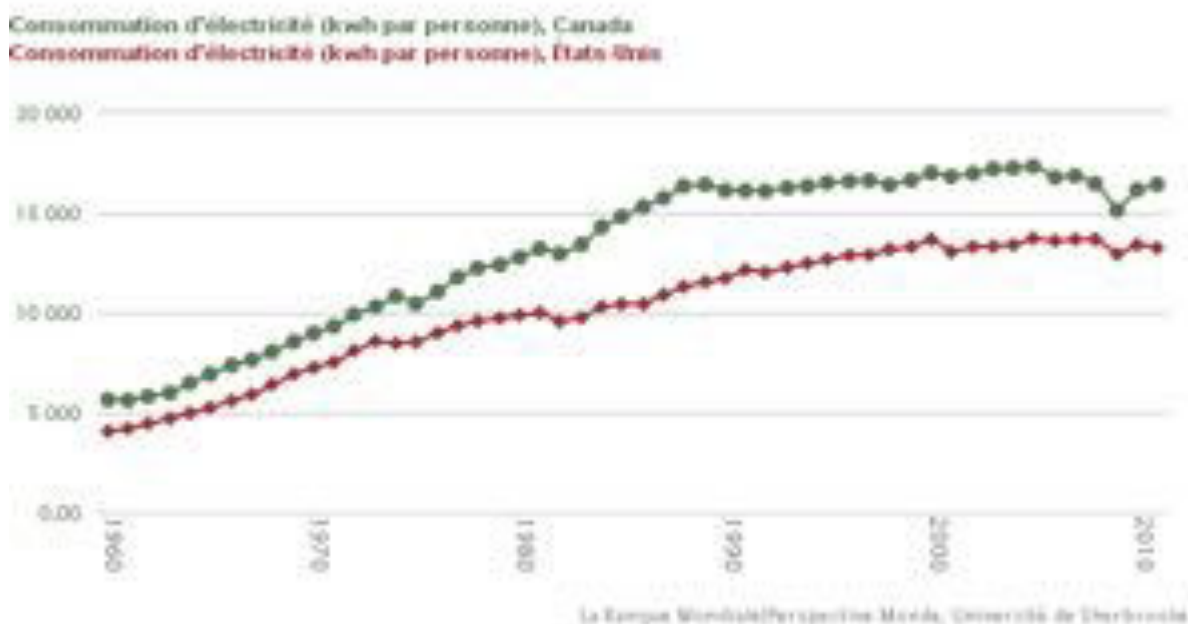


Aux États-Unis, la production totale annuelle d'électricité, considérable à plus de 4 000 TWh, marque le pas depuis 2005, avec une baisse sensible en 2009. La part de la production hydroélectrique y est inférieure à 20 % depuis 1960 ; lentement décroissante, elle dépasse à peine

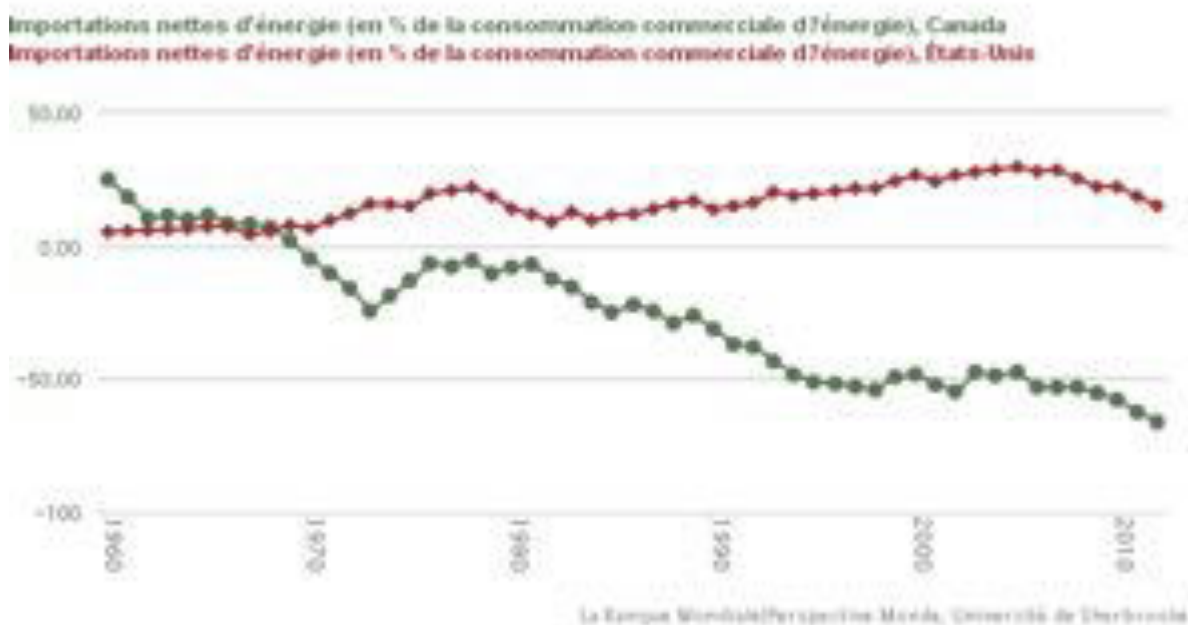
¹ Échelle de gauche pour le Canada, de droite pour les USA.

² Proche de celui de la Suède.

les 6 % du total depuis 1990. Les importations d'énergie ont été variables entre 1970 et 1980, elles ont repris une tendance haussière en 1983, à un niveau élevé. Depuis 2005, elles décroissent à un rythme rapide, probablement en relation avec la construction des grosses centrales au gaz.



Fournisseur attitré des États-Unis, le Canada est exportateur net d'énergie depuis 1970 et ses livraisons ont tendance à augmenter comme le fait apparaître le graphique ci-dessous.



« **Définition.** Cette statistique est obtenue en soustrayant l'énergie que produit un pays de celle qu'il utilise (équivalence mesurée en pétrole). Un indicateur négatif signifie que le pays est un exportateur net ».

Enfin, la nouvelle courbe ci-dessous montre que l'emploi du charbon pour produire de l'électricité au Canada a augmenté à partir de 1960 puis longtemps fluctué entre 15 et 20 % de la production totale. Depuis 2009, cette part diminue à un rythme rapide, supplantée par l'emploi du gaz de schiste. Le même phénomène apparaît sur la courbe de production d'électricité à partir de charbon aux USA. Elle est passée en 2012 à moins de 40 %, minimum absolu depuis 1960.



Fin de la parenthèse sur la comparaison entre États-Unis et Canada.

Revenant à l'étude du Canada, une explication des différences, prise par des historiens de l'électricité des années 1980, concerne l'apparition précoce de l'alternative¹ entre entreprise publique et secteur privé. Ainsi, Lanthier² écrit : « les motivations [initiales des deux provinces] n'ont pas été d'ordre strictement idéologique ». De plus, comme l'autorité sur le marché électrique du Canada relève, depuis une loi anglaise de 1885, des compétences des Provinces, « les choix initiaux diamétralement opposés [du Québec et de l'Ontario] méritent comparaison ». Sachant que la réussite industrielle d'Alcan a reposé en partie sur un accès privilégié à l'électricité, le choix du Québec n'est pas une surprise : « les droits [du gouvernement] sur la force hydraulique des rivières flottables et navigables [ont été vendus] à très bon marché ». Après 1907, ces droits ont été « cédés en vertu de baux à long terme, stipulant une rente annuelle très modeste et l'aménagement rapide des cours d'eau ». Les Commissions Provinciales, créées à l'époque, n'ont exercé qu'un contrôle très limité. Leur objectif était de construire ou de faire construire des barrages. Une loi de 1926 tendait à limiter les exportations d'électricité, sujet qui reviendra maintes fois sur le tapis, encore après la construction des premières centrales de la Baie James³.

À l'inverse, l'Ontario a « décidé [dès 1898] de ne plus vendre les sites hydrauliques mais de les louer en fixant un délai d'aménagement et une rente ». Il a créé, en 1905, la « Hydro-Electric Power Commission of Ontario », devenue en 1906 la « Ontario Hydro Commission », en abrégé Ontario Hydro. Ce fut la première compagnie publique d'électricité au monde. Et il se trouve que « l'Ontario [a] connu un développement plus précoce et autrement plus considérable [que le Québec] » après avoir décidé, avec un fort soutien populaire, de développer une alternative à l'emploi du charbon

¹ Alternative qui, cette fois, échappe au pouvoir de l'entreprise privée.

² Pierre Lanthier, L'industrie électrique entre l'entreprise privée et le secteur public, Le cas de deux provinces canadiennes : 1890-1930, in *Un siècle d'électricité dans le monde*, p. 23-36, *op. cit.*

³ http://fr.wikipedia.org/wiki/Projet_de_la_Baie-James

américain dont le prix venait d'augmenter. Le remplacement de l'électricité produite à partir du charbon et utilisée pour l'éclairage et les tramways, par l'hydroélectricité semble s'être effectué sans trop de conflits. Les grandes lignes de la suite de l'évolution fixent quelques repères : en 1925, la plus grande centrale hydroélectrique du monde est créée à Niagara Falls (Queenston-Chippawa, 413 MW) ; la diversification par le charbon a repris dans les années 1950-1960 en complément de l'hydraulique, et le nucléaire a fait une apparition, difficile et longtemps problématique, en 1965. L'histoire d'Ontario Hydro, depuis 1972, est traitée un peu plus loin.

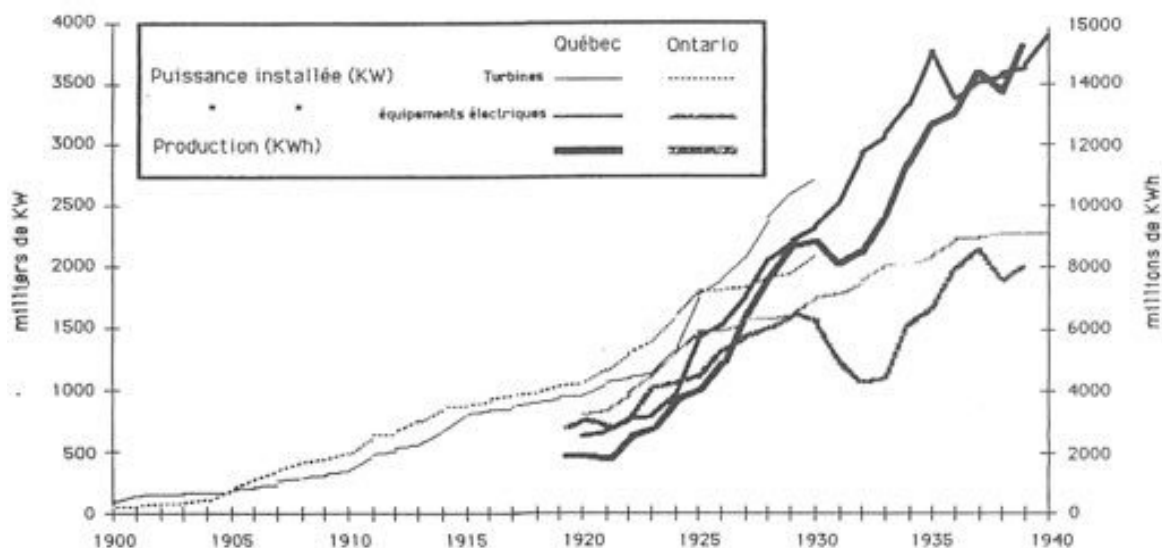
Au Québec, toujours selon Lanthier, les premiers clients furent, comme ailleurs, des services publics, sociétés d'éclairage et de tramways. « En 1912-1913, le Québec comptait soixante-deux sociétés d'éclairage et neuf de tramways municipaux et interurbains ». Cependant « ... en 1921, il n'existait qu'une vingtaine de sociétés sous contrôle municipal ». Puis, en quelques décennies, un processus de concentration a réuni 90 % de la production d'électricité dans les mains de cinq groupes privés. L'Ontario avait démarré plus vite et plus fort, en particulier dans le sud-ouest proche des USA, ainsi dès 1896, [la Province] possédait 145 compagnies d'éclairage¹ et 17 de tramways. En 1912-1913, on en dénombrait respectivement 219 et 29. Par ailleurs, les sociétés sous contrôle municipal étaient plus nombreuses qu'au Québec : 68 sociétés d'éclairage en 1912 ». L'activité de développement fut partagée entre le public pour assurer un équilibre sur tout le territoire, les municipalités pour la distribution et la consommation à usage public, et le privé pour la construction de centrales, petites ou grandes, à usage industriel ou commercial. Déjà avant 1906, deux sociétés contrôlées par des américains avaient édifié des centrales sur le Niagara dans l'espoir d'alimenter New York, mais personne ne savait à l'époque transporter l'électricité aussi loin. Une société torontoise avait aussi construit, en 1903, une centrale sur le Niagara pour desservir Toronto. Ailleurs dans la province et avant 1910, le développement de l'électricité fut plus modeste et destiné surtout à des emplois industriels privés. La concentration autour de Hamilton et Toronto aurait pu se poursuivre à l'excès si elle n'avait pas été encadrée par Hydro Ontario.

Les chutes de Shawinigan sont éloignées de Montréal et le Québec a démarré son électrification plus lentement que l'Ontario. Le même handicap, l'absence de marché local proche, immédiat ou légèrement différé, a joué pour la région du Saguenay qui a dû fonder sa croissance sur l'aluminium. Des années plus tard, les mêmes contraintes ont existé pour les grands barrages de la Baie James, mais la technologie du transport sous très haute tension a cette fois permis une adaptation plus rapide de la demande. Il a donc existé une adéquation évolutive entre les ressources et les possibilités d'emploi qui paraît avoir trouvé son optimum au début du XX^e siècle aux USA.

¹ La compétition entre le gaz et l'électricité n'est pas évoquée ; seule une allusion y est faite à propos du prix du charbon.

Jusqu'en 1925, les capacités de production de l'Ontario et du Québec sont restées équivalentes, avec une légère avance pour l'Ontario. En 1929, les deux Provinces produisaient plus de 99 % de leur énergie¹ à partir de l'eau. La thermoélectricité des débuts avait pratiquement disparu. Mais, alors que l'Ontario ralentissait, le Québec a continué à construire vite, malgré la crise et jusqu'en 1940.

Puissance installée et production 1900-1940



Sources : *Annuaire du Canada*, années concernées, J. H. Dales.

En 1931, la puissance installée au Québec, dépassait 13 millions de hp² et en Ontario elle atteignait moins de 7 millions. Encore en 1940, la production du Québec égalait presque le double de celle de l'Ontario. L'écart entre les deux provinces s'était creusé parce que le potentiel hydroélectrique exploitable du Québec était supérieur, mais peut-être aussi parce des capitaux privés y étaient disponibles.

Les différences ne s'arrêtent pas là. Le prix du courant³ est un facteur d'autant plus important que les quantités produites — consommées ou perdues — s'expriment en milliers de millions de Wh (déjà 15 GWh au Québec et 8 en Ontario en 1940), et en millions de millions de nos jours (645,7 TWh pour tout le Canada en 2012). Une différenciation efficace des prix entre utilisateurs a rapporté à l'Ontario des revenus supérieurs pour une production moindre⁴. « La traction électrique, la consommation domestique et manufacturière dominaient dans le marché ontarien. Au Québec, les pâtes et papiers prenaient la part du lion, suivis des exportations et de la clientèle industrielle, en

¹ Longtemps une terminologie qui peut sembler aujourd'hui étrange a été employée : l'énergie désignait l'électricité et la force désignait le courant (souvent triphasé) qui servait à entraîner un moteur électrique ou à alimenter une résistance de chauffage.

² Respectivement 9,7 et 5,2 gigawatts.

³ La consommation d'un Watt pendant 1 heure est 1 Wh, et 1 kWh = 1 000 Wh.

⁴ Lanthier compare les ventes d'électricité du Québec et celles de l'Ontario pour la totalité des ventes de 1931. Les quantités vendues et les CA générés sont les suivants :

1931	Quantités vendues	Revenus
Québec	7,24.10 ⁹ kWh = 7 TWh	42 011 000 Can\$
Ontario	5,41.10 ⁹ kWh ⁽¹⁾	46 543 000 Can\$

(1) Comprend l'électricité achetée au Québec

Source : John H. Dales, *Hydroelectricity and Industrial Development : Québec 1898-1940*, Cambridge (Mass.), Harvard U.P., 1957, p.29-33 ; *op. cit.* p. 40 sq. et 202 sq. dans l'article de Lanthier, p.28.

particulier celle des métaux non ferreux (dont l'aluminium)¹ ». Les politiques industrielles des deux provinces sont inscrites dans ces différences : le Québec produisait de l'électricité pour ses usines et la facturait à bas prix, alors que l'Ontario vendait à une clientèle domestique beaucoup plus nombreuse et — peut-être — moins dispersée. Le sujet est toujours d'actualité : « La stratégie énergétique du Québec 2006-2015 repose d'abord sur une relance et une accélération du développement [du] patrimoine hydroélectrique qui avait connu un ralentissement à la fin des années quatre-vingt-dix² ». Le récent accord énergétique, mentionné plus haut pour les usines d'aluminium d'Alcoa, est donc conforme aux intentions affichées depuis longtemps par le Gouvernement.

L'analyse des historiens canadiens de l'électricité est d'un grand intérêt pour la recherche des causalités. L'électricité est-elle la cause ou la conséquence de l'implantation et du développement des industries grosses consommatrices ? Lanthier rejette rapidement, sur ses critères propres d'historien, une hypothèse de Harold Innis³ de 1962, et préfère utiliser les résultats de John Dales de 1957⁴ : « Pour Dales, l'hydro-électricité a permis de dégager graduellement le pays de sa dépendance envers ses '*staples*'⁵ ». L'électricité a effectivement déplacé le charbon de son usage à des fins d'éclairage public au début du XX^e siècle et procuré un substitut à la force de l'eau des moulins. Cependant, cinquante ans ont passé depuis l'observation de Dales. Le charbon a effectué un retour en force quand l'hydroélectricité n'a plus suffi à la demande ou quand l'investissement dans des barrages est apparu trop coûteux. Il demeure que l'électricité hydraulique est une matière première « produite sans déchet⁶ et rapidement périssable » et qu'elle est « renouvelable », ce qui la classe à part et devrait inciter à la privilégier. La longue durée de vie des barrages américains évoquée plus haut devrait d'ailleurs inciter à revoir les critères de calcul des amortissements.

Lanthier cite encore Dales : « ... dans le domaine de l'électricité, le jeu de l'offre et de la demande est inopérant dans la mesure où ces variables ne sont pas indépendantes l'une de l'autre : les deux, en effet, sont avant tout fonction de la politique des entrepreneurs [qui doivent créer leur marché en même temps que construire de grosses centrales] et le marché ne saurait à lui seul expliquer l'évolution de l'industrie ». Comme exemple, Dales compare la Compagnie d'électricité de Shawinigan sur la Rivière Saint-Maurice, entreprenante, adossée à l'industrie et notamment à celle de l'aluminium, à la Société d'éclairage, chauffage et puissance de Montréal, orientée vers la satisfaction des besoins des ménages et des petites industries, et qui semble avoir manqué de dynamisme. La convergence de vue entre Dales et les historiens d'Alcoa et d'Alcan souligne l'importance cruciale, déjà évoquée, du dynamisme des premiers entrepreneurs et des banquiers qui

¹ Lanthier, *op. cit.* p. 27.

² « L'action gouvernementale s'articule autour des axes d'intervention suivants :

1. lancer de nouveaux grands projets hydroélectriques représentant 4 500 MW;
2. une fois nos besoins comblés, accroître les exportations d'électricité;
3. utiliser notre avantage tarifaire afin de renforcer le Québec;
4. limiter la place de l'énergie nucléaire au Québec, grâce au développement hydroélectrique ».

Source : MRN, <http://www.mrn.gouv.qc.ca/energie/hydroelectricite/index.jsp>

³ Harold Innis était un historien de l'économie, spécialiste du Canada et de ses « *staples* ». Il a notamment écrit *The Fur Trade in Canada* (1930). Pour lui, « le Canada serait, en quelque sorte, le produit de sa géographie et le développement de son économie résulterait de la mise en valeur de ressources naturelles ». Dans *Histoire et régions, Canada/Québec. Du métropolitisme au régionalisme*, Camil Girard, Revue française d'histoire d'outre-mer, tome 77, n° 289, 4^e trimestre 1990. Le fait français et le Canada (2^e partie) pp. 125-147.

⁴ John H. Dales, *op. cit.*, pp. 181-198 et aussi du même auteur, « Fuel, Power and Industrial Development » in *Central Canada, American Economic Review*, may 1953.

⁵ *Staple* = matière première ou produit de base (*commodity*) en anglais (Le Grand Robert et Collins).

⁶ Mais pas sans altération du milieu naturel, d'après les spécialistes.

les soutenaient, ainsi que la nature exceptionnellement favorable du bassin du Niagara qui a fourni de l'électricité sur ses deux rives.

Une analyse un peu différente a été faite, en 1981, par Belfield¹ qui, dans une thèse non publiée de l'Université de Pennsylvanie, compare les conditions de l'électrification sur l'une et l'autre rive du Niagara. À son sujet, Lanthier écrit qu'il « ... met l'accent sur l'évolution systémique de la production-distribution d'énergie électrique... ». Autrement dit, il estime que l'électricité finit toujours par imposer sa logique d'un réseau unique de distribution qui relie, à travers des équipements électromécaniques de commutation, puissants et sophistiqués, d'un côté les multiples sources de courant — les centrales, grosses et petites — et de l'autre les très nombreux consommateurs dans « un pattern systémique qui va se complexifiant et se ramifiant ». Quel que soit le décideur — supposé rationnel — le résultat final sera le fruit de la combinaison de plusieurs facteurs : la technique, les capitaux disponibles au moment de chaque prise de décision, la géographie du pays au sens large et enfin le potentiel hydro-électrique. Seules des sécurités redondantes et un indispensable surdimensionnement des installations préparent l'avenir et protègent — un temps — contre les impondérables. La grande difficulté demeure leur estimation à un niveau qui anticipe la croissance sans la compromettre par excès de prudence. Près de trente ans après, la position prise par Belfield qui soutient sans réserve la primauté du public sur le privé — dans le domaine — est battue en brèche, au moins partiellement, par les tendances actuelles à la dérégulation. Il se pourrait cependant que sa position soit à nouveau jugée pertinente, après des excès du marché.



Le complexe hydroélectrique Sir Adam Beck à Niagara Falls

Source : photo numéro 17706 dans le Répertoire des lieux patrimoniaux du Canada.
http://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Adam_Beck_Complex.jpg

¹ The Niagara Frontier : the Evolution of Electric Power Systems in New York and Ontario, 1880-1935, R.B. Belfield, University of Pennsylvania, 1981.

Deux administrations ont joué au Canada un rôle important, Hydro Ontario et Hydro Québec. Leurs différences méritent encore un léger détour.

a) Hydro Ontario

Au moment de sa création, en 1906, la Commission ontarienne n'a pas immédiatement racheté les producteurs. Elle a d'abord fonctionné comme une « centrale d'achat » pour le compte des municipalités qu'elle approvisionnait en courant. Elle en assurait le transport dans lequel elle s'est spécialisée malgré la résistance des milieux d'affaires concernés. Ensuite, après accord du gouvernement, elle racheta ou expropria les entreprises privées de production-distribution, de sorte qu'en 1931 elle était devenue le premier producteur d'électricité de la province. Dès 1929, elle exploitait 25 centrales en Ontario et achetait du courant au Québec. Elle supervisait aussi le fonctionnement de la distribution par les municipalités. Son développement témoigne de la rapidité de la croissance de l'usage de l'électricité au Canada : en 1910, la Commission alimentait une dizaine de municipalités et, vingt ans après, elle était passée à 620 villes. Elle transportait alors 75 % du courant consommé en Ontario. « En somme, en Ontario, une coalition influente de municipalités a pu contrer l'expansion du secteur privé et donner à un organisme public un pouvoir qui s'est accru graduellement¹ ».

Le caractère public d'Hydro Ontario et sa bonne entente avec les municipalités rappellent le schéma suédois et son efficacité². L'autre voie, celle du Québec, s'est aussi avérée efficace suivant ses finalités propres³. L'exemple de la France montre le danger de l'absence de consensus. L'éloge, fait plus haut, de quelques entrepreneurs aurait sans doute pu être transposé à des décisions politiques, mais le peu de crédit global que Lanthier accorde à leurs auteurs qu'il juge « trop faibles et corruptibles » exclut l'hypothèse⁴ sans appel. Il préfère voir dans la réussite, le résultat de l'implication des municipalités et des mouvements citoyens, engagés dans des travaux d'embellissement des villes et d'aménagement des territoires comme cela s'est pratiqué en Allemagne, en Angleterre et aux États-Unis.

À la fin du XX^e siècle, Ontario Hydro a connu de gros problèmes de statut, d'objectifs et de dette. *The Energy Competition Act* de 1998⁵ a dissout la société et créé cinq nouvelles entités responsables des différentes activités liées à l'électricité. Le poids de la dette, plus de 30 milliards de dollars canadiens, est laissé à la charge des consommateurs. De nouvelles lois ont été votées en 2002, 2004 et 2005...

¹ Lanthier, *op. cit.* p. 26.

² La proximité des USA permettait de pallier une éventuelle faiblesse de la demande de l'industrie canadienne.

³ Il n'est peut-être pas sans intérêt de rappeler ici qu'au début du XX^e siècle, la Bourse de Londres était agitée par une lutte de pouvoir entre les hommes d'affaires de tradition, porteurs d'une certaine éthique, voire puritains, et des « nouveaux venus » moins scrupuleux dans leurs méthodes. Cf. Mémoire de Master, T. Brault-Vattier, UPPA, 2007.

⁴ Lanthier, *op. cit.* p. 31

⁵ Source: <http://www.canadaenergy.ca/index.php?hydro=ontario&direct=hydro>

b) Hydro-Québec

Hydro-Québec, créé en 1944, doit sa naissance à un mouvement populaire, comparable à celui de l'Ontario du début du siècle, qui est apparu dans les années 1930 au moment où le nombre de villes du Québec dont la population dépassait 10 000 habitants a atteint la vingtaine. La population urbaine contestait la priorité donnée aux industries qui se traduisait pour elle par des prix du courant plus élevés qu'en Ontario. Hydro-Québec ne commença pas par s'attaquer au privé mais entreprit la révision de la distribution de l'électricité à Montréal. À partir des années 1950, se posa la question de la cohérence des techniques de transport et de distribution. La bataille de la nationalisation des grandes compagnies s'amorça alors et fut remportée lors du vote d'une loi en 1963. La double nature de l'électricité, son utilité « publique » sur tout un territoire et sa nécessaire structuration en un ou plusieurs réseaux techniquement compatibles, a justifié les mesures politiques prises à l'époque.

En bref, pour comparer l'Ontario et le Québec à l'époque des débuts, et aussi la France toutes proportions gardées, au-delà des analyses politiques et des stratégies industrielles, les principales différences en matière d'électrification sont les suivantes :

- en Ontario, la faible distance entre Toronto et les puissantes chutes du Niagara, l'intérêt et la volonté exprimée de la population ont favorisé la consommation des ménages urbains,
- au Québec, l'existence de plusieurs chutes importantes éloignées de Montréal et distantes les unes des autres, a orienté les régions vers l'industrie « énergivore », à faible distance des chutes, constituant des pôles de développement (Mauricie et Saguenay),
- en France, une multitude de petites chutes, isolées dans des vallées étroites des Alpes et des Pyrénées, a abouti à la multiplication d'installations industrielles de taille relativement modeste dont l'effet d'entraînement a été limité à leur domaine d'activité propre et finalement sans avenir à long terme, faute d'espace au sol pour se développer et d'accès facile à un port¹.

L'énoncé schématique de ces trois situations rend compréhensibles des politiques et des priorités différentes. Aller à l'encontre de l'état des choses n'a pas de sens, accompagner leur évolution en a un. Cette segmentation simple, inspirée par la situation de l'hydroélectricité à ses débuts, semble susceptible d'être transposée et adaptée aux nouvelles méthodes de production de l'électricité, solaire, éolienne et autres, même si les quantités de courant produites sont bien plus faibles. Pour aller plus loin, une importante notion doit être introduite, c'est la fluctuation dans le temps de la demande d'électricité qui intègre le cycle journalier des activités de tous les consommateurs. Elle s'impose aux producteurs !

¹ Cette vision un peu sombre est atténuée par la connaissance du sort de la « U.S. Manufacturing Belt ».

c) La Mauricie, pays de la rivière Saint Maurice (Québec)

Dans une analyse de l'industrialisation de la Mauricie, Lanthier¹ raconte l'évolution de la relation entre hydroélectricité et industrie, à ses débuts. Il prend l'exemple de la Shawinigan Water and - Power Company² (SWPC), compagnie d'électricité entreprenante, d'origine américaine, qui, avant et après la Première Guerre mondiale³, a construit son portefeuille d'activités puis sa propre diversification. Il salue aussi son rôle de développeur à l'occasion de l'installation sur place de nouvelles industries. Une telle pratique d'accueil des nouveaux arrivants a été longtemps une caractéristique de la région, elle l'est peut-être encore. La société construisit des installations de production et de distribution d'électricité à l'aide de capitaux empruntés à long terme, et mit délibérément sur les effets d'échelle que la puissance des chutes autorisait. Elle visa grand. Au début, elle ne disposait d'aucun marché : Montréal est loin, construire des lignes de transport jusque là aurait augmenté considérablement les investissements initiaux et demandé du temps ; par ailleurs, la Mauricie ne disposait d'aucune industrie consommatrice d'électricité. La Compagnie a entrepris une longue prospection qui lui a apporté : une usine de carbure en 1898, une usine d'aluminium en 1899, et une usine de pâtes à papier en 1900 — avec des capitaux belges. Mais les excédents d'électricité étaient difficiles à vendre et une partie de la force des chutes avait encore un usage hydraulique, ce qui n'était pas le but ultime. En 1903, les lignes électriques atteignirent enfin Montréal et la compagnie trouva une certaine rentabilité. Ses ventes annuelles passèrent de 1,5 GW h (en 1925) à 3,7 GW h (en 1940). À l'époque, les plus gros utilisateurs régionaux sont les pâtes à papier (48,3 %) et les industries électrochimiques et électrométallurgiques. Les exportations sont importantes aussi. De nouvelles centrales sont encore ajoutées en 1949, 1951 et 1958.

Pour s'assurer une croissance plus forte dans le cadre d'une activité intégrée de développement industriel, SWPC en véritable précurseur prit le contrôle technique et financier des centrales électriques des sociétés de pâtes et papier, allant vers ses clients jusqu'à l'entrée du courant dans leurs ateliers de fabrication. Elle entreprit en outre une diversification dans la chimie et acquit la Shawinigan Carbide⁴ en 1908-1909. L'électricité satisfaisant alors aux besoins, elle trouva d'autres débouchés, comme le découpage et le soudage de l'acier. Arriva la Grande Guerre. Plusieurs sociétés furent créées puis absorbées qui utilisaient l'électricité pour produire du magnésium, du ferro-silicium ou des électrodes. En 1928, elle démarra même une production d'acier inoxydable. Lanthier note qu'elle avançait d'un pas ou deux dans la fabrication de produits divers, mais se limitait — par stratégie industrielle vis-à-vis de ses clients ou faute de marché final à proximité — aux produits intermédiaires. Le développement régional porta sur les pâtes et papiers — croissance de la taille des unités de production et implantation de nouveaux concurrents. Une heureuse diversification dans le

¹ *Stratégie industrielle et développement régional : le cas de la Mauricie au XX^e siècle*, P. Lanthier, Revue d'Histoire de l'Amérique française, vol.37, n°1, 1983 p.3-19, www.erudit.org

² « L'aménagement du Saint-Maurice s'étale sur près de 50 ans. Remarquables à la fois par leur ingéniosité et leur architecture, huit centrales assurent l'exploitation du plein potentiel de la rivière, soit les centrales de Shawinigan-1 (érigée en 1901 et démantelée en 1949), de Shawinigan-2, de La Gabelle, de Grand-Mère (construite en 1916 par la Laurentian Power Company et acquise en 1925 par la Shawinigan Water and Power Company), de Rapide-Blanc, de La Tuque, de Shawinigan-3, de La Tranche et de Beaumont. Construit en 1917 par la Commission des eaux courantes de Québec, le barrage Gouin assure la régularisation du débit de la rivière Saint-Maurice ». Source : http://www.hydroquebec.com/comprendre/histoire/pop_la_sw_p.html

³ Sans préciser, Lanthier dit avoir identifié et analysé une situation analogue en France, dans *Le Rôle des groupes industriels internationaux dans l'électrification de la France, 1880-1940*. Thèse soutenue à Paris-X (Nanterre), date inconnue.

⁴ Carbure de calcium.

textile procura de nombreux emplois pour la main-d'œuvre féminine. Au global, le « décollage » fut une belle réussite, mais les effets de la crise qui succéda à la Première Guerre furent difficiles à gérer.

d) Les faits stylisés de l'électrification (Ontario et Québec)

Suivant à nouveau l'idée de Kaldor, il est intéressant de dégager des faits stylisés à comparer à ceux des autres pays étudiés :

- a) Les droits sur l'électricité ont été délégués par Londres aux Provinces en 1885 ; les premières décisions d'attribution, vente ou bail à long terme, engagèrent fortement l'avenir ;
- b) L'hydroélectricité a été « l'un des moteurs essentiels du développement économique... [Elle a] permis de dégager graduellement le pays de sa dépendance envers les matières premières¹ ». L'utilisation du potentiel hydroélectrique est contrainte par le coût des travaux. Dans un pays pourtant richement doté, l'équilibre offre-demande a été rompu au début des années 1960.
- c) L'Ontario a fait d'emblée le choix de l'entreprise publique et a loué ; le Québec a choisi le privé et vendu ses droits. L'Ontario a connu des débuts plus rapides. La hausse du prix du charbon américain a, en son temps, entraîné le soutien populaire à la nationalisation de l'électricité, les pressions ont commencé dès 1903. Enjeu d'élections en Ontario, le scrutin a conduit à une décision de nationalisation sur des critères géographiques et démographiques ;
- d) L'Ontario dispose d'une énorme chute sur le Niagara et d'autres, ailleurs ; l'électricité y est vue comme une « commodité » locale alors que le charbon et le pétrole sont importés ; l'hydroélectricité a éprouvé ses limites, ce qui a nécessité une diversification charbon et, en 1965, une expansion via le nucléaire, à l'origine d'une importante dette ;
- e) Le Québec possède de multiples chutes puissantes et il investit encore au début des années 2000 dans le Grand Nord. L'hydroélectricité y est, depuis ses débuts et encore aujourd'hui dans une continuité remarquable, un enjeu de développement industriel et souvent un objet de débat public sur les prix ; le thermique, fossile ou nucléaire, n'est pas pour autant absent ;
- f) La loi du Québec module les règles relatives à l'exportation du courant² ;
- g) Les premiers clients ont été des services publics : éclairage municipal et transports en commun. Le pouvoir municipal a résidé davantage dans le nombre des municipalités et des compagnies d'éclairage que dans leur taille, il n'est pas entré en conflit avec la ligne politique des Provinces ;
- h) Les premières centrales ont été construites par le privé, en Ontario comme au Québec : forte dispersion initiale de la taille des installations puis regroupement de la propriété qui s'est parachevé sous l'impulsion des organismes publics. Comment savoir si le potentiel hydraulique est utilisé à son maximum³ ? Comme pour la mise en valeur de nouvelles terres au XIX^e siècle, confirmant l'analyse des marginalistes, il arrive probablement un moment où le montant à investir pour produire 1 MWh supplémentaire augmente fortement. Cependant, les bases du calcul varient dans le temps et la durée choisie pour l'amortissement influe sur le résultat...

¹ John Dales à propos du Canada, *op. cit.*

² Loi québécoise de 1926.

³ « Le parc de production hydroélectrique disponible au Québec est d'environ 39 300 MW. Par ailleurs, les ressources hydrauliques non développées sont encore importantes. Elles sont évaluées à 45 000 MW, dont près de 20 000 MW présentent, dans le contexte actuel, un potentiel économique intéressant ».

Source : <http://www.mrn.gouv.qc.ca/energie/hydroelectricite/developpement.jsp>

- i) Les historiens canadiens de l'électricité « shuntent » la technique¹. Cependant, elle explique les premiers échecs, la dispersion des efforts et la nécessité ultérieure de rassembler afin de bénéficier des progrès et des effets d'échelle. Ces derniers s'apprécient par la puissance unitaire des installations et par la tension de transport du courant².

La comparaison des processus d'électrification de la Suède, de la France et des deux Provinces canadiennes — significatives pour l'Amérique du Nord — montre les convergences finales et les différences majeures. La technique s'est pliée aux contraintes imposées par la politique et les résultats diffèrent sensiblement : forte industrie électrique en Suède et peu d'aluminium ; nationalisation au profit de la population en Ontario et pas d'aluminium ; nationalisation au profit de l'emploi au Québec et beaucoup d'aluminium ; la situation en France est connue, choix du nucléaire et décroissance de la production d'aluminium. Il reste à quantifier les productions pour l'Amérique du Nord et à introduire le recyclage comme pour la Suède. Les mêmes sources seront mises à contribution.

iv. La production d'aluminium en Amérique du Nord

L'objectif de ce court paragraphe est uniquement de placer des informations sur la production d'aluminium au plus près des développements sur l'électricité. La production du Canada mérite plus que des commentaires sur les chiffres, car le Canada est le troisième plus grand producteur d'aluminium au monde. La production des États-Unis a déjà été présentée, elle sera analysée plus loin. Les données qui suivent sont d'une autre nature.

À fin 2012, il existait dix usines d'électrolyse au Canada dont neuf au Québec. Depuis, l'usine de Shawinigan, la plus petite, a été définitivement arrêtée. Le tableau ci-dessous en donne la liste, avec leur localisation et la capacité installée. Les deux grands producteurs, Alcoa et Rio Tinto Alcan, possèdent la plus grosse partie des installations. La capacité totale installée s'élève à 3 091 000 tonnes dont 210 000 en Colombie Britannique. À l'époque une capacité de 100 000 tonnes était maintenue à l'arrêt.

¹ À l'exception de Belfield.

² Un processus analogue s'est développé en parallèle dans l'industrie de l'aluminium avec les mêmes progrès techniques sur l'intensité du courant d'électrolyse.

Les usines canadiennes d'électrolyse en 2012

Lieu	Propriétaire et nom	Capacité installée t/an	Capacité à l'arrêt t/an
Alma	Rio Tinto Alcan, Usine Alma	443,000	
Arvida	Rio Tinto Alcan, Usine Arvida	163,000	
Bécancour	— Alcoa 75 %, Rio Tinto Alcan 25 % — A. B. I. (Aluminerie de Bécancour Incorporée)	420,000	
Baie Comeau	Alcoa Aluminerie de Baie-Comeau	440,000	50,000
Deschambault	Alcoa Aluminerie de Deschambault	260,000	
Grande Baie	Rio Tinto Alcan, Usine Grande-Baie	220,000	
Kitimat ¹	Rio Tinto Alcan, Kitimat	210,000	50,000
Laterrière	Rio Tinto Alcan, Usine Laterrière	235,000	
Sept-Îles	RTA, Amag, Hydro, etc. — Aluminerie Alouette Inc.	600,000	
Shawinigan Falls	Rio Tinto Alcan, Shawinigan Falls	100,000	

Source : Light Metal Age, The International Magazine of the Light Metal Age,
Compiled by R. P. Pawlek, 12 December 2012, http://lightmetallage.com/producers_primary.php

Le site de l'USGS donne les valeurs suivantes de la production des trois dernières années connues :

Année	2011	2012	2013 ²
Production	2980 kt	2780 kt	2900 kt

La production a diminué en 2012, peut-être en raison de travaux de modernisation menés dans les usines québécoises d'Alcan.

Une représentation de la production canadienne, sur la longue période, se trouve ci-dessous. Sensible aux effets de la Seconde Guerre et aux incertitudes des années 1970 qui se sont achevées par une reprise, avec la construction de trois « alumineries » de technologie 180 000 Ampères, elle a connu une période de croissance moins forte mais plus longue que les États-Unis. Elle ne semble pas encore s'être remise de la crise de 2008.

¹ En Colombie Britannique.

² Estimation.

Production d'aluminium du Canada de 1900 à 2012

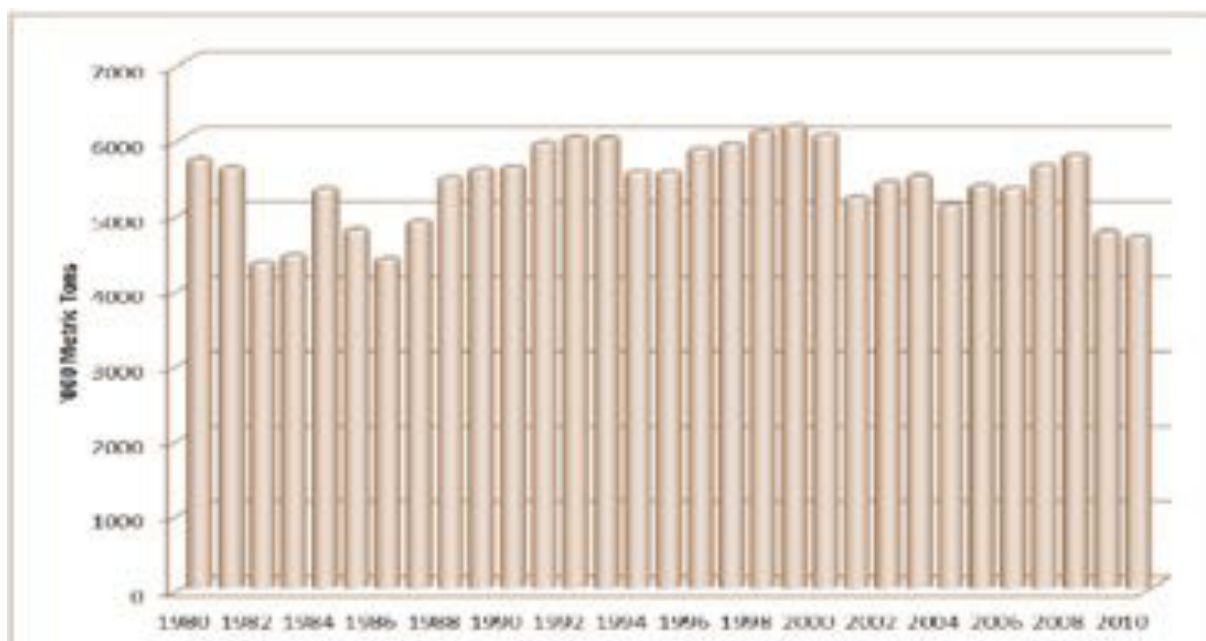


Source : Ressources naturelles Canada et Association de l'aluminium du Canada

Dans l'aluminium, la forte complémentarité entre le Canada et les États-Unis incite les Associations de producteurs¹ à rassembler les chiffres des productions dans leurs rapports. Ainsi, sont représentées ci-dessous les productions nord-américaines d'aluminium primaire, secondaire et de semi-produits de 1980 à 2010, en milliers de tonnes métriques. La décroissance de la production de métal, primaire et secondaire, est forte depuis 2008 — moins un million de tonnes chacun. Les produits ont repris un peu de vigueur en 2010. Les conséquences de cette baisse sur la consommation d'électricité sont certainement perceptibles puisqu'il faut environ 15 TWh pour produire un million de tonnes. Cela pourrait expliquer, au moins en partie, la tendance baissière de la consommation américaine d'électricité depuis quelques années.

¹ Aluminum: The Element of Sustainability A North American Aluminum Industry Sustainability Report, The Aluminum Association, September 2011.

Production d'aluminium primaire en Amérique du Nord

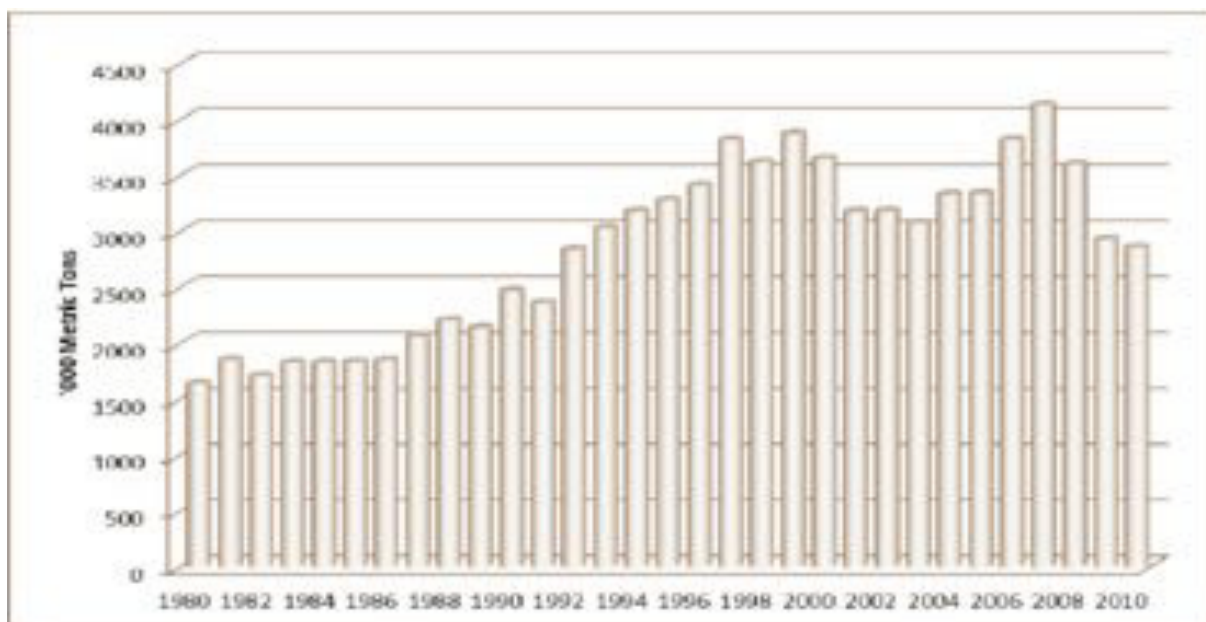


Source des données : U.S. Geological Survey, U.S. Department of Interior; Bureau of the Census, U.S. Department of Commerce; Natural Resources Canada;

Source du graphique : The Aluminum Association of Canada and The Aluminum Association.

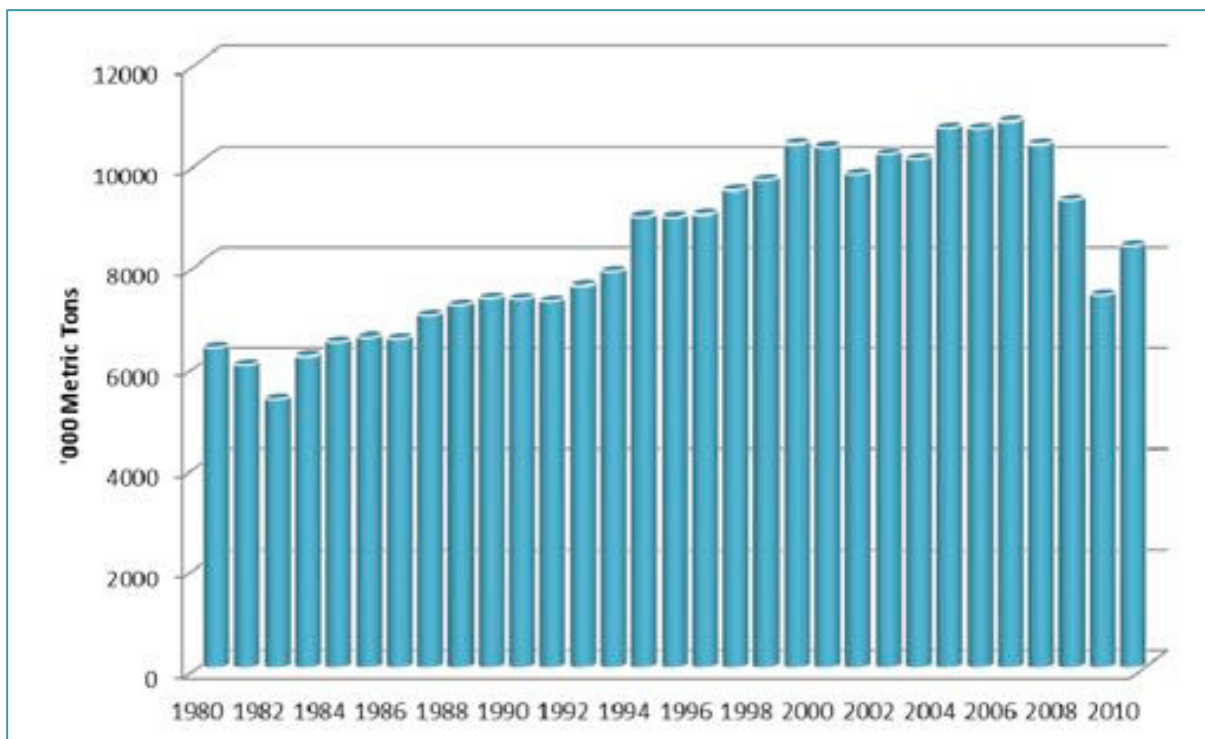
Production d'aluminium secondaire à partir de déchets recyclés

(hors métal récupéré à l'étranger de déchets importés d'Amérique du Nord)



Source des données : U.S. Geological Survey, U.S. Department of Interior; Bureau of the Census, U.S. Department of Commerce and The Aluminum Association.

Production de demi-produits en aluminium en Amérique du Nord

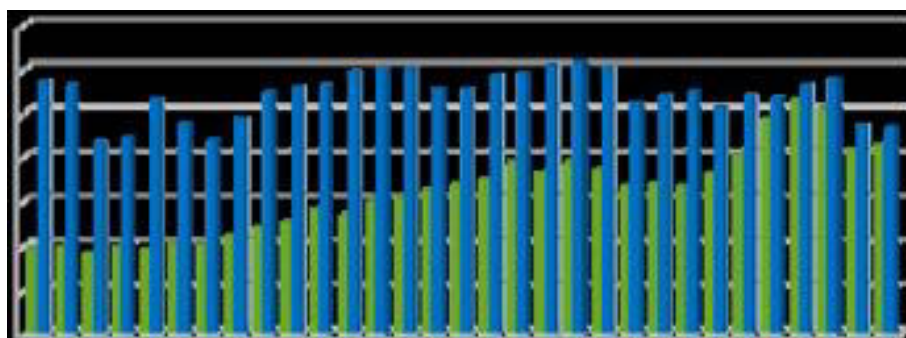


Source : The Aluminum Association.

Un dernier graphique de la même source illustre ci-dessous les importantes variations annuelles de la production de métal primaire et la solide croissance relative du métal recyclé.

Production annuelle d'aluminium primaire et secondaire en Amérique du Nord, de 1980 à 2010

(incluant le métal récupéré¹ des déchets exportés)



En vert métal secondaire, en bleu métal primaire. Échelle verticale, 1 carreau = 1 million de tonnes.

Source : US Geological Survey, Institute of Scrap Recycling Industries and The Aluminum Association.

Une industrie de refusion au Canada est justifiée par la grande taille du pays et par la concentration de la population. Sinon, l'alternative existe, l'exportation vers les États-Unis. Le nombre d'établissements de refusion recensés est de 42². Il est en réalité plus élevé parce que sous

¹ Une note technique précisant les hypothèses de calcul du tonnage de métal récupéré a été omise.

² Source: *Light Metal Age*, *The International Magazine of the Light Metal Age*, Compiled by R. P. Pawlek, 7 December 2013, http://lightmetalage.com/producers_primary.php

un seul intitulé peuvent se trouver rassemblés plusieurs sites de récupération, comme par exemple en Saskatchewan. Il n'a pas semblé utile de reproduire la liste. La capacité de raffinage n'est pas toujours indiquée, et la production totale fait l'objet de peu de publications, peut-être en raison de la difficulté d'agrégation des données.

IV. Le prix de l'électricité

Le prix de l'électricité payé par les producteurs d'aluminium est un secret bien gardé. D'ailleurs, la longue période de croissance de la production et donc de construction d'usines laisse bien supposer que les négociations menées entre les fournisseurs d'électricité et leurs clients ont dû aboutir à des conditions différentes, fonctions des lieux et des circonstances, et personne n'avait intérêt à les divulguer¹.

Seuls, Alcoa et Rio Tinto Alcan ont récemment publié des argumentaires chiffrés afin de promouvoir leurs positions et leurs requêtes dans une négociation sur les prix, menée avec le Gouvernement du Québec. Au Québec toujours, deux autres publications abordent le sujet. La première a été rédigée et publiée, en juin 2010, par le Centre de recherche sur le développement territorial (CRDT) de l'Université du Québec à Chicoutimi. Très fouillée, ayant fait appel à des sources réservées aux professionnels, elle traite de la place de l'important Complexe de Jonquière (Saguenay, Québec) dans le monde de l'aluminium. Le prix de l'électricité y est abordé avec discrétion, puisque le document complet est confidentiel. Le second, intitulé « Hydro-Québec, Un partenaire indispensable », date de fin 2004. Il émane de l'Association de l'aluminium du Canada et ne traite que de prix de l'électricité.

Ce document d'information, de source officielle, justifie la position d'Hydro-Québec face à ses plus gros clients. Il synthétise les réponses aux questions du public et les arguments des producteurs d'aluminium. Il confirme l'existence d'un tarif « L » accessible aux plus gros consommateurs. En 2004, « le tarif « L » réglementé est de 3,80 ¢ canadiens le kWh... Bien que parmi les plus bas en Amérique du nord, le tarif « L » d'Hydro-Québec est peu favorable, sur les marchés mondiaux, à l'implantation de nouvelles alumineries. En effet, selon les données établies par des analystes du secteur, le prix moyen payé par les alumineries du monde occidental en 2003 était de 2,35 ¢ canadiens par kWh, alors que le tarif « L » était de 3,60 ¢ au Québec. » Il fait état, pour les alumineries, « [de] contrats à partage de risques [qui] ont été établis pour s'assurer qu'Hydro-Québec partage avec ces entreprises les risques reliés à la fluctuation des prix de l'aluminium... Ce type de contrat a généralement une durée de 24 ans... Considérant l'importance des investissements requis pour la construction d'une aluminerie (plus d'un milliard de dollars), les entreprises paient un prix plus bas que le tarif « L » pendant les premières années. Durant les deux dernières périodes des contrats, une formule d'ajustement permet à Hydro-Québec de potentiellement récupérer le manque à gagner des douze premières années... Les contrats à partage de risques ont entraîné l'implantation et l'expansion de plusieurs alumineries au Québec, ce qui représente des investissements de plus de 7 milliards de dollars, entre 1984 et 1992 ».

Analytique et prospective, la longue étude du CRDT² présente un tour d'horizon mondial. Elle date un peu mais elle affiche les fortes évolutions, à la baisse, du prix de l'électricité dans le monde, à la fin de la précédente décennie : « Comme la consommation d'électricité semble varier peu et à plus long terme, ce sont les tarifs d'énergie qui déterminent en grande partie l'évolution à court terme

¹ Variable electricity prices for aluminum smelting in northwestern USA, Paul Spies, Energy Policy, March 1990.

² Chapitre 3, dossier stratégique sur l'aluminium, CRDT UQAC, Québec, *op. cit.*

des coûts en électricité. Le tableau qui suit indique l'évolution des tarifs d'énergie par région du monde entre 2008 et 2011. Selon le CRU¹, les tarifs d'énergie diminueront légèrement dans le monde entre 2008 et 2011 (-2,68 %). Le Canada connaîtra la 2^e plus importante baisse de ses coûts en énergie (-26,09 %) après l'Afrique (-27,27 %). » Enfin, elle cite un aspect qui n'avait pas encore été chiffré sur le partage des risques : « il est intéressant de noter que 16 % de la production d'aluminium mondiale en 2008 était réalisée sous contrats d'énergie liant directement les tarifs d'énergie au prix de l'aluminium ».

Croissance prévue des tarifs d'énergie dans les régions du monde

Croissance prévue des tarifs d'énergie dans les alumineries du monde selon les grandes régions, 2008-2011	Tarif d'énergie observé en 2008 (millièmes de \$ US/kWh)	Tarif d'énergie prévu en 2011 (millièmes de \$ US/kWh)	Taux de croissance du tarif d'énergie 2008-2011
Afrique	22	16	-27,27 %
Canada	23	17	-26,09 %
Océanie	28	22	-21,43 %
Amériques Centrale et du Sud	34	28	-17,65 %
Europe du Nord	31	28	-9,68 %
Europe du Sud	34	31	-8,82 %
Chine	52	49	-5,77 %
Europe Centrale	64	61	-4,69 %
Europe de l'Est	52	50	-3,85 %
Monde	38	37	-2,63 %
États-Unis	37	37	0,00 %
Moyen-Orient	24	27	12,50 %
Asie	30	34	13,33 %
CEI	24	31	29,17 %

Source : CRDT UQAC, Québec, 2010

Les écarts mondiaux en valeur sont considérables pour une activité énergivore et leurs variations sont de nature à bouleverser les positions relatives des producteurs d'aluminium. Aucune information n'a permis de vérifier la réalisation des prévisions faites.

En revanche, des mémoires ont été présentés par Alcoa et Rio Tinto Alcan à la Commission sur les Enjeux énergétiques du Québec, en septembre 2013. Les deux documents sont publics. Ils

¹ Commodities Research Unit (CRU) Monitor (2009) : Entreprise de consultants spécialisée dans l'analyse économique des industries de matières premières.

s'opposent à une hausse envisagée du tarif d'Hydro-Québec et expliquent pourquoi elle serait destructrice d'emplois et d'activité. Sans prendre parti, il semble intéressant de citer un court paragraphe du document d'Alcoa qui résume les difficultés principales de la relation entre l'aluminium et l'électricité : « le tarif « L » se situe dans le 4^e quartile des prix offerts aux alumineries de par le monde. En clair, plus de 75 % d'entre elles bénéficient d'un approvisionnement en électricité à moindre coût. Une situation qu'aggravera l'augmentation déraisonnable demandée par Hydro-Québec cette année. En fait, le tarif « L » n'a plus sa place dans l'équation du maintien de l'industrie de l'aluminium au Québec. À ce prix pour l'électricité et dans le contexte actuel du marché de l'aluminium, la modernisation de l'Aluminerie de Baie Comeau ne peut se faire et la pérennité des Alumineries de Deschambault et de Bécancour n'est plus assurée ».

Les négociations se sont terminées sur un accord, après une phase publique de dramatisation. Aujourd'hui comme autrefois, la « majorité silencieuse » doit être convaincue et le duopole des producteurs canadiens dispose d'arguments frappants.

2^e partie

L'industrie de l'aluminium et l'économie

Introduction à la deuxième partie

Can the account of such a society's life process be reduced to a set of permanently valid principles ?

G. L. S. Shackle¹

La pensée forte, transverse et lumineuse de théoriciens de l'économie, contemporains ou presque en raison de la durée de leur influence, a été déterminante pour la compréhension du monde moderne, voire pour sa construction. Le choix des auteurs et des textes qui expriment cette pensée, bien que logique, est parfaitement arbitraire. Il s'est imposé pour partie au hasard des recherches², et pour partie en raison d'affinités électives. Des textes³ de plus en plus spécifiques vont aider à connaître et mesurer les évolutions de l'industrie⁴, telles qu'elles apparaissent aujourd'hui avec le recul du temps. Cette manière de faire semble justifiée, à la fois, par la réputation des économistes choisis et par le désir d'adosser une présentation de la réalité industrielle, connue de l'intérieur, à celle d'écrivains qui ont plus travaillé sur le monde réel, au plan microéconomique de l'entreprise, que développé une théorie macroéconomique contingente. L'argumentaire sera fondé tant sur des écrits que sur des faits, nombreux et variés, souvent chiffrés et présentés comme des informations et des supports de la réflexion.

Dans cette partie, « L'Industrie de l'Aluminium et l'Économie », sont décrites à la fois les évolutions des théories économiques et leur application au domaine étudié. Ces deux sujets ont fait séparément l'objet d'une très abondante littérature. La difficulté se situe dans le choix des références et dans leur enchaînement. Dans le cas des deux produits grand public, une double chronologie serait dépourvue d'utilité. C'est pourquoi, théorie et application seront traitées au plus près l'une de l'autre, et les axes d'approche multipliés afin de présenter un ensemble vivant, période par période. Les données récentes de base ont été présentées dans la première partie pour servir de références et les généralités sont connues ou disponibles par ailleurs.

Le premier paragraphe est intitulé « *À travers la littérature économique* ». Fortement subdivisé, il commence avec Alfred Marshall sur des bases économiques qui sont ensuite développées et actualisées par John K. Galbraith pour l'entreprise, et par Richard E. Caves pour le marché. Puis, viennent des analyses récentes sur l'économie industrielle, les échanges internationaux et la géographie économique. Bien sûr, tout tourne autour de l'aluminium et l'exemple d'une grande

¹ *The Economics of Alfred Marshall*, David Reisman (Professor Economics (Econ) Nanyang Business School Singapore), préface de George L. S. Shackle, Macmillan, 1986.

² Tout particulièrement à l'occasion de fructueuses discussions avec M. le Professeur Jacques Le Cacheux.

³ Par construction, toute polémique est exclue. Les positions des auteurs cités sont acceptées pour la part qui s'applique au domaine étudié. Des commentaires sont apportés si nécessaire.

⁴ Par industrie, il convient d'entendre industrie de l'aluminium produit par électrolyse de l'alumine, ou aluminium primaire. Parfois, le propos s'avère plus général et inclut l'aluminium recyclé. En revanche la transformation en semi-produits est exclue, sauf mention explicite.

entreprise américaine, Alcoa, longtemps leader mondial, assure le lien spécifique avec les textes de portée générale. Dans le deuxième paragraphe, « *Les grandeurs économiques influentes et les prix* », sont étudiées les évolutions du capital et de la croissance, deux concepts nés avec la Révolution industrielle et fréquemment liés à l'évolution technologique, puis la production et l'offre, la consommation et la demande, et bien sûr les prix. Le troisième paragraphe, « *Le London Metal Exchange (LME) et la finance internationale* », retrace des perturbations qui, depuis les années 1980, s'avèrent déterminantes pour l'industrie de l'aluminium et le monde. Enfin, en dernier, « *Marchés et perspectives industrielles* », correspond à une vision globale et préoccupante du présent et du futur proche. Cette étude a semblé utile, car elle éclaire par contraste les différentes périodes précédentes.

Les sources, théoriques et de synthèse numérique, proviennent en majorité du Royaume Uni et d'Amérique du Nord. Elles orientent naturellement la pensée vers un certain modèle libéral de croissance post Révolution industrielle qui touche peut-être à sa fin. L'industrie aux États-Unis, réactive, opportuniste et toujours bien décrite, servira d'exemple. Logique, elle se trouve plus facile à appréhender que les multiples cas particuliers européens qui pourtant, au fond et dans la durée, en diffèrent assez peu. Au final, la concurrence devenue mondiale démontre que, partout, se perpétue le besoin impérieux d'une source d'électricité à bas coût, le seul facteur de production rigoureusement rigide de l'industrie de l'aluminium. La consommation de très grandes quantités d'électricité est un handicap, car la croissance de la demande domestique a obligé à utiliser des sources d'énergie qui produisent du gaz à effet de serre. Comble de malchance, l'électrolyse produit le même gaz. Les deux effets se conjuguent pour favoriser le développement du recyclage de l'aluminium qui sera présenté comme une alternative pour les pays qui disposent de stocks importants de métal usé.

1.

À travers la littérature économique

I. Réflexions sur l'économie de deux produits joints : aluminium et électricité

Ces réflexions nécessitent des justifications de principe et des précisions, avant de commencer. Il existe à priori deux approches possibles pour étudier et représenter l'économie de l'aluminium et celle de l'électricité sur un peu plus d'un siècle, ainsi que leurs fortes interactions. Ou bien appliquer aux deux biens considérés un modèle existant et analyser les causes des probables écarts, ou bien établir les caractéristiques du cas particulier et identifier les variables-clés afin de bâtir un cadre économique qui s'adapte à l'évolution de long terme déjà connue. Faute d'avoir trouvé une synthèse appropriée¹, c'est la seconde possibilité qui a été retenue, à savoir rassembler un maximum d'informations pour analyser, comprendre, représenter et interpréter. Cet arbitrage laisse de la place à beaucoup de paramètres exogènes. En revanche, il lui manque l'élégance mathématique et la possibilité de généralisation. Il impose en outre d'introduire, en points d'appui, des théories économiques de référence, et de reporter *in fine* l'analyse dynamique en base historique, avec chiffres, dates et circonstances.

Comment donc concilier la théorie économique et ses applications d'un côté, et la description nécessairement partielle de la réalité de l'autre ? Les hypothèses doivent être posées et argumentées, en conservant la possibilité de les faire évoluer dans le temps car, comme le dit l'économiste britannique Shackle en exergue, tout change en permanence : aucune situation, même celle du monopole théoriquement stable, n'est en fait pérenne. Bien entendu, conserver une telle souplesse impose d'adopter la forte réserve d'Alfred Marshall² sur la « possible » corrélation entre un événement et un ajustement des variables observé au même moment, ou peu après. En conséquence, déductions et résultats de cette étude resteront de simples hypothèses explicatives qui pourraient se trouver en contradiction avec d'autres analyses. Pour rassurer sur la bonne compréhension du réel, il faut noter au passage que ce travail s'appuie sur une importante bibliographie, sur une longue expérience professionnelle et aussi sur la relecture du présent texte par des spécialistes du domaine³.

À l'évidence, les deux produits étudiés ensemble par la force des liens — chimiques — qui les unissent, ne combinent pas l'utilité première du blé et du travail, si représentative à la fois des besoins de la population, des facteurs de production et de la pensée des économistes de l'époque de

¹ Par ces mots, il convient d'entendre un modèle qui mettrait en relations paramétriques les grandeurs identifiées comme principales, à savoir capital et technologie, main-d'œuvre et énergie. Il pourrait aussi représenter d'autres industries énergivores, placées dans la même problématique de coût de l'énergie que l'industrie de l'aluminium, par exemple le transport aérien de passagers.

² « Quoi que l'histoire ou l'observation puisse dire sur la simultanéité de deux événements ou sur leur décalage dans le temps, elle ne peut pas affirmer que le premier a été la cause du second. » Alfred Marshall, *Principles of Economics*, 1920, in *The Economics of Alfred Marshall, Revisiting Marshall's Legacy*, Edited by Richard Arena and Michel Quéré, Palgrave Macmillan, 2003. Conférence tenue à Sophia-Antipolis, les 9-10 décembre 2000.

³ Ce qui ne diminue en rien la totale responsabilité de l'auteur sur l'ensemble du travail présenté.

Ricardo. Mais, depuis le milieu du XIX^e siècle, l'industrie a pris une grande place dans les préoccupations des économistes¹ et l'agriculture a perdu la sienne ! D'une manière comparable au couple blé-travail, aluminium et électricité sont liés depuis Hall et Héroult, et, pour produire le premier, la seconde est nécessaire. La fabrication de l'aluminium a beaucoup progressé en productivité, alors que celle de l'électricité s'est développée dans la variété des sources et des techniques. La multiplication quasi infinie de leurs usages et le progrès technologique les caractérisent. L'ensemble de leurs produits et applications justifie de réfléchir aux concepts spécifiques à leur économie commune. En effet, celle-ci concerne une production industrielle des plus capitalistiques et une consommation effrénée de biens restés sur le devant de la scène pendant tout le XX^e siècle. Elle intègre le progrès technique — pour sa part endogène — fulgurant à l'instant de la découverte mais parfois long à naître et à diffuser, en raison du capital nécessaire et des hésitations des sociétés humaines. Ainsi apparaît la notion de circularité, due aux interrelations qui complexifient le problème initial et rendent hasardeuses sa formulation et sa résolution.

Le désir de se référer à des hypothèses économiques usuelles pour analyser deux matières premières produites en quantités exceptionnellement croissantes sur la période considérée, impose logiquement de commencer l'étude de la théorie au moment où ces hypothèses se sont imposées dans la littérature. Le choix du référentiel s'est alors porté naturellement sur l'économie d'Alfred Marshall — contemporain de la naissance des deux produits — aussi en raison de son rôle prépondérant² en matière d'économie industrielle. En l'occurrence, c'est l'analyse de son œuvre effectuée par David Reisman³ qui servira de base. En procédant ainsi, il faudra juste éviter de lier la pensée de Marshall à celle de Reisman, de même que ce dernier s'est protégé du risque en ayant recours à de nombreuses citations. L'utilisation de ce raccourci méthodologique se justifie par le fait que « ce livre n'est pas sur l'économie marshallienne mais sur l'économie d'Alfred Marshall » comme le déclare son auteur, et qu'il aborde, en profondeur et d'un œil critique, de nombreuses dimensions de l'économie comme autant de voies à explorer. L'introduction de Shackle constitue une garantie supplémentaire de fidélité aux idées originales de Marshall. En outre, des remarques de Richard Arena et Michel Quéré⁴ publiées en 2003 serviront d'éléments d'actualisation à une pensée qui dure.

Des économistes qui critiquent et apportent des compléments importants à la perception de Marshall, aideront à poursuivre la route et parmi eux Mrs Joan Robinson et Nicholas Kaldor. Enfin, compléments pratiques, indispensables et concrets, les descriptions globales de l'entreprise par John K. Galbraith et du marché par Richard Caves serviront à préciser la situation américaine à son apogée⁵. Il semble que pour le dernier tiers du siècle dernier, elles aient servi de modèle de fonctionnement et de grille d'analyse dans un grand nombre de pays.

Au plan général, des ouvrages universitaires récents et, en particulier, *L'Introduction à la micro-économie* de Gilbert Abraham-Frois, *Economica* 2004 et la très classique *Introduction à la microéconomie* de Hal R. Varian, 5^e édition française, de Boeck, 2002 s'avèrent essentiels.

¹ Lorsqu'elle était elle-même importante, c'est-à-dire avant le développement des Services et les bulles informatique et financière.

² « Un des pères fondateurs de l'économie industrielle est aussi un des principaux constructeurs de la microéconomie: il s'agit d'Alfred Marshall », in *Économie industrielle, Une perspective européenne*, Pierre Médan et Thierry Warin, Dunod Paris 2000.

³ David Reisman, *op. cit.*

⁴ *Op. cit.*

⁵ Thomas McCraw utilise ce mot pour la période 1920-1970, dans *The Modern Corporation and Private Property* by Adolf A. Berle and Gardiner C. Means, *Reviews in American History*, Vol. 18, No. 4 (Déc., 1990), pp. 578-596, The Johns Hopkins University Press. Pour l'aluminium, il s'agit plutôt de la période 1940-1970.

II. Des économistes ont dit...

i. Premières sources théoriques, Alfred Marshall

Depuis l'invention de sa fabrication par électrolyse, l'aluminium a été un marqueur sensible de l'évolution, quantitative et qualitative, des modes de vie¹. À ses débuts, en France sous le Second Empire, produit chimiquement en petites quantités, c'était un métal précieux, réservé à des usages d'orfèvrerie. Et puis, avec l'électricité, les inventeurs de l'année 1886 ont bousculé les perspectives. En « une génération », aurait dit Marshall, les deux biens produits vont devenir des marchandises² hors pair, des commodités qui ont marqué leur temps. En parallèle, les économistes ont bâti leurs théories dans un processus d'évolution continu, argumenté et socialement daté. Leurs préoccupations s'adaptent au contexte éprouvé par leurs contemporains, même si parfois la contestation se fait vive — voir Jevons, ci-dessous — et si le sens de l'évolution s'inverse, momentanément. Marshall a joué un rôle-clé dans le domaine, tel que les économistes avant et après lui ne s'intéressent plus ni aux mêmes biens, ni aux besoins des mêmes catégories sociales — Cf. Karl Marx — et, surtout, ils ne traitent plus les problèmes de la même manière. Peu après la grande entreprise³, l'économie industrielle est née. Pour l'introduire, il convient de dire quelques mots sur deux grands précurseurs.

- Pour David Ricardo⁴, la valeur d'échange est déterminée, non par l'utilité, mais par la quantité de travail contenue (*'embodied'*) dans chaque bien⁵. Le travail est le seul facteur de production et la terre un facteur de rente — ce qu'elle demeure encore aujourd'hui, en particulier pour des activités minières très lucratives comme le fer. Cette conception de la valeur des biens produits convient à la présente étude, à condition toutefois d'ajouter un autre facteur de production, le capital — ainsi que l'énonce déjà Adam Smith — et un fruit essentiel du progrès technique, l'électricité. La démarche entreprise se veut pragmatique, elle ne tend pas à établir une « *mesure invariable des valeurs* », comme s'y emploie Ricardo. L'objectif est une construction « rationnelle » — au sens de Cournot⁶, de représentative de l'ordre des choses dans un monde en évolution — de la relation entre les prix et les quantités produites, et le pouvoir explicatif du modèle de Ricardo demeure. Aux variables du modèle à deux biens de Ricardo⁷, pure application de la « théorie de la valeur-travail », il faut donc ajouter le capital et des coûts discrétionnaires qui dépendent des orientations définies et des choix, techniques et sociaux, des décideurs.

¹ Voir : *Industrialisation et sociétés en Europe occidentale de la fin du XIX^e siècle à nos jours, L'Âge d'or de l'aluminium*, sous la direction de Ivan Grinberg et Florence Hachez-Leroy, Armand Colin, 1997.

² « Quand donc nous parlons des marchandises, de leur valeur échangeable et des principes qui règlent leurs prix relatifs, nous n'avons en vue que celles de ces marchandises dont la quantité peut s'accroître par l'industrie de l'homme, dont la production est encouragée par une concurrence libre de toute entrave. » In Gilbert Abraham-Frois, *Introduction à la micro-économie, Economica*, 2004.

³ Inventée par les chemins de fer aux USA. Voir *The Rise of Big Business 1860-1920*, Glenn Porter, Harlan Davidson Inc. 2006.

⁴ David Ricardo (1772-1823), son ouvrage essentiel est "*Principes de l'économie politique et de l'impôt*", 1817.

⁵ « La valeur d'échange des choses utiles vient de deux sources... *de leur rareté et de la quantité de travail nécessaire pour les obtenir* », in Gilbert Abraham-Frois. Les mots en italiques sont attribués à Ricardo.

⁶ *Actualité de Cournot*, Thierry Martin (Éd) Vrin, 2005 (p. 33).

⁷ Chez Ricardo, la main-d'œuvre est le seul facteur de production rémunéré, elle est homogène et utilisée en totalité ; le coût unitaire réel reste constant, proportionnel au coût de la main-d'œuvre. D'après Caves et Jones.

Ricardo avait donc, écrit Reisman après Marshall, conscience que l'utilité, la rareté et le coût de production influent sur la valeur d'échange de tout bien produit¹. Cette formulation plus large convient aussi pour un modèle portant sur l'électricité et l'aluminium : l'utilité résulte de propriétés intrinsèques supérieures à celles des produits concurrents — par exemple, la propriété de l'électricité par rapport au charbon et la légèreté de l'aluminium par rapport au cuivre ; l'idée de rareté est représentée par l'hydraulicité, fluctuante, et par les variations de prix des principales matières premières nécessaires à la production, l'électricité et l'alumine ; enfin, le coût de production inclut, outre la main-d'œuvre, des dépenses subsidiaires de matières consommables et de pièces de rechange, ainsi que la charge financière du capital et des emprunts, passés et aussi à venir — le profit est réinvesti. Dans un tel découpage de la valeur d'échange, la dimension la plus difficile à évaluer est l'utilité. Elle semble devoir être logiquement corrélée à la marge du producteur, représentée par un mark-up, et aux quantités offertes ou disponibles sur le marché — les stocks de produits finis ou les surcapacités², mais pas la rareté des matières premières déjà prise en compte. Elle inclut encore les coûts de Recherche et Développement (R&D), de diffusion des techniques, de commercialisation et de promotion des ventes qui ont été, dans le cas de l'aluminium³ et pendant une bonne cinquantaine d'années, très importants puisqu'il fallait tout créer en matière de produits, de procédés de production, de formation des spécialistes et de conviction des utilisateurs. Ces coûts (*advertising and salesmanship* pour Marshall) ont presque disparu dans les années 1980 pour les producteurs qui se sont éloignés du schéma traditionnel du producteur intégré et qui, après avoir acheté la technologie et le savoir-faire, se sont contenté de vendre, en francs-tireurs, leur production sur le marché libre, LME, NYMEX, etc. Ce changement radical de paradigme a eu d'importantes conséquences pour les producteurs traditionnels, notamment des fermetures d'usines plus ou moins anciennes et, récemment, l'achat de pans industriels structurés par des compagnies minières. Ces changements ont été accompagnés par de grands bouleversements.

Toujours dans l'esprit du modèle de Ricardo, il est possible de voir dans l'eau, depuis l'ancienne origine de ses usages — les moulins ou l'irrigation — une rente naturelle comparable à celle qu'a procurée la terre à ses propriétaires. Les droits acquittés pour son usage étaient très faibles en 1900, au début de l'hydroélectricité. De nos jours, les meilleurs sites sont déjà exploités ce qui augmente le coût de l'investissement de ceux à venir et en diminue la rentabilité. La terre est redevenue un capital qu'il faut louer ou acquérir et donc rentabiliser, et les nouveaux barrages, de plus en plus grands et sophistiqués, nécessitent un capital⁴ considérable. La rente foncière différentielle a presque disparu⁵ en raison des progrès de l'agronomie et des engrais. Elle subsiste uniquement par la disparité géographique et par l'exploitation du sous-sol, la politique chinoise actuelle d'accès aux matières premières en est l'illustration. De son côté, la rente hydraulique s'accroît avec le prix du

¹ La citation est de Reisman et pour éviter une confusion, 'commodity' est traduit par bien, ce qui diffère de la traduction proposée par le dictionnaire Robert et Collins. Par ailleurs, il ne semble pas nécessaire d'introduire le mot commodité.

² La nécessité de surcapacités, imputable pour l'électricité à la nature du produit et pour l'aluminium au procédé de production, est traduite par un taux de marche variable dans le temps.

³ Il est probable que la même chose soit vraie pour l'électricité, il est cependant difficile de l'affirmer de la même manière en raison de ses évidentes spécificités.

⁴ Il faut insister dès maintenant sur le fait fondamental et pourtant souvent oublié que le capital investi dans des barrages, des bâtiments ou des machines, implique des dépenses récurrentes d'entretien ou de protection des riverains qui doivent être financées, parfois jusqu'à la remise en état du sol après démolition des installations. La crise actuelle du nucléaire le rappelle sans la moindre ambiguïté.

⁵ Peut-être réapparaît-elle dans des opérations foncières réalisées, au début des années 2000, par des entreprises chinoises, au Brésil ou en Afrique.

pétrole¹. Elle est aussi susceptible de changer de nature à l'avenir et de s'étendre considérablement en raison de l'importance de l'eau pour une population croissante². Par rapport à la terre, l'atout de l'eau provient de ce qu'elle peut servir à plusieurs usages consécutifs, rapprochés dans le temps, à condition qu'aucun d'eux ne la dénature définitivement. L'exemple significatif en matière de production électrique est le pompage en heures creuses qui joue sur la différence de valeur du courant en fonction de la demande.

- Pour William S. Jevons³ le mode de vie populaire change, les goûts et les préférences d'un nombre croissant de personnes trouvent à s'exprimer, la contrainte budgétaire se fait moins réductrice et le choix s'élargit. Il renverse Ricardo, réintroduit la perception subjective des individus et établit que la valeur dépend totalement de l'utilité. Le coût de production détermine l'offre, l'offre fixe le degré final d'utilité et ce dernier détermine la valeur qui suscite la demande. Cette logique s'applique également aux débuts de l'aluminium et, à travers lui, à l'électricité : il faut d'abord baisser les coûts pour lancer une offre significative en quantité ; produire trop peu ne sert à rien, produire trop génère des stocks — quand ils peuvent exister⁴ ! L'offre débouche sur des emplois variés, aux utilités différentes pour des groupes de consommateurs différents. La notion rationnelle de substitut s'efface devant l'attrait de la nouveauté et peu à peu le consommateur devient sensible à la publicité. L'utilité conduit effectivement à la valeur et l'absence de limite du prix apparaîtra pour la première fois⁵ en raison des besoins vitaux de la Première Guerre...

- Alfred Marshall (1842-1924) prend le parti de Ricardo qui, dit-il, « trouvait les lois naturelles de la variation de l'utilité trop évidentes pour nécessiter de longues explications ». Il estime que Jevons a corrigé une erreur que Ricardo n'avait pas commise et, dans son étude de 1872 de la « *Theory* » de Jevons, il écrit avec élégance : « nous rencontrons en permanence de vieux amis habillés de neuf ». Comme annoncé, l'étude de Marshall servira de clé de voute à plusieurs reprises, et des sources complémentaires seront introduites lorsque nécessaire.

En premier, Reisman attire l'attention du lecteur sur deux points : d'abord — c'est un rappel — Marshall défend Ricardo contre Jevons et se réfère à Adam Smith pour des concepts qu'il précise ; il reste en 1890, date de la première édition des *Principes*, encore très classique dans ses sources ; ensuite, « dans un système de division du travail » toujours d'actualité, alors que la Révolution industrielle a déjà porté ses fruits, un exemple d'échange porte encore sur des « pommes contre des noix » et la question qui donne naissance à l'utilité marginale est de savoir si le consommateur « au bord du doute⁶ » désire « *a bit more* ». Ainsi, la théorie est-elle bien loin de l'économie mondialisée. Les lois qui expliquent les échanges de biens reposent encore sur des besoins de consommation immédiate et sur la satiété, perception première des rendements marginaux décroissants. Pour aller plus loin, il faudra faire appel à des économistes plus proches des modes actuels de fonctionnement et les rendements croissants attendront...

¹ Le sens de l'évolution pourrait s'inverser en raison de l'emploi grandissant de gaz naturel difficile à valoriser.

² La rivalité des emplois induirait une hausse des prix, analogue à celle connue pour l'usage domestique de l'électricité.

³ William S. Jevons (1835-1882) a publié *The Coal Question*, 1st ed. 1865, signalé en raison de l'usage encore intensif du charbon pour la production d'électricité.

⁴ Fait référence à la différence fondamentale de nature entre électricité et aluminium.

⁵ En dehors de toute spéculation, comme par exemple la célèbre crise des bulbes de tulipes de 1634 à 1637. Affirmer que cette situation est effectivement à l'origine de la grande attention portée aux prix industriels par les Américains pendant la Seconde Guerre mondiale est seulement une hypothèse plausible.

⁶ 'On the margin of doubt', in *Principles of Economics. op. cit.*

Marshall fait œuvre de pionnier lorsqu'il étudie la relation entre le revenu et l'utilité, et compare l'achat d'une grande boîte de thé par un riche et par un pauvre. Il introduit une notion de symétrie ou de réciprocité dans l'échange et non plus d'absolu, en liant les utilités de celui qui dépense et de celui qui reçoit l'argent dépensé. Reisman en déduit que l'utilité marginale s'explique par deux variables causales qu'il est dangereux de réduire à une seule : la quantité de capital à dépenser et la quantité déjà possédée du bien que le consommateur désire acquérir. Il en arrive au besoin de distinguer la nature des biens — ici, celles de l'électricité, de l'aluminium et de leurs applications qui ont bien changé dans le temps — et de « clarifier la notion de loi d'élasticité de la demande en considérant une classe de société à la fois ». Dès l'apparition de l'économie classique, la satiété semble un paramètre important, mais la variabilité de la demande n'est jamais prise en compte dans la croissance¹. Toujours dans l'équilibre relatif, Marshall met en parallèle le « par qui » et le « quoi » dans l'étude de la consommation, ce qui le conduit à la discrimination² du prix pratiquée par un monopoleur rationnel qui connaît la différence d'élasticité de la demande entre deux marchés. Il convient donc de classer les consommateurs potentiels en catégories, en fonction de leur pouvoir d'achat réel et non de leurs envies. « *It is generally the rich, who are charged the higher prices and not the relatively poor* » écrit-il³. Pour des raisons d'industrialisation d'une région ou d'un pays, une telle discrimination en matière de prix de l'électricité⁴ à leur profit, s'avère plus que jamais vitale pour les producteurs d'aluminium, même si elle est critiquable en matière de justice sociale.

ii. Deux épineuses questions : l'équilibre et les rendements croissants

Deux notions fondamentales doivent être introduites, l'équilibre et les rendements croissants, en rapport avec la croissance et la localisation de la production. Bien entendu, il n'est pas envisagé de répondre aux questions théoriques qui ont vu le succès puis le déclin des thèses marshalliennes. Il s'agit seulement de relier ces concepts à une perception de la réalité, afin de pouvoir les utiliser. Naturellement, les enseignements de Marshall viendront en premier, mais il sera nécessaire de les compléter par le point de vue de ses successeurs. L'objectif est de parvenir à une lecture positive qui contribue à la formulation simple de la croissance, jointe à l'origine et pour un temps, de l'électricité et l'aluminium.

a) L'équilibre, entre statique et dynamique

Pour Arena et Quéré⁵, Marshall a tenté de concilier équilibre et croissance en faisant appel à des phénomènes de nature différente, d'une part la mécanique classique des objets soumis à des forces, et de l'autre la biologie, lien avec le vivant qui fait encore débat aujourd'hui. Sans faire abstraction de facteurs d'évolution et de complexification qui semblent toujours avoir été à l'œuvre, il n'est possible d'exprimer qu'un point de vue rationnel et pragmatique. Une fois dépassées les « certitudes » du monde déterministe de Laplace, le domaine à l'étude constitue un sous-système économique, soumis à des forces internes et à des forces externes dans le système monde. Par construction, variables et aléatoires, ces forces sont de même nature que l'humain. Elles interagissent suivant un algorithme inconnu, en continu mouvement, impossible à concevoir dans son ensemble et donc à représenter, dans l'état actuel de nos connaissances. C'est pour cela qu'il faut impérativement

¹ Sauf peut-être par Domar dans la double nature de l'investissement, Cf. Pierre-Alain Muet, *Croissance et cycles*, *Economica*, 1993.

² Rappel : cette discrimination a été très vite appliquée par les producteurs américains d'électricité, voir supra.

³ Dans *Industry and Trade*, London Macmillan 1923.

⁴ Voir la conclusion et la partie prospective.

⁵ *Op. cit.*

réduire le nombre de variables observées, ainsi que le fait Marshall avec son hypothèse de base, *ceteris paribus* — toutes choses égales par ailleurs — qui écarte les variables dont on choisit délibérément d'ignorer les effets.

Pour une économie en développement, Marshall analyse ensemble le coût et le temps dans les *Principes* — explique Reisman — et il importe donc de ne pas les séparer. Il divise le coût en deux composantes, variable (« *prime* ») et fixe (« *supplementary* ») et, avec beaucoup de précautions oratoires, le temps en quatre périodes qui sont la durée du marché, le court terme, le long terme et le siècle.

La distinction entre les deux sortes de coûts trouve son intérêt pour l'étude de l'offre de la firme, dans différentes circonstances ou à des moments différents. Le coût variable est proportionnel à la production, il s'annule avec elle. Il comprend le coût des matières premières, des encours et des stocks, les salaires payés à l'heure ou à la tâche et enfin l'usure normale des installations ainsi que les dépenses d'entretien. Le coût fixe, indépendant de la production, est constitué des charges courantes y compris l'obsolescence liée au temps, les salaires fixes, les frais généraux, les assurances ou les risques non assurables, le fonds de réserve complémentaire, les dépenses de prospective et de protection contre l'incertain et enfin l'anticipation des pertes et des échecs qui génèrent des coûts supplémentaires. Marshall remarque que la production jointe — exemple de la laine et du mouton — entraîne une répartition arbitraire des coûts entre les produits¹. Lorsque le procédé de production est maîtrisé et stable, un tel découpage permet d'exprimer les coûts en fonction d'un nombre réduit de variables.

La division du temps est discriminante mais peu précise dans ses limites, parce que les effets du temps varient d'une manière qui échappe à la mesure. Quelle que soit l'activité, ces effets ne sont ni identiques, ni reproductibles. Par ailleurs, le découpage reste comparatif et statique. Il devient pseudo-dynamique par l'identification de stades successifs, et prévisionnel quand il explicite les choix qui s'offrent à l'entreprise. Mais le passage de l'un à l'autre stade ne fait l'objet d'aucune analyse de causalité ou de transition.

- Sur la durée du marché, la plus courte des périodes, l'élasticité du prix de l'offre est nulle, aucun ajustement des quantités n'est possible. La valeur est entièrement déterminée par la demande. Il peut exister des denrées périssables² dont il faut à un certain moment se défaire et alors leur coût de production n'entre pas en ligne de compte : le passé est le passé ! L'offre, limitée par le temps à l'espace géographique³ qu'il faut parcourir pour réapprovisionner, ne peut pas augmenter. Mais elle peut diminuer au cas où les offreurs dont le prix de réserve est défini, anticipent de futures variations de la production et intègrent présent et futur dans leur stratégie⁴. Ils sont donc acteurs — ils optimisent — au sein d'un processus fluide où les débits des produits varient et peuvent être soumis à une certaine périodicité. L'anticipation est la règle de gestion de base, la première que le cultivateur applique quand il répartit sa production à venir entre divers produits. L'unanimité dans les choix est alors peu probable puisque les tempéraments individuels comptent et, le

¹ Au début de la production, électricité et aluminium ont connu une production jointe. Par logique commerciale, tous les profits étaient reportés sur l'aluminium. Cette situation servira de référence.

² Comme l'électricité...

³ La contrainte usuelle est celle du temps de transport ; la célérité de l'électricité change la nature de la contrainte qui devient alors la perte en ligne liée à l'effet Joule : le transport à longue distance est possible mais il coûte cher !

⁴ Cela s'applique parfaitement à l'aluminium car il se stocke facilement. Le LME fournit une autre réponse, avec la possibilité de couverture à terme. Voir plus loin.

plus souvent, il en résulte une heureuse diversité des situations. En revanche, la récente valorisation des produits dits-verts, substituts de l'essence par exemple, pourrait modifier l'apparent équilibre du secteur.

- Pendant la courte période, évaluée par Marshall à quelques mois, voire un an, la quantité offerte est définie par les équipements et les procédés existants¹. La nature et la quantité des produits peut changer dans des limites définies, l'augmentation de l'offre est marginale et aléatoire, fonction des prévisions des producteurs et des hasards de la production. Le coût fixe est défini et la firme ne s'intéresse qu'à son coût variable. Si celui-ci n'est pas couvert, la firme minimise ses pertes en ne produisant rien et une trésorerie insuffisante peut entraîner un arrêt brutal de l'exploitation. En revanche, s'il est dépassé, le surplus apparaît comme « quelque chose qui s'apparente à une rente ». Mais surtout, un surplus est nécessaire — au moins en Angleterre² — comme l'écrit Marshall³ : « le vrai prix marginal de l'offre sur une courte période... est presque toujours supérieur, et le plus souvent très supérieur au prix spécial ou marginal ». Et il ajoute : « le coût fixe doit le plus souvent être couvert dans une très grande mesure à court terme » ce qui correspond bien à la perception constante des chefs d'entreprise mais affaiblit à la fois la notion de passé révolu et la séparation entre court et moyen terme. Peut-être ce flottement ou cette pseudo-continuité est-elle caractéristique de la pensée de Marshall, puisque Reisman estime que « L'économie de Marshall est l'économie de la confusion et de la continuité ». Il est possible de réduire les coûts fixes en vendant une partie du capital, d'en modifier la répartition entre produits en modifiant le *product-mix*⁴, ou encore d'accélérer une dépréciation des actifs. Ainsi, même à court terme, sur la base « de suppositions et d'alternatives » des choix précis sont à faire.
- Le long terme s'étend sur plusieurs années si bien que tous les facteurs ont le temps de varier ; des économies d'échelle sont réalisables ainsi que des entrées et sorties de compétiteurs. Une situation d'équilibre est atteinte au moment où le prix marginal de l'offre est juste suffisant pour inciter leurs détenteurs à engager des capitaux et les travailleurs de tous niveaux à s'investir physiquement dans le domaine d'échange. Sur cette longue période⁵, Marshall considère que la connaissance de la firme est parfaite, qu'elle regarde vers l'avenir et que ses anticipations se trouveront vérifiées. La part résiduelle de risque est infime, voire nulle. Peut-être la fin du XIX^e siècle se prêtait-elle encore à une telle appréciation de réussite à coup sûr. En revanche, Reisman fait remarquer, à juste titre semble-t-il, que la période d'ajustement, c'est-à-dire le passage d'un état à un autre, est la chose la plus compliquée qui soit. Par exemple, quand la demande croît, l'augmentation est-elle permanente ou temporaire ? Pour Marshall il n'y a pas de doute, la firme sait ! Shackle dit presque la même chose en forme d'encouragement : « le choix relève de la pensée parce qu'il est toujours trop tard pour choisir sur des faits ! » Effectivement la firme sait, du moins agit-elle comme si elle savait. L'incertitude ou le doute viendra beaucoup plus tard à l'idée

¹ La rapidité d'exécution d'Alcoa, poussé pendant la Seconde Guerre à accroître la production américaine d'aluminium, montre que les situations peuvent évoluer plus ou moins vite, en fonction de la nature du besoin.

² Les différences d'appréciation de cette nécessité entre pays ont conditionné leurs évolutions au XX^e siècle.

³ Traduction libre.

⁴ Dans le cas où l'entreprise module sa production de produits semi-ouvrés, ce qui est le cas de l'aluminium.

⁵ Pour Aglietta et Cohen, à l'oral, la longue période en économie correspond à la durée d'amortissement des équipements lourds soit 10 à 15 ans. Dans l'industrie de l'aluminium, réputée cyclique, le démarrage d'une production supplémentaire s'effectue idéalement pendant la période de prix élevé.

des gestionnaires, comme un risque à anticiper. Les méthodes japonaises de la qualité qui en traitent datent¹ des années 1980.

- Enfin, le siècle est une durée sur laquelle toute prévision est impossible, tout est susceptible de changer. L'équilibre partiel n'est plus qu'une vue de l'esprit. D'ailleurs à propos d'équilibre, Reisman cite Mrs Joan Robinson qui le comparait à une cinquième roue de l'économie : « Il n'a aucun contenu opérationnel. Ce n'est qu'un mot ».

La présente étude porte sur une durée d'environ cent trente ans, pour laquelle les données existent, parfois fractionnaires et éparées, mais accessibles et intangibles². La réflexion s'effectue *ex post*, non pas pour évaluer l'action passée, mais pour expliquer et représenter l'évolution. Pendant cette longue période, tout a changé, très loin de la simple extrapolation : les techniques de production, les emplois et les quantités produites, les modes de commercialisation et de transport, le nombre de pays producteurs, l'organisation des entreprises, les conditions des échanges internationaux, les modes de vie et la demande d'une population croissante en nombre et en métissage, etc. Les causes exogènes³ furent nombreuses et le plus souvent déterminantes.

Les deux Guerres Mondiales ont violemment remis en cause les idées généreuses de l'Indépendance américaine et de la Révolution française. Elles ont conforté le rôle assigné au marché. Cependant les conditions de fonctionnement de ce dernier relèvent toujours pour partie de la souveraineté des États et tous n'agissent pas de la même manière tout en se réclamant pourtant du libéralisme.

La réaction face à des préoccupations environnementales croissantes et pressantes, a complètement changé. Réglementaire et d'initiative nationale américaine dans les années 1970, l'obligation de traiter les effluents gazeux fluorés a été acceptée par les « majors » de l'aluminium, malgré son coût. Les effets indésirables étaient patents et la nécessité d'agir incontestable. La mise en œuvre d'une solution adaptée s'est étendue sur une dizaine d'années et ses résultats sur la végétation et l'élevage furent spectaculaires. Le problème est aujourd'hui réglé. L'origine des préoccupations s'est déplacée vers le dioxyde de carbone et les gaz à effet de serre. Mondiales mais diffuses, les émissions gazeuses donnent lieu à des interprétations divergentes qui autorisent la temporisation. La compétition entre les entreprises concernées, menacées dans leur existence, exacerbe les intérêts nationaux et tend à biaiser les règles de la concurrence.

Une fois les nombreuses contraintes identifiées, il semble que parler d'équilibre exprime le fait que des forces antagonistes variables étant à l'œuvre en permanence, il subsiste assez de marges de manœuvre pour que la situation apparaisse sous contrôle. Cela implique qu'il n'existe pas un point d'équilibre unique à tout instant, mais une zone à l'intérieur de laquelle il demeure des possibilités d'évolution. Il est cependant difficile de savoir si la trajectoire suivie dans la zone ne conduit pas, à terme, à un déséquilibre. En dernier ressort, en cas de situation grave, l'État⁴ peut toujours intervenir et ses vues changer de sens, pour des raisons politiques ou économiques⁵.

¹ En France.

² Malheureusement, les sources sont parfois discordantes !

³ Les causes sont dites endogènes quand elles trouvent leur origine à l'intérieur de la firme ou du secteur d'activité et exogènes dans l'autre cas.

⁴ Ainsi, en France en 1982, l'État est intervenu par des nationalisations soit pour soutenir des secteurs économiques en difficulté, soit pour des motifs politiques. L'industrie de l'aluminium a été concernée. Pechiney a été privatisée en 1995.

⁵ Kaldor voyait dans cette éventualité une caractéristique des USA. Il est aussi possible d'y voir une démonstration de leur pragmatisme dans l'application de la méthode « *Trial and Error* ».

La base matérielle de travail est l'histoire — abondée par les nombreuses recherches effectuées depuis le centenaire de 1886 — d'une branche industrielle de grande importance. Les méthodes et le but sont économiques. L'objectif visé consiste à élaborer une représentation, simplifiée par nécessité, logique, proche de la réalité, de la croissance de deux biens qui, liés par un procédé de fabrication, ont contribué à façonner le monde. Il n'est pas prévu de décrire le fonctionnement idéal d'une hypothétique entreprise représentative, pas plus que celui d'entreprises en concurrence pure et parfaite, mais les modèles de l'économie industrielle seront utilisés comme repères. Au début, il a suffi de deux brevets d'invention, concomitants et étonnamment semblables¹, mis en œuvre par quelques entreprises naissantes dans autant de pays, pour engager un processus qui deviendra mondial. Des monographies racontent en détail le passé, les succès et les difficultés rencontrés, et dépeignent les hommes qui y ont contribué. Les plus connues concernent Alcoa, Alcan et Pechiney. Le monde extérieur a beaucoup influé sur leur activité, sa perception passant souvent, au cours des dernières décennies, de l'adoration au dédain oubliés, puis aux lamentations sur l'emploi perdu. Cependant, cette lecture au premier degré ne permet pas de percevoir les mouvements en cours qui renseignent sur le futur proche et indiquent les options ouvertes. Dans les pays industrialisés de longue date, le modèle sociotechnique des années d'après guerre qui a accompagné la croissance est aujourd'hui dépassé. L'apparente continuité d'ensemble de la production mondiale résulte en grande partie d'un surcroît d'activité dans d'autres régions du monde qui ne se sentent aucune obligation, aucune dette envers les pays dont ils utilisent la meilleure technologie. Pour remplacer le modèle devenu obsolète et conserver des outils industriels dans un monde en compétition acharnée plus qu'en concurrence, il leur reste comme stratégie possible le passage, rapide et déterminé, de la production primaire au recyclage. Cependant, les habitudes et la nature des centres de décision ne se prêtent pas à un changement analogue, partout et en même temps.

b) Les rendements croissants

Dans ce domaine crucial, Marshall offre très peu d'aide au raisonnement. Les situations qu'il décrit n'ont qu'un rapport lointain avec les phénomènes observés dans une industrie dont les deux composantes principales ont été si sensibles au progrès technologique.

Au plan théorique, il convient de distinguer entre effets d'échelle et rendements factoriels, indépendamment de toute forme mathématique de représentation de la production. Les premiers renvoient au tout, les seconds aux facteurs identifiés.

D'abord les effets d'échelle croissants² : ils posent un réel problème, car leur existence aurait dû conduire à la pérennisation du monopole. En effet, quand les quantités augmentaient les coûts diminuaient, ce qui devait conférer un avantage aux entreprises en place. Des facteurs exogènes ont en réalité abouti à un effet contraire, c'est-à-dire à l'accroissement de la concurrence et à l'abaissement des barrières à l'entrée. En fait, pour rattraper leur retard, il a suffi³ aux nouveaux entrants d'acheter la meilleure technologie des années 1980-1990 ou de développer la leur, à partir des nombreuses descriptions du domaine. Les Chinois l'ont fait. La combinaison de l'amélioration des performances des équipements électriques et des rendements de l'électrolyse, du progrès technologique des matériaux isolants et réfractaires, de la mécanisation et des automatismes, et de

¹ La justice américaine fut appelée à statuer, mais la loi sur les brevets était, en matière de preuve, défavorable à Hérault qui ne résidait pas dans le pays.

² Les rendements d'échelle sont croissants quand la production est d'autant plus facile qu'elle est importante, ce qui signifie que les coûts moyens sont décroissants. Augmenter la taille permet des « économies d'échelle ». D'après le Dictionnaire de l'économie Larousse « à présent ».

³ Une fois satisfaites toutes les conditions nécessaires.

multiples effets de taille a abouti, dans les années 1930 et à nouveau dans les années 1970-1990, semble-t-il, à des rendements d'échelle croissants. Il est peu probable que les producteurs de l'époque en aient tiré le meilleur parti, car il aurait fallu pour cela investir. L'étude, dans le temps, des évolutions comparées des prix¹ de l'aluminium et d'autres métaux non ferreux le démontrerait peut-être. De son côté, Merton Peck² écrit que « de nombreuses études d'ingénierie ont montré que, jusqu'à 100 000 t/an de capacité, il existait des rendements croissants... La situation actuelle de cette industrie laisse penser que ces économies d'échelle existent bien au-delà de cette limite souvent citée dans la littérature³ ». Aujourd'hui, la situation devrait être reconsidérée et si possible précisée, c'est l'un des objectifs de l'étude.

Ensuite, le rendement factoriel⁴ du capital : toutes choses égales par ailleurs⁵, il s'évalue aisément dans le cas d'une arithmétique élémentaire. Lorsqu'une unité de production est définie par sa capacité et sa technologie, il est évident que construire une deuxième unité identique, à proximité de la première, doublera la production pour un coût égal. En revanche, si les deux unités sont rassemblées sur le même site, sous la supervision d'un encadrement unique et dans des conditions de logistique identiques, le coût direct de production sera diminué et le coût de construction donc les coûts fixes seront abaissés. Pierre Baillot⁶ a établi une formule empirique pour calculer ces derniers. Si la construction d'une unité de production vaut 100, le coût d'une unité de production de capacité double vaut 100 multiplié par 2^{0,8}, et celui d'une unité de production triple⁷ vaut 100 multiplié par 3^{0,8}. De même, les extensions d'usines qui correspondent à la situation évoquée ci-dessus mais décalée dans le temps, ont toujours été très rentables. Il n'existe pas de formule mathématique pour calculer leur coût, car chaque situation est particulière, les coûts dépendent de très nombreux facteurs. Souvent mise en œuvre, cette solution économique explique en partie l'augmentation de la production dans le temps et surtout la longue durée de l'activité sur un site donné. Le rendement des

¹ L'évolution des prix relatifs du cuivre et de l'aluminium montre de fortes différences ; elle n'a pas été approfondie. L'interprétation est délicate comme le montrera le raisonnement un peu plus loin.

² Auteur de plusieurs ouvrages sur l'industrie de l'aluminium, ancien Professeur d'économie à Yale.

³ Thomas Langton, *Investment Patterns in the United States Aluminum Industry, 1950-1977: A Historical and Empirical Analysis*, PhD Thesis Pennsylvania State Univ. 1980, cité par Merton Peck, effectue une revue de la littérature et conclut « A plant size of 100 000 tons captures most scale effect ». Il cite Charles River Associates (1977) « À en juger par des estimations des Nations Unies pour une usine américaine Söderberg dans l'intervalle de 20 000 à 100 000 tonnes par an, le minimum des coûts est atteint pour l'usine de 100 000 tonnes. Il se pourrait que des réductions supplémentaires du coût moyen résultent d'une taille encore supérieure, mais ces réductions sont estimées faibles ». Il reprend des chiffres dus à Reimers (1966) pour qui « Le coût total moyen diminue d'environ 10 % quand la capacité d'une usine passe de 20 000 à 100 000 tonnes. Cela résulte de la réduction des coûts unitaires des charges, en capital, en travail et en dépenses diverses. D'autres facteurs qui s'ajoutent aux strictes économies d'échelle, peuvent contribuer à la baisse des coûts ». Ernst et Ernst (1976), dans une étude commandée par la Bonneville Power Administration, classent les producteurs du Pacific Northwest en deux catégories, ceux qui consomment environ 9 kWh/lb et les nouvelles usines qui consomment entre 7 et 8,5 kWh/lb. « La productivité du travail est significativement plus élevée dans ces dernières : 200 tonnes par homme x an contre 150. Ce gain de productivité est attribué à une technologie plus avancée, à des effets d'échelle et à des contrats de travail plus favorables. L'analyse indique qu'il peut être difficile de faire la différence entre l'effet du changement de technologie et les simples économies d'échelle ». D'après Langton, traduction libre. Voir aussi deuxième partie a § I. IV *Échanges internationaux et géographie économique*.

⁴ Le rendement d'un facteur est sa productivité moyenne, c'est-à-dire le rapport entre la quantité produite et la quantité nécessaire de ce facteur (l'autre ou les autres restant constants).

⁵ Notamment la technologie, le prix d'achat de l'électricité, le coût de construction des bâtiments et le prix d'achat des principaux équipements. En raison des quantités mises en jeu, ces prix sont sensibles à la conjoncture locale.

⁶ Ancien Directeur des Ventes de Technologie d'Aluminium Pechiney.

⁷ Les multiplicateurs des coûts de construction correspondant aux deux hypothèses ci-dessus sont respectivement 1,74 (et non pas 2) et 2,41 (et non pas 3).

autres facteurs de production s'avère moins accessible au calcul, car technologie et main-d'œuvre sont implicitement liées au capital. En outre, il dépend de critères de dimension et de choix relatifs aux conditions de travail.

Sans doute conviendrait-il d'actualiser le legs de Marshall au plan de l'économie internationale pour analyser le comportement stratégique d'Alcoa¹ et sa restructuration. En 1981, alors que l'industrie se remettait difficilement des chocs pétroliers, Caves et Jones ont publié un livre d'économie, clair et détaillé². À partir d'un « modèle fondamental des échanges », ils analysent les perturbations générées par les échanges, font le lien entre produits et facteurs de production, et traitent en particulier des mouvements internationaux de facteurs et des entreprises multinationales. Tous ces aspects relient à la vie de l'aluminium métal. Cependant, cette voie longue n'a pas été approfondie. Les courbes de demande et d'offre, l'historique de l'élasticité de la demande ou les facteurs de construction du prix mondial de l'aluminium (au LME ou au Comex) ne sont pas assez précis et il vaut mieux rester dans le domaine de l'explication. Il a semblé plus efficace d'entrer tout de suite dans la pratique, à l'aide d'ouvrages proches du réel, choix qui privilégie le lien avec les faits et prépare à l'appréciation de l'exemple d'Alcoa.

¹ Celui d'Alcan, seul autre grand producteur mondial de longue date, diffère car il reflète beaucoup plus la politique du mineur Rio Tinto que celle d'un producteur d'aluminium autonome. Par ailleurs, sa rente électrique québécoise lui permet d'envisager plus sereinement l'avenir de sa production domestique.

² Richard Caves et Ronald Jones, *Économie internationale, I. Le Commerce*, Armand Colin, Paris, 1981 pour la traduction française et pour l'édition américaine.

iii. John K. Galbraith et l'entreprise américaine

Le mode de fonctionnement des grandes entreprises industrielles¹ aux États-Unis, là où il a été conçu et expérimenté, là où il a évolué avec succès mais non sans controverses, doit être connu dans son contexte pour comprendre l'histoire d'Alcoa qui fut l'unique producteur américain d'aluminium pendant toute la première moitié du siècle. Alcoa² a dominé l'industrie mondiale de l'aluminium et, après l'avoir propulsée à des sommets, la domine encore par son autonomie et sa réactivité. Longtemps, elle a servi de référence aux autres producteurs. Les nombreuses informations institutionnelles disponibles permettent de faire à son sujet le pont entre théorie économique et pratique industrielle, sans en faire pour autant l'objet d'une étude de cas. L'occasion de prendre la mesure du pragmatisme américain³ pendant cette période très turbulente qui va jusqu'aux années 1950 ne peut pas être manquée — voir 2^e partie § 1. II. v. Depuis 1980, l'environnement de l'entreprise a changé du tout au tout, Alcoa s'est adaptée et continue sa route. Cette route mérite aussi d'être mise en lumière.

Des professeurs célèbres en leur temps, comme Adolf Berle et Gardiner Means⁴ (1932) ou plus récemment Harvey Leibenstein⁵ (1966), ont décrit l'évolution de l'économie, en insistant sur des aspects particuliers. Quelques remarques renverront à leurs écrits. Sortant du strict cadre universitaire, le tableau global dressé en 1967 par Galbraith dans *Le Nouvel état industriel*⁶ ouvre d'autres pistes qu'il est possible de relier à des faits connus, parfois explicités pour Alcoa. Outre le succès du livre et la notoriété de l'auteur, qualifié par ses collègues du titre de "The Most Famous Professor at Harvard" lorsqu'il prit sa retraite en 1975, deux raisons de nature « technique » expliquent ce choix. D'abord, Galbraith fut responsable⁷ de la Section des Prix dans l'Administration américaine, pendant la Seconde Guerre mondiale. À ce titre, il a joué un rôle majeur, notamment en imposant un efficace contrôle des prix. Pendant cette période cruciale, il s'est confronté aux problèmes industriels nés d'une croissance nécessairement accélérée et il a pu observer le fonctionnement des plus grandes entreprises qu'il cite souvent en exemple — notamment General Motors. Dans la mesure où l'aluminium a été l'un des métaux majeurs de cette période et peut-être même, par ses emplois militaires, un élément clé de la victoire, Galbraith a nécessairement eu connaissance des caractéristiques et des contraintes de sa fabrication. Ensuite, son livre, une démonstration critique, globale et méthodologique d'expert, et non un cours académique, constitue un repère marquant de l'apogée de l'entreprise américaine et du système sociotechnique. Il décrit la situation d'ensemble et postule la cohérence de la grande industrie américaine à la fin des années

¹ « The Corporation System », invention américaine ; les plus grandes compagnies ont eu, dans les années 1930, un taux de croissance bien supérieur à la moyenne (50 % de plus d'après Thomas K. McCraw citant les chiffres de Berle et Means, *op. cit.*).

² Fondée en 1894 sous le nom de *Pittsburgh Reduction Company* pour mettre en œuvre les Brevets de Hall et décrite en {A § k}.

³ Voir plus loin la question du monopole et le long procès intenté à Alcoa par le Gouvernement américain.

⁴ Cf. l'analyse du livre *The Modern Corporation and Private Property* de A. A. Berle and G. C. Means, effectuée par H. A. Shannon, *Economica*, New Series, Vol. 1, No. 2 (May, 1934), pp. 247-250 qui traite de la question du contrôle du pouvoir dans l'entreprise et de la responsabilité, en relation avec les énormes bénéfices accumulés et l'éparpillement du capital. Il se termine par une description synthétique de la situation: "Ownership without appreciable control and control without appreciable ownership". Une analyse plus moderne et plus complète de ce livre précurseur est effectuée par Thomas K. McCraw dans *Reviews in American History*, Vol. 18, No. 4 (Déc., 1990), pp. 578-596, *op. cit.*

⁵ Micro économiste, théoricien de l'efficacité et de l'organisation de la firme.

⁶ *Le Nouvel État industriel, Essai sur le système économique américain*, par J. K. Galbraith, nrf Gallimard, 1968 (traduction française). Toutes proportions gardées, pour comparaison, en France, la même année J-J Servan-Schreiber publiait *Le Défi américain*, et en 1970 Michel Crozier *La société bloquée*.

⁷ Jusqu'en 1943 quand, contesté, il démissionna pour devenir un des directeurs de la Revue Fortune.

1960. Il s'interroge sur les fondements de la science économique du XX^e siècle et sur son éventuel caractère manipulateur. Ce n'est pas l'objet de la présente étude, mais cela éclaire certaines positions de Kaldor qui seront énoncées par la suite. Au total, il illustre des écarts majeurs entre réalité et théorie économique¹, et facilite ainsi l'élaboration du lien avec l'évolution du réel.

Un tel livre est impossible à résumer² et seules quelques citations seront commentées pour chaque thème retenu³. Avant de commencer, il faut souligner que la description n'est pas abordée et ne peut donc pas être évoquée de manière linéaire, parce qu'il existe de fait de nombreux bouclages — ou liaisons entre variables — qui renvoient aux notions de « circularité » énoncées en particulier par Mrs Robinson et qui posent problème aux mathématiciens. Par ailleurs, Galbraith invite d'emblée ses lecteurs à compléter leur lecture par l'étude du livre de Richard Caves⁴ sur le marché qui constitue une approche académique et introduit, incidemment, des remarques ou des chiffres relatifs à l'aluminium⁵. Traitant d'un sujet complémentaire et connexe à celui de Galbraith, il adopte un double point de vue, à la fois structuré par la théorie et pragmatique dans ses applications. Ainsi, il s'interroge sur la réalité de la maximisation du profit et conclut qu'elle peut servir en première approximation dans l'étude de l'industrie américaine, grandes et petites entreprises confondues. Des compléments d'analyse seront présentés dans le sous-paragraphe iv suivant.

a) La première dimension abordée par Galbraith concerne la dualité entre le marché et le *Système industriel*. Elle oppose le système, ancien et dépassé, des très nombreuses petites entreprises familiales concurrentielles et le fonctionnement, autocratique et souvent de monopole, des grandes entreprises constituées depuis les dernières décennies du XIX^e siècle, souvent sur le modèle initial des chemins de fer.

Ainsi, dès le début de ses activités, la future Alcoa s'est positionnée comme une grande entreprise à venir, par anticipation et choix stratégique, par nécessité de croître et ambition de ses fondateurs. À chaque stade du progrès, la technologie imposait la configuration des usines, leur capacité unitaire de production et leur localisation pour disposer de l'électricité nécessaire. L'entreprise croissait par la double augmentation du nombre de ses usines et de la taille de chacune d'elles. Pour l'aluminium, la croissance interne s'est produite par sauts⁶. Elle a été fortement soutenue par la diversification des

¹ En particulier la non maximisation des profits et ce qu'il appelle *the Revised Sequence* qui est traduit par l'inversion des causalités, suivant la suggestion du P^r Le Cacheux.

² Dans le cadre de ce travail bien sûr. Louis Porcher en a effectué une *Analyse critique* en 76 pages, publiée chez Hatier en 1972 dans la Collection Profil d'une œuvre.

³ Dans ce chapitre, toutes les citations entre guillemets sont de Galbraith. Le nom des thèmes est écrit en italique et correspond, dans la mesure du possible, à un paragraphe.

⁴ Richard Caves, *American Industry : Structure, Conduct, Performance*, 7th édition, Prentice Hall, 1992. La première édition date de 1964 et les concepts avaient été formulés bien plus tôt. Voir 2^e partie § 1. II. iv.

⁵ Ainsi, aussitôt après la définition d'une industrie (p. 6), comme « fournisseur du marché pour un type particulier de produit », se trouve cet intéressant passage : « Par exemple, [aux USA] avant la Seconde Guerre mondiale, l'industrie de l'aluminium était composée de Aluminum Company of America [Alcoa], l'unique producteur de lingots d'aluminium des États-Unis. Les taxes à l'entrée protégeaient contre presque toutes les importations et les autres métaux n'étaient pas des substituts acceptables de l'aluminium. Sur le marché, les acheteurs d'aluminium non substituable trouvaient qu'Alcoa était « l'industrie » qui le leur procurait. La description de ce marché et de cette industrie ne posait aucun problème. »

⁶ C'est à ce type de croissance interne du monopole, facile à évaluer parce qu'elle passe par l'augmentation du nombre de ses établissements, et sans doute afin de pouvoir en contrôler les excès, qu'a succédé la notion d'indice de concentration que Caves présente comme étant le moyen d'évaluer, par le nombre et la taille des firmes, la structure d'une industrie. L'indice Herfindahl-Hirschman est utilisé depuis 1982 par le Département américain de la Justice pour apprécier les risques de position dominante résultant d'une fusion d'entreprises. En 1982, on recensait 15 compagnies de production d'aluminium primaire et les 8 plus importantes effectuaient 88 % des expéditions (en valeur). Source Caves et *the U.S. Bureau of the Census* (1986).

techniques de transformation, jusqu'à la création d'une très grande entreprise verticalement intégrée.

Pendant les années de rédaction de son livre, une dizaine précise l'auteur, « loin d'être la force dominante de l'économie, le marché s'adaptait de plus en plus aux exigences et aux commodités des organisations industrielles ». Le pouvoir des grandes entreprises augmentait. En revanche — toujours dans le domaine étudié bien sûr¹ — il semble que cette situation se soit inversée à la fin des années 1970, peut-être à l'époque de l'introduction de l'aluminium à la Bourse des métaux Londres, que celle-ci en soit la cause ou la conséquence. Aidé par des circonstances² favorables, le marché a alors repris la main pour ne plus la lâcher. Dans les années qui ont suivi, les grands producteurs traditionnels³ en ont tenu compte en rachetant des concurrents, ou bien ils l'ont appris à leurs dépens en se faisant racheter — pour mémoire, Alcoa a racheté Alumax en 1998 et Reynolds en 2000 ; en 2003, Alcan a racheté Pechiney avant de se faire racheter par Rio Tinto en 2007. Progressivement, la vieille structure d'intégration verticale qui n'avait plus la même raison d'être a été défaite. Caves en propose l'explication suivante, reprise ici sous forme brève et donc sujette à caution, à savoir que la déconnexion entre l'offre et la demande qui a rendu sa place au marché pourrait être due à « l'oubli » du consommateur par les producteurs d'aluminium⁴ au profit de leurs ambitions de croissance, celles-ci étant mesurées par leurs capacités respectives de production. C'est peut-être en réaction que l'usage, autrefois fréquent, du classement des plus grands producteurs mondiaux suivant le critère des tonnes produites, a disparu. Il est aujourd'hui uniquement question du classement par pays et surtout du premier d'entre eux, la Chine !

b) La description du *Changement* de la vie industrielle, observé pendant la première moitié du XX^e siècle, correspond dans ses grandes lignes et sans surprise à l'évolution d'Alcoa⁵ : la technologie est de plus en plus élaborée et complexe, la machine remplace l'homme⁶ et les propriétaires d'autrefois — ou dirigeants et actionnaires importants — très visibles comme le banquier Andrew Mellon et l'industriel Arthur Vining Davies ont pour successeurs, après des décennies d'exercice du pouvoir, des personnages certes aussi importants mais beaucoup moins connus du grand public. La collégialité des prises de décision et la dilution du capital par les successions ont réduit leur pouvoir. La technicité des matériels et la rigidité des procédures opératoires, toutes deux imposées par les risques de perte de contrôle du procédé, exigent une main-d'œuvre plus qualifiée, alors que l'allongement des cycles de production — sur l'exemple de l'automobile⁷ — favorise l'organisation verticale et compartimentée des très grandes entreprises. La *planification* apparaît comme le moyen incontournable pour fiabiliser les opérations et minimiser les risques générés par le marché, en dépit

¹ Même si cela n'est pas précisé à chaque fois, il va de soi que les affirmations — ou hypothèses — ne concernent que l'industrie de l'aluminium. Leur extension n'est pas pour autant impossible, simplement elle n'est pas envisagée.

² Quelques-unes seront identifiées, en particulier dans le sous-paragraphe consacré à la finance internationale.

³ En l'occurrence il s'agit d'Alcoa et d'Alcan qui, en une vingtaine d'années, ont multiplié les acquisitions de compétiteurs et désinvesti certains domaines, modifiant drastiquement leur organisation et la répartition géographique de leurs activités.

⁴ Une étude interne de la situation stratégique de Pechiney par Jacques Lesourne et Pierre-Noël Giraud dans les années 1985 conforte cette hypothèse. A titre d'exemple, ses conclusions seront évoquées plus loin.

⁵ Et aussi, grosso modo, des autres producteurs de longue date comme Alcan, Kaiser, Alusuisse et Pechiney.

⁶ Comme dans la conquête de l'espace (1969), la capacité d'analyse du pilote est remplacée par la machine. Cette orientation a été confirmée par la régularité des bons résultats dans le temps.

⁷ Pour les mêmes raisons mais dans d'autres circonstances, l'industrie de l'aluminium suivra la même voie. En l'occurrence il faut en amont se prémunir contre le risque d'une rupture d'approvisionnement ou d'une augmentation des prix imposée par les pays producteurs des matières premières de base (bauxite ou alumine) et, en aval, garder le contrôle sur la transformation du produit pour en développer les usages.

de la connotation très négative du terme, revendiqué au même moment par l'organisation communiste : « nous trouvons, en effet, autour de nous, au lieu de celle-ci [la loi du marché] un système économique qui... consiste pour une large part en une économie planifiée ». De plus, et c'est un tournant capital, l'accroissement du niveau de vie et du confort augmente la part de choix des individus et rend, en conséquence, la population plus sensible à l'attrait de la nouveauté. Les actions de promotion et d'accompagnement des ventes rencontrent un plein succès¹. Il devient possible d'orienter la demande du consommateur voire de « façonner la société » : « la grande organisation productrice... tend à contrôler les marchés qu'elle est supposée servir et, à travers eux, à assujettir le consommateur aux besoins qui sont les siens ». Pour sa part, l'État contribue à réguler globalement la consommation et l'épargne par une politique fiscale adaptée, son rôle s'est accru. Depuis Keynes, il intervient dans l'économie et, de fait, les vingt années qui suivirent la Seconde Guerre mondiale ont été exonérées de crises. Parfois, il se trouve associé, dès le stade de la recherche², au financement des grands projets qui comportent des risques importants (conquête spatiale, industrie nucléaire ou aviation de combat) ou des enjeux politiques (« prestige » aux USA notamment dans la compétition avec l'URSS, ou « soutien d'industries vitales »). Au plan de la société, « l'abondance accroît la nécessité d'une... stabilisation [de la demande globale] », et « ... elle [la grande organisation productrice] influence profondément ses valeurs et ses croyances... ce sont les impératifs de la technologie et de l'organisation qui déterminent la forme de la société économique ». Et encore « Subordonner les croyances de nos contemporains aux exigences et aux commodités de l'industrie s'accorde mal avec la plus haute idée que nous nous faisons de l'homme... nous devenons, dans nos pensées et nos actes, les serviteurs de la machine que nous avons créée pour nous servir. » Galbraith ajoute ce qui apparaît prophétique encore aujourd'hui : « Notre méthode actuelle qui consiste à faire aveuglément crédit à la technologie avancée, est excessivement dangereuse : elle pourrait nous coûter l'existence ! »

c) Dès ses débuts, l'industrie de l'aluminium a fondé son avenir sur *la Technologie* pour baisser ses coûts, dans une Société qui croyait déjà au progrès sous toutes ses formes. Pour analyser et comprendre le rôle de cette technologie, il est possible de reprendre les différentes caractéristiques identifiées par Galbraith. Plus adaptées à la situation de l'automobile et à l'époque, il ne semble cependant pas qu'elles aient beaucoup changé depuis. Ainsi, le progrès technologique :

1. Augmente le délai entre le commencement et la fin du processus de production — les études³ concernent davantage de disciplines et durent plus longtemps ;
2. Accroît fortement le besoin en capital — les installations sont plus complexes, mécanisées puis automatisées ; la combinaison des points a) et b) « oblige à anticiper sur les besoins des consommateurs », car les erreurs de stratégie coûtent cher ;

¹ La vogue de l'aluminium jusque dans la mode féminine, dans les années 1960, en est une illustration.

² L'exemple français souligne combien ce point a été important pour l'industrie de l'aluminium où le financement par l'État était exclu d'emblée. La recherche métallurgique a commencé dès le début du XX^e siècle afin de créer des produits et des marchés. Ainsi sont nés, « gratuitement » ou financés par l'exploitation, les alliages et leurs applications. Pour l'électrolyse, les améliorations des cinquante premières années ont eu lieu en usine, elles ont été financées sur le coût de revient ou sur des budgets d'essai. Quand les difficultés sont devenues trop théoriques (électrolyse, champs magnétiques, carbone, régulation, etc.), il a fallu choisir entre recherche interne et achat de technologie. Peu de producteurs ont fait le choix de la recherche interne, Pechiney l'a fait par la création d'un Laboratoire de Recherches des Fabrications (en 1959), pas Alcoa ou du moins pas de la même manière. Quand le coût récurrent de cette recherche est devenu trop important, dans les années 1980, Pechiney a couramment vendu sa meilleure technologie pour aboutir à un financement compatible avec les exigences des gestionnaires. On mesure bien, après-coup, au vu de tous les changements de l'époque, les risques d'une telle option dont la pratique s'est pourtant généralisée depuis.

³ Études d'impact ou environnementales, par exemple.

3. Apporte de la rigidité en matière de délais, de dépenses et de connaissances — l'optimum est plus « pointu » ;
4. Nécessite le recours à une main-d'œuvre spécialisée dans plusieurs domaines et à la planification ;
5. Exige des connaissances approfondies dans des domaines étroits plus que du talent ou de l'envergure individuelle ;
6. Aboutit à une spécialisation des collaborateurs au sein de l'organisation et leur coordination passe par des compétences particulières — le management ;
7. Coûte de plus en plus cher en recherches qui doivent être financées par la création et la conquête de nouveaux marchés ; celles-ci requièrent une programmation qui va jusqu'à la planification, induisent le souci de l'urgence et de l'exactitude¹, mais aussi celui de la rentabilité à court terme.

Cependant les choses ne sont pas univoques, la technologie constitue aussi une réponse au changement par la « multiplication des possibilités d'emploi du capital », résultat de la spécialisation et de l'organisation des moyens matériels et humains. « Les grandes entreprises privilégient globalement la technologie, elles ne favorisent pas spécialement les profits² » : faut-il voir dans ce constat de Galbraith l'annonce, prémonitoire encore une fois, de l'évolution des décennies suivantes à la recherche d'une structure générant davantage de profits ? Dans les années 2000, le secteur de la finance aura recours à des produits de très haute technicité et le secteur industriel redonnera une place privilégiée aux matières premières, devenues des avatars de produits financiers.

d) Dans le livre toujours, la notion de *Planification* est associée à la *Formation du capital*. Ici, le capital sera traité spécifiquement en 2^e partie § 2. I. Mais le lien indique que la planification était alors au service de l'objectif premier de l'entreprise, l'accroissement de son capital³, afin d'assurer sa survie et son autonomie dans la compétition boursière. La planification, outil de la grande entreprise pour maîtriser les risques induits par le marché, n'est toutefois pas antinomique de la liberté et de la hardiesse qui ont fait jadis le succès de l'économie américaine. Cependant, l'affirmation de son importance crée « un lien instinctif... [avec] le conditionnement des comportements individuels » et pourrait un jour générer des problèmes liés à la demande du consommateur ou à la qualification de la main-d'œuvre disponible⁴. Vivant dans la crainte de pertes financières, la firme ne peut plus s'en remettre en totalité aux réactions spontanées du consommateur. Elle doit exercer son contrôle aussi bien sur ce qu'elle vend que sur ce qu'elle achète, elle substitue sa planification au marché. De cette façon, elle prévoit sa production future et ses coûts de fabrication, elle anticipe ses besoins et gère

¹ En Amérique du Nord ce souci était très prégnant, au quotidien, dans le management des années 1980. Caves en donne sa version, page 7, dont une traduction peut être : « un exemple illustre bien la concurrence entre industries. Les aciéristes annoncèrent, applicable au 1^{er} février 1976, une hausse de 8 % du prix du fer-blanc [la tôle galvanisée], le concurrent de l'aluminium pour les boîtes boisson. Aussitôt les producteurs de boîtes passèrent massivement à l'al. Les aciéristes sont alors revenus sur leur augmentation et ont même accordé des rabais sur les prix anciens. Il est probable qu'ils aient fait une erreur de stratégie, anticipant une tout autre réaction des producteurs d'aluminium ». Il faut dire qu'à l'époque, la concurrence pour les parts de marché d'un nouveau produit faisait rage : le Brevet Reynolds d'ouverture rapide et sûre d'un couvercle en aluminium date précisément de... 1976 !

² Le changement de discours par rapport à Marshall est flagrant. Le sujet a fait l'objet de longs débats et les grandes entreprises ont gagné beaucoup d'argent entre les deux Guerres.

³ Et non pas la maximisation du profit, même si l'un dépend de l'autre.

⁴ Kaldor développera ces arguments en 1983, lors de Conférences à l'université de Yale. Par ailleurs, grâce au recul du temps, on sait que la consommation d'aluminium dans les pays développés a diminué, alors qu'elle n'a été ni planifiée, ni formulée, mais subie par les producteurs.

ses stocks de matières premières. Cela conditionne sa stratégie de croissance et d'intégration verticale, elle « prend le contrôle de sa source de ravitaillement ou de son débouché... Ainsi le gigantisme des entreprises et le petit nombre des concurrents conduisent-ils à la régulation du marché¹ ». Pour aller contre cette orientation et restaurer la petite entreprise, « il faudrait... rejeter la technologie que l'on nous apprend à célébrer dès que nous nous éveillons à la conscience », mais alors « il ne faut plus songer au transport supersonique, ni à l'exploration de la lune, ni vouloir beaucoup d'automobiles. Nous en arrivons ainsi à notre seconde conclusion qui est que l'ennemi du marché n'est pas l'idéologie, mais l'ingénieur. » Et Galbraith persiste : « les ennemis ne sont pas les socialistes, ce sont les technologies avancées avec leurs conséquences inéluctables, la spécialisation des hommes et des processus de fabrication, et l'accroissement concomitant des investissements et des délais de gestation industrielle. »

Une telle charge de portée générale surprend et fait penser à la formule plus récente de Hans Jonas². La relation absolue affirmée entre technologie, financement d'une partie de la recherche par l'État et dérapage assuré de la croissance paraît résulter d'une responsabilité collective. Le pétrole, l'acier, le chemin de fer et... l'aluminium se sont développés, verticalement ou horizontalement, sans l'aide directe de l'État³. Il est cependant avéré que, pour assurer leur croissance, les producteurs ont su bénéficier de sa protection et d'une tolérance bien dosée de leurs situations respectives de monopole. Par ailleurs, il est vraisemblable que la notion d'inversion des causalités (*the Revised Sequence*) qui découle de la planification — ou la justifie — est adaptée à la situation des producteurs d'aluminium et qu'elle a pu contribuer, comme le suggère Caves, à leurs déboires des années 1980. En effet, les producteurs ont construit des usines en fondant leurs décisions sur une espérance de rentabilité⁴ plus que sur des projections de croissance de la demande, si bien qu'ils n'ont pas perçu assez vite son ralentissement ou n'ont pas été en mesure de s'adapter à un choc⁵. À l'époque, une technologie plus performante et des contrats d'électricité très favorables ont permis aux usines neuves de nouveaux producteurs, de bénéficier de coûts de production faibles qui ont ensuite servi de justification à la disparition des usines anciennes, devenues non rentables lorsque le prix du produit a baissé. La localisation des sources de courant peu cher — toujours éphémères en raison de leur origine⁶ opportuniste — et la baisse des coûts du fret ont bouleversé la géographie de la production. Les conséquences sociales ont longtemps été masquées par la globalisation et le pouvoir croissant du capital. Elles sont visibles sur l'emploi et sur le rôle des syndicats. Ces derniers avaient naguère, aux États-Unis, le droit de négocier à date fixe le renouvellement de leurs Conventions Collectives pour obtenir des avantages salariaux en échange d'un renoncement à la grève. Aujourd'hui, l'initiative appartient entièrement aux directions qui répondent aux baisses de

¹ Cf. Galbraith p. 41. On est bien à l'opposé du marché concurrentiel.

² « Agis de façon que les effets de ton action soient compatibles avec la permanence d'une vie authentiquement humaine sur terre. » Hans Jonas, *Le Principe Responsabilité*, 1979, trad. Jean Greisch, Paris, Flammarion, « Champs », 1990.

³ À l'exception des périodes de guerre, approximation qui n'est peut-être pas très correcte au vu de leur importance, en particulier aux États-Unis...

⁴ La localisation était avant tout choisie en fonction de conditions favorables, aux deux plans de l'électricité et de la constitution du capital. Les perspectives de croissance de la consommation et l'estimation du cycle de prix donnaient le signal de départ du projet de construction. Il est arrivé que deux producteurs travaillent sur des projets similaires et le premier décidé a emporté la mise.

⁵ Le fonctionnement de type concurrentiel ne favorisait plus sa prise en compte, alors que la phase de croissance avait été organisée par les Cartels. Dans les années 1990, il y a eu « l'affaire » du métal russe qui a déferlé sur l'Europe. L'attaque, tant sur les prix que sur les quantités, a été très difficile à esquiver.

⁶ Par exemple, dans les pays du Golfe on parle de *Stranded energy*. Le Robert et Collins donne une traduction de *to leave stranded* : laisser en rade...

cours des actions par des plans sociaux, des réductions d'effectifs ou des fermetures d'usines. L'arbitrage se fait maintenant entre la direction et les gérants de portefeuille.

e) À l'évidence, le *Système industriel* est caractérisé par une abondance de biens capitaux et l'économie moderne satisfait les besoins grâce à son aptitude à fournir des capitaux¹. Mais, et ce point fondamental rejoint le point précédent, la planification appliquée aux capitaux ou à l'épargne ne dispose, à la différence du marché, d'aucun mécanisme interne susceptible d'adapter l'offre à la demande. L'individu consomme, incité à le faire par le « plaidoyer incessant en faveur des avantages de la consommation ». Consommant, il épargne peu et « se met au service » du système industriel. De son côté, la grande entreprise engrange des bénéfices considérables qu'elle tend à épargner, afin de se libérer du contrôle des banques — donc du marché de l'argent — et de pouvoir investir à son gré. La répartition de l'épargne globale entre salaires et capital est spécifique à chaque pays et il faut rappeler l'importance fondamentale, pour une activité industrielle, d'être profitable². Et Galbraith de souligner que — à son époque encore — grâce à leurs bénéfices considérables, quelques centaines de grandes entreprises contrôlaient l'usage d'une part importante de l'épargne américaine. Cela lui semblait justifié car « dans la formation du capital comme en bien d'autres phénomènes, les impératifs de l'industrialisation leur imposent une convergence puissante ». Dans l'industrie étudiée, à la place de convergence, il semblerait préférable de parler de cohérence — temporaire — entre les rythmes de croissance de l'aluminium et de l'électricité. Servant des buts différents, ces derniers se sont un jour trouvés en décalage dans le temps, comme le montrent les exemples de barrages associés à une ou plusieurs usines (en Grèce, en Écosse, au Cameroun, aux USA, etc.). Le choix des consommateurs finaux d'investir dans la propriété immobilière, l'automobile ou le matériel électroménager a déjoué toute planification et, un jour, face à la hausse de la demande de la population, l'approvisionnement en électricité de l'usine d'électrolyse est devenu problématique, le prix du courant a augmenté. Plus tard, lorsqu'un certain niveau moyen d'équipement a été atteint par des populations nombreuses et croissantes, de nouveaux consommateurs ont fait leur apparition sur le marché. Disposant de budgets moindres, ils en ont changé les règles, provoquant une diminution relative de la demande d'aluminium qui a amplifié le mouvement de fermetures évoqué plus haut. Les ambitions de croissance des producteurs d'aluminium ont alors été limitées par le progressif engorgement du système financier dû à un recours excessif au crédit immobilier et ce fut la crise des années 2000.

f) Le lien entre *Capital et pouvoir* et la description de *la Technostructure* ne trouvent pas directement leur place dans ce travail, en dehors de ce qui a déjà été dit. Pourtant, une notion importante s'y introduit, celle de « nouvel agent de production » qui a succédé à la main-d'œuvre tournée vers des « techniques agricoles... immuables et simples ». Le pouvoir de décision, au sein de la grande entreprise, appartient sans équivoque au président, entouré, et Galbraith y insiste, de ses collaborateurs principaux. Les décisions doivent être collégiales. Mais aussi « ce que demandent la technologie et la planification industrielles modernes est l'association d'hommes doués de connaissances techniques, d'expériences et de capacités différentes ». Il doit exister des compétences variées, réparties de manière *ad hoc* entre tous ces « agents de production ». Le pouvoir dont chacun d'eux dispose est assez peu perceptible, vu du sommet ou de l'extérieur de l'entreprise, mais au niveau d'un atelier de production ou d'une activité d'approvisionnement, par

¹ Il semble même que ce phénomène ait enclenché le mouvement qui a permis aux pays du sud-est asiatique puis à la Chine, à l'Inde et au Brésil de se développer. Adoptant le modèle américain de développement, ils sont devenus concurrents des producteurs traditionnels d'aluminium.

² Cf. Marshall *op. cit.* et la rapide croissance américaine à la fin du XIX^e siècle.

exemple, il est crucial pour maintenir l'efficacité¹ attendue du système. Le rôle assigné à chacun et sa compétence individuelle conditionnent en définitive le résultat économique de l'entreprise, sans être toutefois accessible à une quantification ; pour des fins de gestion, celle-ci relève du domaine des ressources humaines. La direction a la responsabilité de recruter, de former et de promouvoir les agents en fonction de leurs performances et de ses propres projets². La pérennisation du progrès repose sur leur motivation et leur talent, en dehors des sauts technologiques qui sont, en général, mis en œuvre dans des installations neuves. L'erreur de jugement de l'un d'eux peut coûter cher à l'entreprise. Un progrès éphémère rapporte peu, il doit être consolidé pour durer. C'est pourquoi des outils programmables de pilotage, de plus en plus sophistiqués, ont été mis au point. Ils analysent et décident beaucoup plus vite que l'homme, ce qui permet une meilleure action correctrice. Les qualifications, les champs d'action et les qualités requises de ces agents ont augmenté dans le temps et à chaque saut technologique, ce qui explique probablement la terminologie³ peu précise utilisée par Galbraith.

g) Galbraith décrit aussi les rôles relatifs de la planification et du marché en général. Sa vision ne recouvre pas exactement la situation de l'industrie de l'aluminium de l'époque. Il est patent que ni la planification, ni le marché n'ont fonctionné comme l'égalisateur permanent de l'offre et de la demande, en quantités et en prix, et ce pour plusieurs raisons spécifiques. D'abord, les prix ont longtemps été des prix producteurs⁴, c'est-à-dire administrés par eux, avec des rabais possibles suivant les quantités achetées et la nature des relations commerciales. Ils changeaient peu souvent. Les quantités produites étaient définies en fonction d'objectifs de parts de marché à préserver. Pour réussir la croissance de l'entreprise, indissociable de la croissance du produit avant la diversification, il fallait produire et vendre au plus près de la capacité installée, en raison des coûts fixes élevés. Enfin et peut-être surtout, il existait des stocks intermédiaires, parfois très importants en volume et en valeur, que les banques ont, un certain temps, accepté en gage et qui constituaient la variable d'ajustement de l'offre. L'équilibre des quantités se faisait donc sur le moyen terme, autour d'une tendance longtemps croissante⁵.

Soit, par exemple, une situation comparable à celle d'Alcoa⁶. Depuis sa création, cette entreprise a fonctionné avec pour objectif apparent d'être la seule sur le marché américain — voire nord-américain. En procédant ainsi, ses dirigeants étaient d'une loyauté parfaite envers Hall qui voyait l'aluminium au pinacle. L'objectif informulé était de garder le contrôle total du marché tout en augmentant les quantités, équilibre difficile à maintenir ! À ses débuts, l'entreprise a perdu de l'argent, mais les actionnaires s'engageaient et un banquier — Andrew Mellon — accordait sa confiance. Ils ont renfloué les caisses. L'idée de génie a consisté à s'adosser aux ressources hydrauliques du Niagara, énormes par rapport aux besoins immédiats. Le coût de l'électricité, effectivement intégré comme le note Galbraith, était minime, ce qui a vite assuré des marges importantes, accordant du temps au producteur pour organiser le développement des produits, de

¹ Pour se référer à Leibenstein et à son X-inefficiency, et en raison d'une expérience pratique, il semble que cette efficacité se mesure assez facilement à ce niveau de détail, non pas par des petits plus ou des petits moins un peu aléatoires, mais par l'absence de gros problème.

² Galbraith note que les entreprises ne « produisent » pas ces agents. La formation continue mise en place dans les entreprises dans les années 1980 — en France en particulier — est venue combler cette lacune et faciliter les évolutions.

³ De plus les termes utilisés aux USA ne sont pas équivalents dans les faits à leur traduction française.

⁴ Cette notion sera développée plus tard.

⁵ Cf. plus haut, la description de l'industrie de l'aluminium.

⁶ Le sujet est délicat et il faut éviter toute affirmation nominative. La nécessité de la prudence peut être trouvée dans le fait qu'Alcan n'a répondu à aucune demande d'information.

leurs usages et de la technologie de fabrication. Pour évoquer l'intégration verticale, il faut rappeler que la société a disposé d'importantes réserves de bauxite sur le territoire américain¹ et aussi, à partir de la Première Guerre mondiale, d'approvisionnements en provenance de la République du Guyana, à l'époque colonie britannique. Dans ces conditions², le prix de l'aluminium a pu baisser, les quantités augmenter et les profits aussi. Cependant comme le souligne George David Smith dans son livre sur les transformations d'Alcoa³ entre 1888 et 1986, si les choses sont vite dites, elles furent autrement plus difficiles à réaliser. Le rôle majeur de la période a été joué par Arthur Vining Davis qui, premier employé de la société et collaborateur direct de Hall, devenu président, est resté 69 ans au service de l'entreprise.

h) Sans y insister ici, il faut évoquer ce que dit Galbraith des prix. Dans deux chapitres, il fustige la bienveillance des économistes envers l'oligopole, pour lui bien proche du monopole, la bête noire des parlementaires, et qui bénéficie d'une tolérance peu justifiée à ses yeux. Or la situation de l'aluminium dans le monde a été longtemps celle d'un oligopole. D'abord, deux Brevets d'invention⁴ ont permis l'existence légale de monopoles séparés par les mers. On pourrait aussi parler d'oligopoles parfaitement différenciés ou de duopole sans concurrence lorsque les transports étaient trop coûteux et les droits d'entrée suffisamment protecteurs. Après la Première Guerre, la situation internationale a été contrôlée par des ententes ou cartels à peine cachés qui définissaient les règles de partage des marchés en période de croissance. Aujourd'hui, alors que la production se déplace, le marché règne et on peut se demander ce qui est le plus efficace ou le plus juste : la roue tourne... Dans le § 1. III. de la présente partie, les ententes et l'action menée par la Justice américaine contre Alcoa seront brièvement évoquées.

Sur un plan général, Galbraith écrit⁵ : « Il y a une contradiction profonde entre la condamnation légale du monopole et son acceptation de fait sous la forme légèrement imparfaite de l'oligopole ». En première conclusion, pour réconcilier le droit et l'économie sur le sujet, il conviendrait de revoir les lois anti-trust et « d'accepter de considérer les prix dans leur rôle actuel qui est celui d'instruments de la planification industrielle privée, au service des objectifs de cette planification ». En effet, « la planification industrielle privée exige, par sa nature même, de contrôler ses prix de vente » car la variabilité de ces derniers est néfaste aux affaires. Le but de ce « contrôle » des prix, évidemment intéressé, tend « à minimiser les risques de perte »... « à maximiser la croissance de la firme ». C'est précisément ce qui s'est produit aux États-Unis pendant 50 années, quand la croissance de la firme anticipait celle de son marché.

Sur le sujet, Galbraith écrit encore : « Il faut éviter la concurrence sur les prix, avec les dangers qui s'y rattachent. Les prix doivent être suffisamment bas pour permettre de recruter une clientèle et faciliter l'expansion des ventes, et en même temps être assez élevés pour que les bénéfices suffisent à financer la croissance et satisfaire les actionnaires ». De fait, les entreprises évoluaient entre ces deux limites. La concurrence entre l'aluminium et les autres métaux était peut-être moins directe qu'on l'imagine, simplement parce que la demande dans son ensemble croissait au moins aussi vite que l'offre et que la Société tout entière voulait croire au progrès technique, une fois les crises du début du siècle oubliées et les produits phares de la Première Guerre mondiale banalisés. Galbraith

¹ En Géorgie, Alabama, Arkansas.

² Voir aussi la note sur les taxes à l'import.

³ *"From Monopoly to Competition, the Transformations of Alcoa, 1888-1986"*, George David Smith, Cambridge University Press, 1988.

⁴ Pour mémoire, ceux de Charles Hall et Paul Héroult de 1886.

⁵ *Op. cit.* Chapitre XVII, Les prix dans le système industriel (suite) page 197, sq. Des pages entières pourraient être citées.

précise : « la fixation en bonne et due forme des prix par un cartel, ou en vertu de tout autre accord applicable aux membres d'une industrie, est monnaie courante dans le monde ». Cette situation a effectivement prévalu pendant longtemps dans l'aluminium : Alcan — filiale à 100 % d'Alcoa au Canada, moins en vue que la maison mère — fixait, en premier, un prix « producteur » que les autres producteurs suivaient, gardant de faibles écarts entre eux. Les changements étaient peu fréquents, ce qui facilitait la gestion prévisionnelle des firmes de transformation.

i) Entre 1975 et 1980, l'adaptation permanente de la structure à l'évolution s'est trouvée prise à revers par une surprenante perte de pouvoir de marché¹ des grands producteurs traditionnels. Certains ont tenté de s'opposer frontalement au marché libre et à la cotation de l'aluminium au London Metal Exchange² (LME) qui s'annonçait, en vain ! L'introduction du contrat sur l'aluminium à la cote du LME eut officiellement lieu fin 1978. Alcoa a même tenté d'appliquer son prix producteur après cette date. Mais, ne parvenant pas à imposer à ses clients la forte hausse des prix du marché, elle a dû se plier à la nouvelle règle. La loi du court terme l'emportait alors sur toute autre considération, au rebours des conditions qui avaient toujours été propices à l'exercice du métier. Il est possible qu'ait résulté de cette situation, génératrice d'incertitudes et de spéculations en tout genre, la durable sous-évaluation du prix de l'aluminium par rapport aux autres métaux, et notamment le cuivre.

Dans ce domaine de la concurrence, un aspect technique peut aussi expliquer le centrage des producteurs sur l'offre. Ils devaient en effet, en raison du temps nécessaire aux études préalables et à la construction proprement dite, décider de construire les nouvelles unités de production bien en avance sur les besoins des consommateurs et... sur les concurrents. Par ailleurs, il est notoire que les capacités de production américaines ont été souvent excédentaires après la Seconde Guerre. La pression résultante s'exerçait plus à l'égard des concurrents que des consommateurs.

j) Les approches théoriques de la maximisation du profit, de la prise de décision, de la motivation des dirigeants et du management de l'entreprise se sont beaucoup développées dans les années 1970³ et ont fait l'objet de nombreuses études et publications⁴. À l'époque, les États-Unis, leur mode de vie, leur croyance dans le progrès et dans la réussite individuelle, et leurs méthodes de management triomphaient dans tous les domaines. Personne n'imaginait un changement. Pourtant, en 1982-1983, les producteurs d'aluminium ont vécu une période noire lorsque le prix du métal a baissé fortement, hors de leur contrôle. Brusquement, leur gestion s'est tendue, les coûts qui ne semblaient plus absolument indispensables comme la recherche ont été drastiquement réduits. Désormais plus aucune perte n'était acceptable dans le moindre domaine, venant d'une période proche où l'on admettait encore, avec un mouvement d'épaules, un îlot de pertes dans un océan de profits, suivant la formule consacrée. Les Américains ont réagi les premiers, très vite et très fort : l'incertain et le risque de pertes devaient être contrôlés avant toute autre considération.

¹ Yannick Marquet et Pierre Esquerre donnent la définition suivante : « ces entreprises... disposent d'un pouvoir de marché au sens où elles peuvent plus ou moins directement imposer un prix qui, peu ou prou, reflètera les coûts de production et les objectifs de marges ». Cf. *Le London Metal Exchange, Spécificités et perspectives stratégiques*, Les Éditions de l'Industrie, Paris 2001, rapport final, Ministère de l'Économie des Finances et de l'Industrie, Direction des Matières Premières et des Hydrocarbures, Observatoire des Matières Premières.

² Le sujet sera traité en B § c-l.

³ Voir par exemple : *Discretionary Expenditures and Profit Risk Management: The Galbraith-Caves Hypothesis*, Louis N. Christofides and Francis Tapon; *Reviewed work; The Quarterly Journal of Economics*, Vol. 93, No. 2 (May, 1979), pp. 303-319, Oxford University Press. Stable URL: <http://www.jstor.org/stable/1883196>

⁴ En premier il faut citer l'article précurseur de Ronald H. Coase, *The Nature of the Firm* (1937) et la suite donnée en particulier par Williamson. Plus récemment sont venus les livres à succès de Peter Drucker (1909-2005) et de bien d'autres auteurs des années 1980.

k) Après ce virage crucial, quels changements ont eu lieu ? Ils sont encore une fois nombreux et fondamentaux. D'abord, les priorités au sein de la direction générale ont changé. Toute perte financière était désormais exclue pour eux aussi car elle aurait entraîné leur éviction. Le cours de l'action en Bourse est redevenu le repère absolu car sa hausse accroît d'autant la richesse des actionnaires¹ et les fonds de pension veillaient. La maximisation, ou l'optimum, a changé de nature. Herbert A. Simon² (1959), parle de *satisficing* — or *good enough* — *behavior* et non plus d'optimisation. Une part croissante des profits³ va à la technostructure — en conservant l'expression de Galbraith. Les rémunérations des dirigeants, fixes ou variables, ont considérablement augmenté, à partir de la fin des années 1970, dans l'absolu et en pourcentage, comme pour rémunérer un risque financier accru⁴, au plan personnel comme au plan de l'entreprise. Il semble certain que les dirigeants ont pris conscience des risques encourus par eux et par leurs entreprises, et de l'augmentation résultante de leur pouvoir de négociation. Un lien peut encore être fait avec la baisse simultanée de l'influence des syndicats aux USA⁵. L'éventail des salaires s'est largement ouvert et il est apparu que la croissance pouvait être appauvrissante.

l) Le marché avait repris une place, mais laquelle⁶ ? Quand elle n'a plus réussi à financer les variations de son stock, l'entreprise a perdu la maîtrise des quantités et donc son pouvoir sur les prix. Elle devait désormais vendre au plus vite tout ce qu'elle produisait. Au-delà, les traders intervenaient, à leur profit. De plus, comme l'entreprise refusait tout risque de pertes, elle devait moduler sa production. Ont été ainsi arrêtées des unités de production, temporairement ou définitivement, soit parce que le prix du métal était trop bas par rapport à ses coûts, soit parce que les prix de l'électricité montaient. Dans les deux cas, la décision s'imposait à elle. Aujourd'hui, une fermeture est souvent définitive⁷ et son annonce s'accompagne fréquemment d'une hausse du cours de l'action. Par ailleurs, les entreprises vendent normalement au prix comptant du LME. Celle qui disposerait de représentants au sein-même du LME, là où le prix est décidé, aurait la possibilité d'accéder à des informations privilégiées par rapport aux intervenants non-producteurs ou même

¹ Même si, comme le reconnaissait Berle en 1968, dans une nouvelle édition de son livre, "les actionnaires ne peinent pas à l'ouvrage, pas plus qu'ils ne s'impliquent pour obtenir une récompense. Ils sont simplement les bénéficiaires de leur situation ». D'après McCraw, *op. cit.*

² « Il démontre que la rationalité limitée entraîne la concentration des entreprises, les fusions-acquisitions et des modes d'organisation spécifiques de la propriété (séparation du dirigeant, qui a le contrôle de l'entreprise, et des propriétaires, les actionnaires, qui gardent le pouvoir)... Les acteurs de l'entreprise coopèrent ainsi pour élargir leur champ de vision restreint et pour limiter les égoïsmes de chacun. C'est le rôle de toute organisation et ce qui explique leur existence. » Source : Alternatives Économiques, novembre 2005.

³ La question du partage du profit est fondamentale et toujours d'actualité. McCraw, notamment, estime que le fait de conserver dans l'entreprise une part importante des profits explique la réussite des entreprises américaines, allemandes et même japonaises.

⁴ « Ainsi, Frydman et Saks (2010) montrent, à partir d'une analyse sur les rémunérations des dirigeants des entreprises américaines cotées de 1936 à 2005, que si ces dernières ont été plutôt stables jusqu'à la fin des années 1975, elles ont augmenté de plus en plus rapidement par la suite ». Réf : *Comment faut-il payer les patrons ?* Commentaire sur une étude du CEPREMAP (ENS Paris) par Claire Célérier. L'explication donnée passe par la Théorie de l'Agence.

⁵ Voir les publications de Catherine Sauviat (ISSTO), sur le monde du travail aux USA.

⁶ Cette évolution sera développée, plus loin, dans un paragraphe spécifique au LME.

⁷ « Le géant mondial de l'aluminium Alcoa annonce la suppression de 13 500 emplois permanents, soit 13 % de sa main-d'œuvre, et de 1 700 postes contractuels, soit un total d'environ 15.200 emplois supprimés. Les suppressions d'emplois devraient être complétées d'ici la fin de 2009 et se traduiront, dans certains cas, par des fermetures d'usines. Outre ses activités de première fusion, Alcoa fabrique des composants en aluminium pour les industries de l'automobile ». Source: LesAffaires.com, 7 janvier 2009.

Peu de temps après : « Comme déjà annoncé, Alcoa prévoit de réduire de 531,000 tonnes, ou 12 %, la capacité de ses usines d'électrolyse pour améliorer sa position concurrentielle. » Date : 9 janvier 2012, source : http://www.alcoa.com/global/en/news/news_detail.asp?pageID=20120109006867en&newsYear=2012

aux producteurs concurrents. Par exemple, si un événement important la concerne — panne, démarrage de capacité supplémentaire, etc. — elle dispose d'une information qui la rend juge et partie¹ lors de la fixation des prix à terme. En effet, le prix du marché libre dépend², pour partie, de l'écart observé entre la production réelle et la consommation réelle. Cet écart s'évalue à partir du niveau du stock, connu de tous, avec asymétrie d'information du côté de la production... Même dans ces conditions imparfaites, le marché réussit à intégrer les informations relatives à la consommation, ce que la planification décrite par Galbraith ne savait pas faire. Enfin, c'est une banalité, le marché est devenu financier et mondial, ce qu'il n'était pas en 1967. Les rigidités à la mobilité du capital et du travail ont fondu ou sont devenues plus faciles à contourner, ce qui donne une grande importance à des différences, paramètres ou paradigmes que l'on aurait autrefois considéré comme mineurs.

m) Le lien entre la description par Galbraith des années 1960 et la situation des années 1990 se trouve dans l'analyse de Thomas K. McCraw³, *In Retrospect*, du livre de Berle et Means. Il y exprime sa propre vision de l'évolution de la grande entreprise sur la période⁴ et explicite le maillon qui manque entre les deux paragraphes précédents. Une traduction libre et résumée donne : « Au cours des années 1960, le « *Big business* » américain a bien changé. Les profits de la finance et des opérations d'arbitrage [sur les Bourses et les marchés à terme] ont commencé à l'emporter sur ceux de la production et de la distribution. Fusions, acquisitions et découpages d'entreprises sont devenus monnaie courante. La loyauté envers la structure de l'entreprise n'existe plus. Cette période décadente, à l'opposé de ce que vivait au même moment le Japon, a continué dans les années 1970 pour culminer dans les années 1980. Le vocabulaire spécifique de l'époque illustre l'apparition d'un marché du contrôle d'entreprise violent, dont les raiders sont les héros. C'est l'époque du « *Deal* » et de la célébrité de Donald Trump. Les rémunérations s'envolent et Michael Milken de Drexel Burnham amasse, pour son compte personnel, 550 millions de dollars en 1987 ! »

n) McCraw décrit aussi et illustre les idées novatrices de Berle et Means. Il développe d'abord les raisons du succès de leur livre, puis passe aux critiques qui sont venues bien plus tard. Sans revenir en arrière dans le raisonnement, il semble utile d'exposer ici les éléments principaux de son analyse. D'abord, il établit la liste des aspects de l'entreprise auxquels les auteurs des années 1930 ne se sont pas intéressés, preuve qu'ils n'étaient pas trop prégnants à l'époque. Voici ce qu'il écrit⁵ : « à lire le livre, il semblerait que la compétition entre firmes se soit déroulée dans un environnement paisible, où chaque entreprise produisait sans s'inquiéter pour sa survie ; la crise, pourtant commencée en 1929, y est à peine signalée ; les relations entre les entreprises, leur personnel ou leurs représentants et les consommateurs ne sont pas évoquées, pas plus que les relations avec l'État qui allait pourtant puissamment intervenir peu après ; l'innovation en matière de produits ou de procédés de production est passée sous silence ; l'organisation n'est évoquée ni en termes de stratégie, ni sous la forme d'une structure ; enfin, rien n'est dit de l'économie globale intégrée (« *Integrated Global Economy* ») et l'existence de systèmes capitalistes dans d'autres pays est à peine mentionnée ».

En revanche, continue McCraw, les auteurs décrivent en détail deux dimensions nouvelles, le renforcement de la concentration des entreprises⁶ et la séparation croissante entre la propriété et le

¹ L'aléa moral de la Théorie de l'Agence réapparaît ici.

² Ou dépendait. Il semble que les variables causales aient changé au cours des dernières années.

³ Voir : *Reviews in American History*, Vol. 18, N° 4 (Déc., 1990), pp. 578-596, Published by : The Johns Hopkins University Press. Stable URL: <http://www.jstor.org/stable/2703058>

⁴ Il est possible que ces éléments soient davantage développés dans son livre: *American Business, Since 1920: How it Worked*, Second Edition (The American History Series), Thomas K. McCraw, Harlan Davidson Inc. 2009.

⁵ Traduction libre.

⁶ Ils indiquent que déjà AT&T, la firme de téléphone, avait un capital de près de 5 milliards de \$, 454 000 employés et près de 570 000 actionnaires...

contrôle. Ils extrapolent la tendance au gigantisme et prédisent la disparition des contre-pouvoirs, c'est-à-dire que d'un côté les choses continuent sur leur lancée et que de l'autre elles vont s'aggraver. Cette dualité laisse place à des lectures diverses de l'avenir. La croissance des entreprises présente un intérêt majeur pour le présent travail et il est utile de noter que « le taux de croissance des grandes entreprises est 50 % plus élevé que la moyenne et 2,5 fois plus rapide que celui des petites entreprises ». Rien n'évoque une éventuelle relation entre la taille des entreprises et la recherche en matière de procédé de production ; seule une relation est établie, mais non développée, entre la taille des entreprises et la nature de leurs activités, ces dernières étant considérées comme indépendantes les unes des autres. Les limites de la concentration ne sont pas alors perçues, souligne McCraw, or ce phénomène pourrait être dû, dans certaines industries, aux limites mêmes de la technologie¹. Dans le cas de l'aluminium, la dimension capitaliste du procédé, jointe aux rendements d'échelle croissants — au moins à certaines périodes — a favorisé la grande taille des entreprises et leur petit nombre. Faut-il *a contrario* en conclure que l'existence d'une technologie dominante² très performante, ce qui était le cas de l'aluminium dans les années 1980-1990 dans les pays industrialisés³, a facilité l'augmentation du nombre des producteurs ? Aujourd'hui, ce critère n'est déjà plus prépondérant, dépassé qu'il est, à nouveau, par l'importance de l'accès à une source d'électricité peu coûteuse et sûre. En outre, la technologie n'est plus unique et de nouveaux progrès semblent possibles. Sous l'effet de la concurrence entre producteurs, elle a recommencé à avancer vers le gigantisme de l'unité élémentaire de production, la cuve⁴, afin d'abaisser le coût de l'investissement : les variables critiques demeurent les mêmes, cent ans plus tard !

Un sujet sur lequel le livre insiste beaucoup est celui du contrôle⁵ dans l'entreprise. Les bouleversements que le monde a connus ces vingt dernières années expliquent pourquoi McCraw a pu écrire, en 1990, que le livre de Berle et Means anticipait sur les difficultés de l'époque : elles existent encore ! La loyauté du management ou son sens de l'anticipation est mis en question : « le lien entre propriété et management peut différer de celui entre propriété et contrôle ». Cette observation recoupe des situations connues voire des excès, commis au plan industriel comme sur d'autres plans⁶. Elle rappelle que Schumpeter⁷ disait que la création destructrice est la force motrice du capitalisme. Puisque cette force peut se retourner contre lui, il reste à savoir par quoi la contrebalancer. La seconde moitié de l'article de McCraw ne présente pas le même intérêt pratique et il faut revenir aux économistes considérés ici comme marquants.

¹ L'exemple contraire-type est celui de l'industrie textile.

² Du fait que la technologie reconnue comme la plus performante était à vendre, les usines qui n'en étaient pas dotées, en l'absence d'un avantage concurrentiel compensant le handicap, se retrouvaient *ipso facto* condamnées à terme.

³ Dans les pays en cours d'industrialisation (Chine, Brésil et Inde) de même qu'en Russie, pays producteur de longue date, la situation était différente.

⁴ Rio Tinto Alcan a entrepris au Québec, en 2011, la construction d'une série expérimentale dite AP60 — intensité nominale 600 000 Ampères — qui devrait fonctionner à une intensité encore plus élevée.

⁵ Il diffère du management et des actionnaires. *"The more serious question is how to protect the firm as a competitive entity against exploitation by the control"*, écrit McCraw.

⁶ Il est facile de citer ici l'exemple récent du Libor.

⁷ Schumpeter, dans *Capitalisme, Socialisme et Démocratie*, estimait aussi que « le monopole est bien plus apte que la concurrence à créer les innovations... permettant, en fin de compte, l'abaissement des prix ; innover est en effet un risque qui ne sera couru que si l'on est assuré d'en tirer des profits pendant un temps suffisant ». Dans G. Abraham-Frois, *Économie politique*, ECONOMICA, 6^e édition, 1996.

iv. Richard Caves et le marché

Caves¹ distingue et décrit les trois dimensions du marché — classiques depuis Mason — structure, conduite et performance dont il relie systématiquement chaque élément à la théorie économique. Pour la présente étude, il s'agit d'une voie latérale qui sera limitée à l'essentiel, appliquant la leçon de l'auteur lui-même sur la nécessité de tester le maximum d'hypothèses dans une étude empirique. Il présente ainsi ses définitions² : « La *structure* du marché est constituée par ses caractéristiques relativement stables qui influent sur la compétition entre acheteurs et vendeurs ; son importance tient à ce qu'elle induit dans le comportement des firmes. La *conduite* du marché correspond aux pratiques des participants en matière de prix, de caractéristiques des produits et de tout ce qui influe sur les transactions ; elle relie la marche d'une entreprise à la qualité de sa performance. La *performance* du marché est l'appréciation normative portée sur l'allocation des ressources qui résulte de sa conduite ».

À l'inverse de la technostructure, plutôt rigide par fonction, l'ensemble dénommé « organisation industrielle » par l'auteur, se trouve capable de s'adapter à la variété des situations. Dans ce sens, elle assouplit et élargit la vision économique stricte, comme par exemple celle du monopole, souvent synonyme de production restreinte et de prix excessifs. Il s'agit donc bien d'un complément essentiel au livre de Galbraith. Aujourd'hui, ces mêmes dimensions devraient se retrouver, au moins en partie, dans le fonctionnement du LME, accompagnées de caractéristiques nouvelles, spécifiques et plus affûtées, puisque celui-ci constitue la forme technico-financière la plus aboutie du marché. Lorsque la comparaison sera effectuée (voir § 3.1.), la description du LME établie par Yannick Marquet et Pierre Esquerre³ servira de point d'appui.

• D'abord, en matière de marché, la notion de vendeur complète et modifie celle de producteur, en particulier dans les domaines où des importations sont possibles. Elle affaiblit la position du producteur-monopoleur, sauf s'il existe des taxes à l'importation. Pendant longtemps ce fut le cas aux États-Unis⁴ et cela motivait déjà la tentative française d'installation à Badin (Caroline du Nord) d'un barrage et d'une usine d'aluminium dès 1912⁵. Un pouvoir de marché implique un faible nombre de vendeurs⁶ et sa perte est souvent considérée dans la littérature comme la cause principale de l'introduction de l'aluminium au LME. Celui-ci a été étudié d'une manière générale au sein du secteur industriel des États-Unis, entre 1939 et 1980, par William G. Shephard⁷ qui affirme que son évolution est un phénomène commun à toute l'industrie⁸. Ses principales causes sont la

¹ *American industry: structure, conduct, performance*, Richard E. Caves, Prentice Hall, Seventh Edition, 1992.

² Traduction libre.

³ *Op. cit.*

⁴ George D. Smith (*op. cit.*) affirme que la protection tarifaire — considérée comme stratégique — était forte alors que les brevets Hall puis Bradley protégeaient Alcoa jusqu'en 1909. Elle a diminué dans le temps, mais la constitution de cartels commença dès 1906... Sterling Brubaker (Cf. 2^e partie § 1. IV.) note qu'en 1964 un taux *ad valorem* de 5,1 % s'appliquait au lingot dont le prix était de 24,5 cents/lb.

⁵ Tentative avortée à cause de la Grande Guerre ; voir la partie « Aluminium » de la présente étude.

⁶ Des informations quantitatives sont accessibles via le U. S. Census Bureau, code 331312 Primary aluminum production et 331314 Secondary smelting and alloying of aluminum, <http://www.census.gov/econ/census07/>. Elles sont cependant moins précises que celles fournies par des études spécifiques à l'industrie de l'aluminium primaire, comme par exemple celles de Mrs Plunkert dans U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries.

⁷ *The Economics of Industrial Organization*. William Shephard, Source: *The Review of Economics and Statistics*, Vol. 46, No. 2 (May, 1964), pp. 200-212; Published by: The MIT Press; Stable URL : <http://www.jstor.org/stable/1928186>

⁸ Le cas de l'aluminium est extrême. Son arrivée tardive et laborieuse a obligé les premiers producteurs à assurer eux-mêmes et dans cet ordre, le triple rôle de fabrication — depuis l'extraction du minerai — de vente et de mise en forme d'un produit répondant à chaque appel d'offre gagné. Pour exister, la structure a dû gérer aussi

concurrence internationale plus que la concurrence nationale — baisse des barrières commerciales, force croissante des autres économies industrielles — et aussi l'action des politiques publiques — lois antitrust et diminution de la réglementation protectionniste. Une possible cause intrinsèque de concurrence vient des produits substituables, mais les évolutions des prix relatifs montrent plutôt une tendance favorable à l'aluminium. Dans son cas, en dehors de l'aspect douanier déjà évoqué aucune des explications ci-dessus ne semble s'appliquer vraiment puisque le nombre de producteurs américains a déjà augmenté en 1945, sur décision du Gouvernement. Ensuite, il a fluctué au gré des événements et le nombre de producteurs étrangers, vendeurs potentiels, a augmenté à partir de 1964¹. La cause de l'évolution des mentalités des dirigeants qui se sont résignés, non sans combattre, à l'introduction, peut-être inéluctable, de l'aluminium au LME est à rechercher ailleurs.

L'intérêt économique de la notion de structure de marché réside dans le fait qu'elle influe, en particulier par le nombre de vendeurs, sur la performance sociale de l'industrie — « sa contribution au bien-être général » — suivant l'hypothèse usuelle des économistes. Les autres composantes de la structure sont « la différenciation des produits, les barrières à l'entrée de nouveaux producteurs, les coûts fixes irrécupérables² et les barrières à la sortie, la concentration des acheteurs, le taux de croissance de la demande et la concurrence des importations ». Sans aucun doute, ces éléments de la concurrence se rencontrent tous dans le monde de l'aluminium, de manière plus ou moins mesurable, et il importe de comprendre comment chacun d'eux a été modifié par l'introduction au LME. Ainsi, la pensée de Caves, respectée, sera appliquée au cas particulier étudié.

La différenciation des produits recouvre plusieurs notions évolutives. D'abord, la composition chimique, ou titre du métal, s'est améliorée dans le temps, A5³, A7, etc. Cet aspect technique a été abordé dans la première partie. La question de la marque du producteur — ou du pays de production du métal — a eu son importance pour des raisons de pureté chimique. Peu à peu, le progrès et la banalisation de la technologie ont rendu la pureté du produit assez homogène entre les producteurs pour que la marque perde sa valeur. Mais une autre différence tient depuis longtemps une grande place en matière de concurrence, c'est celle de la forme des produits. L'aluminium est vendu principalement sous forme de lingots, de fils, de billettes⁴ et de plaques qui répondent à des besoins de transformation spécifiques pour des produits particuliers. La plus-value de forme⁵ associée peut compenser un faible écart défavorable de prix du courant électrique et permettre à une usine de surmonter temporairement son handicap.

Les barrières à l'entrée ont été abaissées, d'un côté avec la vente d'une technologie performante et l'assistance technique associée, de l'autre avec la baisse généralisée des droits de douane. L'accès au capital ne pose apparemment aucun problème aux acteurs actuels du marché, mais il reste éminemment sélectif.

le marché, ce qui peut expliquer sa réticence ultérieure à le confier à d'autres. L'or pourrait être considéré comme le cas extrême opposé.

¹ Entre la France et les États-Unis, par exemple, la concurrence par l'installation sur le territoire adverse, s'est une nouvelle fois manifestée par la construction — achevée cette fois — de deux usines d'électrolyse, l'une à Ferndale (Washington State) en 1964 et l'autre à Frederick (Maryland) en 1970. L'usine de Frederick a été arrêtée en 2005 à la fin du contrat d'électricité ; un nouveau contrat aurait impliqué une forte hausse du prix du kWh.

² Traduction des *Sunk costs*, déjà rencontrés.

³ Dénominations de la Norme Française : A5 = aluminium à 99,5 %, A7 = aluminium à 99,7 %.

⁴ Certaines qualités (alliages d'aluminium) sont cotées au LME.

⁵ Un exemple classique est celui du fil de 9 mm de diamètre, produit notamment en France, pour des applications électriques.

Les barrières à la sortie portent aussi sur le capital, sur la possibilité d'un amortissement accéléré et sur la valeur résiduelle de l'ensemble des installations¹. Dans les années 1980, pour réduire le risque associé, les usines étaient souvent construites en partenariat à plusieurs. Aujourd'hui, elles sont adossées à une source de courant bien identifiée et totalement dépendantes de leur contrat de fourniture. Leur financement a en quelque sorte la garantie temporaire de l'État qui les accueille.

Pour beaucoup d'acheteurs de métal, la concentration était imposée par l'intégration des sociétés. Il en résultait une grande sécurité d'approvisionnement pour certains et, inversement, un grief des transformateurs indépendants. Dans ce domaine et depuis 1978, la sécurité d'approvisionnement n'est plus considérée comme un argument de vente. Grâce à ses stocks, le LME assure².

Enfin, la croissance de la demande a posé le problème, récurrent et général, d'une limite à l'extrapolation. Le seul moyen de détecter un ralentissement — ou une accélération — consiste à mesurer fréquemment la dérivée³ de la demande. Mais celle-ci fluctue beaucoup et l'inertie du procédé de production est grande. Il semble très difficile d'anticiper. De plus, dans un monde globalisé et pour un produit de base fongible, les échanges internationaux sont à intégrer dans la stratégie des firmes. Dans ces conditions, l'idéal — convoité — consiste à avoir le coût de revient le plus bas et à produire au maximum, quitte à conduire les concurrents à moduler leur production ou à disparaître.

• Ensuite, la conduite concerne la politique des prix, des quantités, des caractéristiques des produits, des dépenses de commercialisation et de recherche. La firme identifie ses clients, elle définit sa tactique et réagit à celle des autres pour conserver un sens à la notion de marché et un avenir à son activité. Les diverses situations envisagées par la théorie économique constituent les cas-types de la relation entre les prix et les quantités. L'histoire économique montre comment les producteurs ont fonctionné et évolué dans ces domaines. Ainsi, en matière de prix, un observateur serait tenté de croire que l'existence d'un cartel avant Guerre et ensuite d'un oligopole, a pu réduire le choix des producteurs à un différentiel crédible et soutenable avec le prix choisi par l'entreprise leader en la matière. Or, sur ce sujet, Caves expose la situation de la firme qui devant fixer son prix dans un marché oligopolistique se retrouve, au final, dans une situation de demande coudée⁴. L'hypothèse faite par chacun sur la probabilité de réaction des concurrents en situation d'oligopole, conduit à cette demande coudée qui peut aller jusqu'à la rigidité des prix. Depuis, le domaine s'est avéré propice à l'application de la théorie des jeux et de nombreux chercheurs s'y sont intéressés dont Thierry Penard⁵, dans un esprit de synthèse. Son analyse confirme l'idée que l'étude des prix recèle beaucoup de difficultés cachées et qu'il est prudent d'éviter de rentrer dans des détails qui n'influent ni sur les faits, ni sur les objectifs de la présente étude.

Il subsiste encore une question importante, celle de la clarification du lien entre l'augmentation du nombre des producteurs, la disponibilité de la technologie de pointe et l'introduction au LME. Il paraît vraisemblable que ces trois événements des années 1970 ont joué un rôle majeur — bien que non exclusif⁶ — dans l'évolution ultérieure de l'industrie de l'aluminium. En revanche, les

¹ Il n'est pas certain que ce critère soit déjà retenu dans la conception d'une nouvelle technologie. Il pourrait l'être le jour où la durée de vie d'une usine se limitera à celle de l'amortissement accéléré du capital.

² Début 2014, des questions se posent sur la livraison du métal dans le Middle-west américain. Une action en justice a été entreprise.

³ C'est la base de tout automatisme de régulation !

⁴ Cette expression de *Kinked demand* a jadis caractérisé le marché de l'aluminium.

⁵ *Collusion et comportements dynamiques en oligopole : une synthèse*, Thierry Penard, Crereg, Université de Rennes 1, 1997.

⁶ Une preuve en est que des variables communes à tous les types d'industries ont pesé sur le cours des choses.

déterminants des prix étaient de nature différente, avant et après l'introduction au LME. En particulier, Marquet et Esquerre¹ estiment que « les conditions d'existence de systèmes fortement intégrés sont très restrictives et ne dépendent pas du choix délibéré des acteurs ». Ils ajoutent que lorsque la demande est excédentaire — ce qui fut le cas jusqu'en 1960 environ² — la régulation des quantités exige « une sur-marge suffisante pour couvrir les charges d'ajustement directement supportées par les firmes ». L'enchaînement des causalités se présenterait ainsi, toujours selon les mêmes auteurs : quand la stratégie d'intégration des produits ne fonctionne plus, le rôle du marché augmente ; quand la régulation des quantités ne fonctionne plus, les mouvements de prix deviennent de plus en plus importants et ils justifient des outils de gestion du risque disponibles sur les seuls marchés à terme³.

Toujours à propos de la conduite, en matière de prix et quantités, un important et récent changement d'attitude de la part des producteurs anciens apparaît qui se traduit par un intérêt porté tant au capital qu'au produit. Depuis la fin du XX^e siècle, ils réagissent plus radicalement à la baisse du prix de l'aluminium ou à la hausse du prix du courant. Ils planifient, annoncent l'arrêt d'unités de production comme si la mobilité était devenue une condition nécessaire de survie⁴, comme si le capital était périssable. Durer n'est plus à la mode, l'éphémère règne. Quand cela semble plus profitable, en dépit du coût considérable du capital initial — probablement vite amorti de nos jours — mais aussi du coût social, ils délocalisent⁵ ! La question⁶ qui se pose est celle de l'existence d'une stratégie à long terme. Quelles sont les options ? Jouer sur une localisation plus proche des consommateurs donc plus profitable, comme autrefois ? Produire moins cher que les Chinois ? Espérer une réaction écologique à l'encontre du charbon, polluant et plus coûteux que le gaz ? Ces pistes constituent des réponses alternatives, cohérentes avec les débuts de l'activité — avantage absolu du courant hydroélectrique pour le procédé Hall-Héroult — et avec l'inquiétude créée par la puissante croissance chinoise. Mais suffiront-elles pour conserver des productions nationales qui semblent devoir rester plus coûteuses⁷ ? Le sujet est d'actualité. Il fait l'objet de conférences internationales ou de publications par des organismes de recherche⁸.

• Enfin, il faut parler de la performance du marché, non pas dans l'absolu, mais pour s'interroger sur ses possibilités d'amélioration. Cette perspective prépare et justifie l'étude des causes et des conséquences de l'introduction au LME. Caves s'intéresse au tout qu'il décompose suivant ses critères. Pour lui, l'économie procure le bien-être maximum aux citoyens, ce qui est sa finalité, si elle atteint quatre objectifs : l'efficacité pour contrebalancer la rareté, le progrès des facteurs de production, de la qualité, du nombre de produits et des techniques de production, le plein emploi

¹ *Op. cit.*

² À l'époque « tout aluminium produit était du bon aluminium », suivant l'expression familière d'un dirigeant de Pechiney. Les exigences de pureté chimique n'ont augmenté qu'à partir de 1980 et les contrats successifs du LME en sont une preuve.

³ La représentation graphique de l'évolution dans le temps des quantités produites montre que la régulation des quantités a le mieux fonctionné entre 1945 et 1970. Voir l'étude économétrique.

⁴ Sans doute l'est-elle ! Aujourd'hui, quand un pays se développe grâce à son gaz naturel, un contrat de fourniture d'électricité bon marché est contingent et éphémère. En toute logique, l'usine ne durera pas plus longtemps que lui, surtout s'il reste sans suite. Une incitation à durer consisterait à introduire des barrières à la sortie, mais pour qui et au profit de quel bénéficiaire ?

⁵ Ainsi, Alcoa investit à Ras Al Khair, en Arabie Saoudite. Le changement d'état d'esprit par rapport à l'époque où tout était fait pour faire durer les usines est considérable.

⁶ Question d'actualité s'il en est. La mobilité d'Alcoa, aux États-Unis dans une première phase et à l'étranger aujourd'hui est un modèle de réalisme. L'économie géographique fait l'objet du paragraphe B § a IV.

⁷ Surtout si l'on tient compte des taxes environnementales sur les émissions de CO₂, inhérentes au procédé, et envisageables à brève échéance.

⁸ *Resource Revolution: Tracking global commodity markets*, McKinsey Global Institute, September 2013.

des facteurs de production avec une inflation contrôlée et enfin l'équité dans la distribution du profit. L'appréciation du marché se fait ensuite, en fonction des connaissances que les économistes peuvent avoir de la performance de chaque composante. Le complément logique est d'évaluer la contribution des aspects légaux et réglementaires à l'atteinte des résultats et d'envisager les améliorations possibles. Dans le domaine étudié, les choses sont assez bien connues et la méthode s'adapte simplement. Le pragmatisme américain est à l'œuvre avec l'application concrète de la méthode « *Trial and Error* ».

À partir des années 1980, un important changement de perspective a porté sur le rôle des anticipations sur le marché des matières premières. Partant d'une situation assez prévisible d'offre et de demande qui ménageait la croissance et ses acteurs principaux, l'apparition d'intérêts spéculatifs s'est avérée susceptible de découpler les prix des considérations générales qui présidaient jusque-là à leur détermination. Dans un contexte devenu hyper concurrentiel, les prix apparaissent comme « anticipatifs au sens où ils reflètent non pas un équilibre entre la production et la consommation à l'instant présent, mais davantage l'ensemble des informations disponibles sur ces équilibres dans l'avenir¹ ». Il en résulte des risques d'anticipations erronées et des possibilités de dynamiques spéculatives à contretemps.

La base de l'efficacité de répartition² réside dans l'affectation des ressources productives là où elles s'avèrent le plus nécessaires et où elles seront le mieux rémunérées. L'industrie étudiée utilise deux principaux facteurs de production, le capital et l'électricité. Pour le premier, les choses sont claires : le capital a toujours été suffisant ; la preuve, des crises de surproduction ont eu lieu, les taux de marche oscillaient en-dessous de 0,95³, des installations pouvaient être maintenues à l'arrêt pendant des mois voire des années, aux USA⁴. La principale cause de cet état de fait a déjà été évoquée : la concurrence⁵. Pour maximiser l'efficacité du capital, il aurait fallu une planification centralisée ou un monopole mondial... La réalité, nuancée suivant les pays, peut cependant être considérée comme une bonne approximation du maximum théorique : les quantités ont considérablement augmenté dans le temps et le prix a longtemps diminué. Un taux de profit élevé a permis une forte croissance et la création d'une vaste activité de transformation dont les produits ont touché des centaines de millions de personnes. Sur ces plans, la performance a été excellente. En ce qui concerne le second facteur, l'électricité, la gestion de la ressource a été peu favorable à l'aluminium qui en a perdu le contrôle. En général, il est arrivé un moment où l'hydroélectricité ne suffisait plus à satisfaire à la demande de tous les consommateurs. La sélection a — heureusement pour les particuliers — été faite par la réduction, progressive ou brutale, des rabais accordés à l'industrie. Le développement des emplois a conduit à construire des centrales au charbon, au fuel, etc. Mais il semble que, pour des raisons environnementales, ce type de solution soit proche de son terme comme le montre le cas de l'usine de Lynemouth⁶. Pire, il ne semble pas que cette activité

¹ Marquet et Esquerre *op. cit.*

² Par opposition à l'efficacité technique, plus facile à contrôler, et à l'efficacité commerciale des actions de vente qui relève de la comparaison, au dollar près, entre le plaisir de la diversité et celui d'une quantité supplémentaire de produit.

³ Valeur que l'on peut considérer comme le maximum réaliste. Cependant cette valeur peut être ponctuellement dépassée.

⁴ Des pénuries d'électricité ont aussi entraîné des arrêts durables, dans l'ouest comme dans l'est des USA.

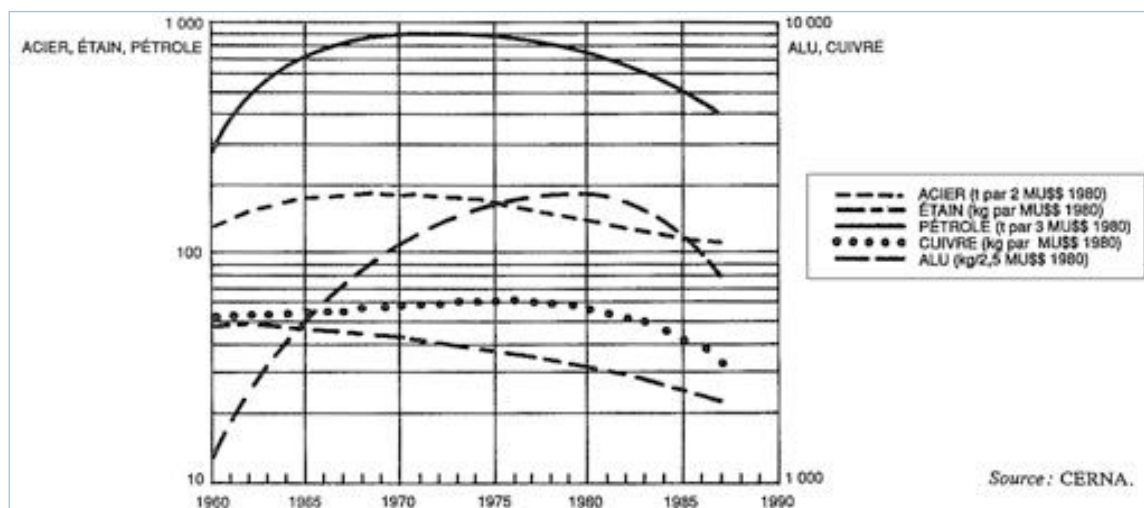
⁵ L'énorme capacité de production créée aux USA pendant la Seconde Guerre aurait peut-être nécessité une mise sous cocon temporaire de quelques usines, suivie de rachats en fonction de la croissance. Mais cela aurait fait intervenir durablement sur le marché une autorité fédérale, en plus des responsables de l'important stock stratégique (Stockpile).

⁶ L'exemple du début 2012 est l'arrêt de l'usine de Lynemouth (Northumberland, GB) de 187 000 t/an de capacité. Il résulte de l'augmentation prévisible des coûts due à l'application de nouvelles normes environnementales

puisse reprendre en Grande Bretagne. Dans tous les pays où l'origine du problème est réglementaire, la même situation prévaut. La multiplication de ces situations concordantes conduit à préconiser, partout où il est possible, le développement du recyclage. Le sujet sera abordé à la fin de l'étude.

En dehors du capital et de l'électricité, tout n'a pas bien fonctionné dans la relation entre l'entreprise et le marché, il faut le dire avec l'état d'esprit positif de Caves. Une notion, souvent utilisée en économie pour estimer le potentiel de croissance d'un produit, dans un pays, est le ratio PIB/habitant. La croissance du ratio n'implique pas une croissance égale de la consommation de tous les produits, à l'image de la situation du consommateur dont la contrainte budgétaire se relâche. Ainsi, suivant les époques, la consommation d'aluminium a cru beaucoup plus vite que le ratio, plus lentement ensuite, et elle a même commencé à décroître dans certains pays¹. Marc-Urbain Proulx² représente la consommation d'aluminium dans le monde en fonction du PIB par habitant. Le nuage de points, reproduit lui aussi en annexe, montre une forte dispersion. L'analyse par produit et par marché montre des différences d'évolution importantes. Leur prise en compte aurait sans doute permis de mieux anticiper les déséquilibres.

Tendance des intensités de consommation par rapport au PIB au Japon



L'analyse du livre de Caves s'arrête ici ; en le citant, Galbraith a fourni une référence très utile. Maintenant, leurs deux points de vue vont être rapprochés pour déboucher sur l'ensemble *structure + marché*, plus large et plus complexe.

européennes (Directive Européenne pour les installations de combustion de grande taille). Un nouvel exploitant de la centrale au charbon qui alimente l'usine est recherché. Source :

http://www.powerbase.info/index.php/Lynemouth_smelter

¹ Pierre-Noël Giraud, dans *L'économie mondiale des matières premières*, La Découverte, représente – voir ci-dessus, source CERNA – l'évolution des intensités de consommation par rapport au PIB, au Japon de 1960 à 1987, pour l'acier, l'étain, le pétrole, l'aluminium et le cuivre. Le sommet le plus plat est atteint entre 1969 et 1974 pour le pétrole et il est un peu plus pentu, vers 1970, pour l'acier. En revanche, la consommation d'aluminium est multipliée par 20 entre 1960 et 1980, puis divisée par 2,5 entre 1980 et 1987. Voir aussi la situation des États-Unis.

² Cf. : *Le redéploiement mondial dans l'industrie de l'aluminium*, Marc-Urbain Proulx, 2007, CRDT, Université du Québec à Chicoutimi.

v. Galbraith et Caves ou la technostruture et le marché

Les clés de voûte de l'industrie, le marché et l'entreprise — ou la technostruture¹ — se trouvent peu présentes aujourd'hui dans le discours économique et il est intéressant de revenir aux descriptions disponibles, toujours en vue d'une application à l'aluminium.

Pour anticiper le tournant des années 1975-1980, il faut clarifier un possible désaccord entre Galbraith et Caves. Le premier promeut la technostruture et le second le marché, deux entités complémentaires dont les objectifs peuvent ponctuellement s'opposer car elles diffèrent de nature et de fonction. Le marché, à la polysémie embarrassante, désigne d'abord l'ouverture sur le monde, le lieu où les échanges s'effectuent librement, à la satisfaction des parties. Mais, au-delà de la notion d'équilibre de l'offre et de la demande par la vertu mythique attribuée au prix, le marché désigne aussi un choix de système économique, voire le système dans son ensemble. Il lui revient alors de réaliser le progrès par la croissance, d'optimiser le bien-être grâce à la meilleure utilisation des ressources rares et de stabiliser le revenu national et l'emploi. L'ensemble des acteurs que Caves appelle organisation industrielle, correspond à l'application pratique de la théorie des prix. La technostruture représente une partie du tout qui, à la différence de l'ensemble, le marché, essaie de fonctionner le plus possible de manière autonome et performante pour satisfaire ses clients, ses dirigeants, son personnel et ses propriétaires. Or, cela a été dit, elle a tendance à travailler pour elle-même, pour sa survie. Même si la maximisation du profit ne guide pas en permanence des dirigeants qui peuvent avoir d'autres ambitions, Caves admet qu'elle peut en bonne approximation être considérée comme leur but principal. Hors de l'entreprise la dimension collective n'est pas primordiale, elle doit s'en accommoder. Quand survient, au sein de l'ensemble *structure + marché*, un différent entre acteurs, susceptible d'avoir des répercussions au niveau national, un arbitrage doit être exercé par l'autorité publique. Sinon, le marché tendra à optimiser le profit d'ensemble et la technostruture à assurer sa propre pérennité : tout fonctionnera, pour un temps ! Galbraith et Caves sont donc d'accord sur le fond. Pourtant, au cas où la situation s'aggraverait et par anticipation², il faut noter l'importance de cette possibilité d'arbitrage ou de recours qui joue par exemple en cas d'excès de pouvoir d'un côté, d'errements³ ou d'abus de l'autre. Le marché⁴, auquel incombe la fixation des prix, doit prendre en compte les besoins des entreprises dans leur activité, faute de quoi une branche productive peut s'effondrer dans une zone géographique au profit d'une autre⁵. À terme, la production d'aluminium primaire pourrait connaître un tel sort.

En introduction, le schéma de production de l'aluminium primaire a été présenté, du minerai, la bauxite, à l'alumine point de passage obligé. Le monde entier opère de la même manière. Au stade du métal primaire commence la diversité des applications, laminage, filage, étirage ou refusion et il s'est avéré difficile d'anticiper les évolutions à moyen terme de chaque spécialité dans chaque pays. Les premiers producteurs ont dû commencer à se développer dans tous les domaines, ne négligeant aucune ouverture, aucun contrat. C'était nécessaire et, comme, à l'époque, les différences de rentabilité n'étaient pas problématiques, la solidarité jouait entre les domaines. Et puis, au début des

¹ Galbraith distingue l'équipe de direction collégiale et l'ensemble des personnes qui, en raison de leurs connaissances spécialisées, même à un niveau hiérarchique relativement modeste, disposent des informations qui orientent la décision au sein de l'entreprise. Il nomme cet ensemble la technostruture.

² Voir le LME, partie 2^e partie, § 2.

³ Le cas de la difficile relation entre la Bonneville Power Administration et l'industrie de l'aluminium du Nord-ouest américain, dans les années 1980, présenté par Paul Spies a déjà été signalé.

⁴ Ou l'administration en charge de la concurrence.

⁵ Comme le démontrent certaines branches d'activité aujourd'hui. L'Économie géographique fera, plus loin, l'objet d'un paragraphe.

années 1980, le LME a pris place entre la technostructure et le marché, nouvel intermédiaire poursuivant ses propres buts. En son sein a été fixé le prix du produit, interrompant la chaîne de valeur à un niveau logique mais crucial. La structure des entreprises a été bouleversée, chaque partie disposant d'une autonomie qui n'impliquait aucunement sa rentabilité.

Schématiquement, le passé récent de l'aluminium se résume ainsi. De la Seconde Guerre jusqu'aux années 1980, les activités de production et de vente des produits¹ ont été conformes aux descriptions de Galbraith et de Caves. Leur ensemble se nommait « *structure + marché* » et les producteurs y ont longtemps joué un rôle majeur bien que décroissant. Après 1980, un autre ensemble prend les rênes : « *structure + LME + marché* », à trois composantes au lieu de deux. Le pouvoir économique et financier s'est déplacé en quasi-totalité vers le LME et l'ancien lien entre les deux autres parties semble ténu. Une forte tendance à l'augmentation de la complexité et de la spéculation apparaît, là où elles n'avaient pas leur place. Chacun joue sa partie, parfois avec difficulté, et les conséquences s'imposeront d'elles-mêmes. Les années de passage d'un ensemble à l'autre, de 1978 à 1982 environ, seront étudiées dans les paragraphes c et d de la présente partie.

L'avantage absolu de l'électricité d'origine hydraulique condamne à un rôle marginal, à terme, les producteurs d'aluminium les moins bien lotis. Ce n'est sans doute qu'une question d'années. La situation à venir sera-t-elle efficace ? Sera-t-elle acceptée par tous ? Les considérations stratégiques d'indépendance nationale pourraient-elles faire renaître l'interventionnisme industriel des États ?... Il n'est pas possible de répondre à ces questions sur le futur, mais l'alternative du recyclage paraît offrir une transition rassurante sur plusieurs années, laissant du temps pour évaluer les évolutions.

¹ Aux États-Unis et, sans doute à un moindre degré, dans les pays industrialisés qui ont adopté leur modèle.

III. L'économie industrielle autour du monopole de l'aluminium ou « how big is too big » ?

« Ever since the merger movement of the late nineteenth century, American economists have been recurrently interested in the extent to which large size is necessary for business efficiency¹. »

Joe S. Bain (1954)

« Incertitudes, risques et asymétries informationnelles caractérisent aujourd'hui la nouvelle économie. »

P. Médan et T. Warin (2000)

Le livre de Médan et Warin² dresse un panorama récent de l'économie industrielle. Les citations suivantes — entre guillemets — en sont issues, sauf indication contraire. La théorie se concentre sur l'abstraction généralisable quand l'étude empirique se focalise sur le domaine qu'elle considère. Dans le cas particulier, le travail est conforté par la référence au cas général qui illustre similitudes et différences. Ce livre commence par l'étude du monopole, point de départ naturel d'une production innovante, et traite ensuite des autres formes de concurrence imparfaite. Dans l'industrie de l'aluminium, les monopoles locaux — et les ententes internationales qui les respectaient — ont joué un rôle prépondérant pendant les premières décennies. Il faut donc connaître leurs conséquences avant de passer aux situations plus récentes. Pour éviter la monotonie, l'exposé alternera aspects théoriques et analyses pratiques.

Le modèle de marché « Structure — Conduite — Performance » dit de Harvard³, présenté plus haut à l'aide du livre de Caves, a été critiqué et remis en cause, écrivent Médan et Warin, en particulier par Schmalensee en 1982. Son caractère général, ou généralisable, a été mis en question par A. Jacquemin, mais la dimension de référence dépasse le cadre de cette étude. Avec le temps, il est apparu que les conditions d'accès au marché étaient plus importantes que la structure du marché lui-même et une orientation « comportementaliste » plus tardive a été développée, considérant que la structure peut constituer une barrière supplémentaire.

La Nouvelle Économie Industrielle (NEI) est présentée⁴ comme s'appuyant sur trois dimensions théoriques : « la théorie des coûts de transaction, la théorie des marchés contestables et la théorie des jeux ». Ces dimensions témoignent d'un profond changement de perception, elles seront évoquées rapidement. « La stratégie avait peu d'importance dans le cadre de la concurrence pure et parfaite (CPP) ; elle est au cœur des logiques industrielles dans la concurrence imparfaite ». L'industrie de l'aluminium n'a jamais fonctionné dans le cadre de la CPP, même après la Seconde Guerre mondiale. Elle s'en approche depuis une ou deux décennies, dans une économie en apparence ouverte et plus concurrentielle. Dans une vision évolutive continue comme l'est la vie d'une entreprise et non dans un illusoire équilibre statique, la question fondamentale posée au chef d'entreprise et à l'autorité de régulation des marchés — ou de la concurrence — au nom de la

¹ « Depuis l'époque des fusions de la fin du XIX^e siècle, les économistes américains se sont en permanence posé la question de la taille des entreprises en rapport avec leur efficacité ». Traduction libre.

² *Économie industrielle, Une perspective européenne*, Pierre Médan et Thierry Warin, Dunod, 2000. Ce livre est très tourné vers les situations de réseaux et de dérégulation qui prenaient beaucoup d'importance dans les années 2000. Il raisonne encore sur l'analyse marshallienne (par exemple page 11) et illustre le peu de place fait à l'industrie lourde de production dans l'enseignement de l'économie industrielle.

³ Le paradigme SCP a été développé au sein de l'université de Harvard par Edward S. Mason à partir de 1939. La continuité a été assurée par ses collègues et étudiants dont Joe S. Bain, auteur de *Industrial Organization*, Wiley, 1959.

⁴ D'après Carlton et Perloff, *Économie industrielle*, De Boeck, 1998, cité par Médan et Warin.

puissance publique d'un pays, est la détermination locale de la taille, non pas optimum mais maximum de l'industrie dominante. De plus, dans un marché mondial hyper compétitif, cette taille est susceptible de varier en fonction de la concurrence internationale. L'extrême importance de la réponse résulte de l'absence de droit à l'erreur et de l'irréversibilité de l'action, sinon en droit, du moins en pratique. Rien d'étonnant alors si l'application des textes réglementaires et les soutiens théoriques ont pu varier en fonction des circonstances — en particulier la guerre.

À l'approche économique usuelle par ensembles prédéterminés, disjoints et statiques, s'oppose la vision continue de Cournot¹ dont la logique intéresse car elle est proche de l'idée d'un système vivant en évolution. Or, pour revenir en France, l'histoire d'une grande entreprise comme Pechiney — voir par exemple la synthèse publiée par M^{me} Monique Périères² en 1955 — démontre la complexité de son évolution depuis la création de deux entreprises concurrentes à la fin du XIX^e siècle. La construction d'une centrale hydroélectrique, souvent la plus haute chute ou la plus puissante de son temps, en France où l'on aime les exploits techniques, entraînait la création, à proximité, de fabrications connexes³ pour consommer l'électricité surabondante des hautes eaux. Cela débouchait souvent sur des activités chimiques. Autour de petites ou moyennes usines d'aluminium, dans les Alpes du nord ou du sud, ou les Pyrénées, se sont créés d'une part un réseau de production, de transport et de distribution d'électricité, et d'autre part un nombre important d'entreprises électrométallurgiques ou chimiques, souvent orientées vers les matières premières nécessaires à l'électrolyse⁴. Monopole ou duopole n'impliquait aucunement un seul produit et l'effet d'entraînement a été considérable pendant un demi-siècle. La nationalisation de l'électricité des années 1946, 1947 et 1949 a irrémédiablement bouché l'horizon de cette industrie en France. Désormais, elle devait s'implanter à l'étranger. La forte croissance et la modernisation de l'industrie dans le monde se sont effectuées de manière continue, avec une vive accélération dans les années 1950-1970. Les grandes usines construites aux USA, au Cameroun, en Hollande, en Grèce, en Australie, au Canada n'ont pas partout entraîné une concentration analogue du tissu industriel, cette symbiose fructueuse. En revanche, leur taille et les effets d'échelle associés ont facilité le développement et les échanges. En parallèle, la structure de l'entreprise et son mode de management ont changé, suivant l'exemple des États-Unis. Les produits et les marchés aussi ont évolué et cela peut expliquer le besoin de recentrage qui a donné lieu en 1986 à une étude de Jacques Lesourne⁵ et *alii*.

Pour avancer, il faut passer en revue les principales composantes de l'économie de l'aluminium et ses modèles.

i. Éléments de construction de l'économie industrielle

Continuum ou pas, toute entreprise peut être située sur une « droite⁶ » qui relie, d'un côté, la concurrence pure et parfaite (CPP) et, de l'autre, le monopole, en passant par l'entreprise dominante et toutes les autres formes existantes ou possibles. C'est sur cette droite qu'il faut travailler. L'environnement de la droite et sa subdivision en « segments » sont complexes et de nombreux éléments constitutifs doivent être définis. En l'occurrence, quatorze « aspects » vont être abordés. Le

¹ *Cournot et l'économie: quelques repères*, par Jean Magnan de Bornier.

² *Une grande Compagnie industrielle française : Pechiney*, Monique Périères, In: Revue de géographie alpine, 1955, Tome 43 N°1, pp. 151-212.

³ Aluminium plus, par exemple, chlorates ou carbure de calcium.

⁴ Produits carbonés et fluorés pour l'électrolyse, soude pour fabriquer l'alumine, silicium pour les alliages, etc.

⁵ Intéressante et publique, elle sera présentée en 2^e partie § 2.

⁶ Les mots en italique et entre guillemets ne sont pas des citations. Bien sûr, il s'agit d'une image classique.

cas de l'électricité est parfois proche de celui de l'aluminium, parfois il en diffère beaucoup. Le premier exemple tiré du livre de Médan et Warin provient justement d'un Cahier d'EDF¹. Il aborde un point critique, très particulier, qui mérite commentaires.

a) Le prix de l'électricité et les contraintes

« Le véritable problème est celui de la coordination nécessaire entre les décisions de l'entreprise et celles de ses clients » est-il écrit dans ce Cahier d'EDF. Autrement dit, le client choisit de mettre en marche son lave-vaisselle, par exemple, alors qu'il pourrait attendre quelques heures. Sur son appel, l'entreprise fournit l'électricité, elle a l'obligation de le faire à tout moment. Le seul outil de communication disponible pour inciter le consommateur à différer sa décision — quand cela présente un intérêt pour l'entreprise — est sa tarification. Mais, ici, se trouve sous-entendue une notion qui fait toute la différence au plan théorique : EDF ne s'adresse pas à un client particulier pour négocier avec lui, mais à l'ensemble de ses clients qui, elle l'espère, réagiront en nombre « *suffisant* » à l'incitation du tarif dit heures creuses². Il s'agit d'une discrimination par volontariat. Il est possible³ que ce nombre dépende aussi de variables exogènes et qu'il subsiste une part d'imprécision quand EDF affirme que « le constat a posteriori... démontre l'intérêt d'une tarification basée sur les coûts marginaux ». La « démonstration » fournie semble un peu sommaire, mais elle provient d'une information grand public⁴. Une confirmation de l'approximation semble se trouver dans la méthode prévisionnelle de consommation d'électricité appliquée par EDF dans la première décennie des années 2000 et qui fait appel à des approches statistiques nouvelles. D'ailleurs, ce même Cahier d'EDF ajoute que la tarification au coût marginal est une « condition nécessaire pour atteindre un optimum » mais non suffisante et que l'entreprise doit en premier lieu s'attacher à minimiser ses coûts, ce qu'aucun entrepreneur du secteur privé ne contredira... Il semblait important de nommer ce rôle d'outil de communication que remplit le prix, dans le cas extrême où le produit ne se conserve pas.

Une autre dimension à considérer en matière de prix du courant est la concurrence entre producteurs qui résulte de la diversité des modes de production. Dans ce domaine, le discours actuel tend à valider la position de Joan Robinson, à savoir que les prix se fixent au niveau qui assure le taux de profit nécessaire pour permettre les décisions d'investissement⁵.

b) Le prix de l'aluminium et ses origines

À l'inverse de l'électricité, l'aluminium se conserve et se recycle indéfiniment. Son stockage permet de s'affranchir d'une contrainte et son prix n'a pas à être modulé. Le cycle de prix — s'il existe — s'avère beaucoup plus long⁶. Dans ces conditions, la politique de prix d'EDF est-elle applicable ? Est-il nécessaire de vendre au coût marginal pour atteindre l'optimum ? Est-ce économiquement possible⁷ ? Pour fonder une réponse sur une pratique répondant à d'autres

¹ Source : EDF, Cahier 30, DEPS, Tarification, juin 1995.

² Dans les années 1980, EDF a tenté d'obtenir de Pechiney et d'autres clients importants un effacement, au moins partiel, en heures pleines, en contrepartie d'un tarif préférentiel. Le procédé de production s'est avéré incompatible avec toute modulation.

³ La crise actuelle y incite...

⁴ Il en va tout autrement avec le livre de W. Waroquaux, *Calcul économique et électricité*, Coll. Que sais-je ? PUF, 1996.

⁵ D'après J.-P. Biasutti, dans les *Formes de la concurrence*, Cours 2007.

⁶ Dans les années 1980, aux fins de construction d'une nouvelle usine, il était estimé à 5 ou 6 ans.

⁷ Médan et Warin fournissent une réponse, p. 24 : « On sait qu'une tarification au coût marginal (optimum de premier rang) conduit toujours le monopole naturel à faire des pertes... il est possible d'envisager la tarification au coût moyen. L'optimum social n'est pas atteint, mais c'est un moindre mal... Cependant, ce type de

critères, il convient de revenir à la situation de l'aluminium dans les années 1890, comparable à celle de beaucoup d'autres produits¹ à leurs débuts, et de considérer les conditions de création de la demande pour un produit nouveau. La question, fondamentale, sera abordée de manière empirique. Pour l'aluminium à ses débuts, il existait — comme pour l'électricité — des substituts qui constituaient des points de comparaison. La compétition entre eux a duré plusieurs décennies². Sur le sujet, Wallace³ fournit de nombreuses informations relatives aux États-Unis. Ainsi, quand l'aluminium électrolytique est apparu sur le marché, en 1888-1889, l'aluminium chimique se vendait \$10/lb. Le prix du nouveau produit a alors été fixé à \$5/lb, mais cela ne permettait que d'éliminer un concurrent déjà en place sans offrir de développement au marché. En 1890, le prix est donc abaissé à \$ 2/lb pour des lots de 500 lbs qui trouvèrent difficilement preneur. En 1891, une guerre des prix avec un concurrent, Cowles⁴, porte le prix à 50 cents/lb, puis, en 1892-1893, il remonte à 75 cents/lb. Ensuite, une baisse est rendue possible par le passage à l'hydroélectricité et par l'amélioration du procédé, le prix diminue à 33 cents, par étapes. De 1899 à 1904, le prix reste inchangé. Mais, dès 1898, un prix spécial pour le câble en aluminium avait été fixé à 29 cents/lb au moment où le cuivre se vendait 14 cents/lb. Cela rendait l'aluminium compétitif pour la construction de lignes de transport d'électricité, alors en plein essor⁵.

Au cours des années suivantes, la hausse des prix des métaux concurrents, le cuivre, l'étain et le zinc, a conforté la position de l'aluminium comme le montre le tableau ci-dessous.

Prix US de métaux non ferreux 1900-1907

Année		1900	1901	1902	1903	1904	1905	1906	1907
Prix moyen Al 99 % ¢/lb		33	33	33	33	33	35	36	42
Ratio des prix	Al/Cu	2,04	2,05	2,84	2,50	2,58	2,24	1,88	2,10
	Al/Sn	1,10	1,24	1,23	1,17	1,18	1,11	0,98	1,10
	Al/Zn	7,51	8,11	6,28	6,36	6,69	6,11	5,95	7,23

Source : D. H. Wallace, *op. cit.*

L'aluminium a construit son succès sur une stratégie de baisse du coût de l'énergie et sur l'amélioration du rendement du procédé de production. La recette était bonne. La comparaison

tarification pose aussi des problèmes (asymétrie d'information, méconnaissance des coûts, partage des rentes). » On retrouve des situations déjà envisagées précédemment. L'aluminium a cessé d'être un monopole naturel depuis l'expiration des brevets d'origine... En France, sa nationalisation a été effective dans les années 1980 et virtuelle pendant les nombreuses années de contrôle des prix.

¹ La variété des situations va du prix à fixer pour le nouvel appareil d'Apple à celui de l'introduction en Bourse de l'action Facebook, pour prendre des exemples d'actualité.

² Le moment où cette compétition a cessé d'influer sur le prix relatif a pu passer inaperçu alors qu'il aurait dû s'accompagner d'un tournant de la stratégie. Voir la comparaison cuivre-aluminium sur une longue période.

³ *Market Control in the Aluminum Industry*, Donald H. Wallace, Harvard University Press, 1937.

⁴ La lutte entre les deux entreprises, pour des questions de brevet, a été féroce.

⁵ Un ratio de 2 entre les prix de l'aluminium et du cuivre est justifié par les propriétés électriques et les masses volumiques respectives des deux métaux.

pourrait être poursuivie¹, avec des enseignements sans doute différents car les récents écarts du marché surprennent (voir parties B § a IV les échanges internationaux et B § b VI les grandeurs économiques les plus influentes, les prix). En effet, le prix du cuivre a beaucoup augmenté depuis la fin des années 1930. Aujourd'hui, il vaut couramment 3 ou 4 fois plus cher que l'aluminium à poids égal. On peut supposer que, dans l'après-guerre, la concurrence entre le cuivre et l'aluminium ne portait plus sur du câble électrique — l'électrification était presque terminée — mais sur des produits beaucoup plus sophistiqués et coûteux comme les applications électroniques. Étonnamment, il n'y a pas eu d'inversion du phénomène avec l'électrification en Asie...

c) Le monopole

La théorie économique du monopole est connue, « le monopole naturel est caractérisé par des coûts moyens décroissants... » et il a intérêt à produire au maximum de sa capacité. Les circonstances de la naissance de l'industrie de l'aluminium ont déjà été énoncées, monopole naturel pendant la durée des brevets de l'électrolyse ignée² et marché protégé par des barrières à l'entrée. L'industrie s'est ensuite efforcée de mener une stratégie de pouvoir dans tous les domaines. La notion de monopole ne suffit pas à caractériser le fonctionnement de l'entreprise. Elle investit et opère suivant deux possibilités, au moins, la maximisation absolue de la production — « les tonnes » — ou bien la maximisation sous contrainte de minimisation de la consommation d'électricité qui conduit à une production légèrement inférieure³ mais économe. Dans sa croissance, le monopole, plus que toute autre firme, recherche les économies d'échelle et court le risque du surinvestissement. Médan et Warin ajoutent des développements théoriques qui n'ont pas encore été évoqués. D'abord, ils acceptent les rendements croissants qui « correspondent à l'existence d'économies d'échelle ». Ensuite ils introduisent, en relation avec la théorie des marchés contestables, les « économies d'envergure qui résultent des complémentarités existant dans la production de différents biens ou services. Alors le monopole se justifie si la fonction de coût d'un groupe de différents produits est sous-additive... » Ce type de situation a justement motivé l'intégration verticale de l'industrie de l'aluminium qui a perduré jusqu'aux années 1980, l'époque des grands bouleversements. Ni le risque d'excès d'investissement, ni la coexistence de plusieurs monopoles locaux ne sont envisagés à ce stade. Il faudra y revenir plus tard, au titre de l'incomplétude de l'information et de l'incertitude.

D'autres caractéristiques du monopole sont rappelées ci-dessous avec leurs conséquences. Le monopole est précaire, sa gestion influe sur la structure du marché. Il fixe le prix du produit pour autant qu'il conserve un pouvoir de marché qui peut lui échapper dans deux cas : soit un excès d'investissement — ou une crise exogène — fait chuter les prix et met à l'épreuve sa solidité financière, soit un profit élevé provoque l'arrivée de compétiteurs. Après la succession de sauts technologiques de l'après-guerre dont l'importance a sans doute été sous-estimée, Joan Robinson décrit parfaitement la situation de l'aluminium : « Comment la concurrence peut-elle se maintenir si chaque entreprise qui se crée vend moins cher que ses concurrents, bénéficie de plus d'économies d'échelle et par conséquent baisse ses prix jusqu'à ce qu'elle soit en situation de monopole ? »⁴. La

¹ Cf. par exemple : *The Rise of Big Business in the World Copper Industry 1870-1930*, par Christopher Schmitz, Source : *The Economic History Review, New Series*, Vol. 39, No. 3 (Aug., 1986), pp. 392-410; Published by: Wiley-Blackwell on behalf of the Economic History Society ; Stable URL: <http://www.jstor.org/stable/2596347>

² Vingt ans pour le brevet Hall, quinze pour celui de Héroult, mais divers additifs ont prolongé la situation de quelques années.

³ Il a été dit plus haut que la première des deux stratégies était pratiquée par les Américains qui voulaient des tonnes à vendre et la seconde par les Français qui manquaient d'électricité et... aiment les défis !

⁴ In « *Quelles sont les questions ?* », 1977, source française J.-P. Biasutti, *op. cit.*

fragilité d'un monopole vient donc du renouvellement de la technologie, l'industrie de l'aluminium en a fait l'expérience douloureuse. Se référant à Schumpeter, Médan et Warin le confirment : « La notion de rendements croissants va donc de pair avec la notion d'innovation ».

Avec le recul du temps, ce qui a guidé les débuts de l'entreprise, c'est que le prix élevé de l'aluminium chimique ouvrait un marché restreint et qu'il devait être fortement abaissé pour créer de nouveaux débouchés ; ensuite, jusqu'à la différenciation mise en évidence par la Première Guerre, les prix des autres métaux non ferreux ont servi de repère pour élargir la part de marché.

d) La technologie

En matière de technologie, dans le monde du capitalisme industriel où s'est développée l'industrie de l'aluminium, la référence à Schumpeter est incontournable. McCraw, l'auteur de l'analyse du livre de Berle and Means citée plus haut¹, a aussi écrit un livre sur Schumpeter qu'il cite ainsi : "Without innovations, no entrepreneurs ; without entrepreneurial achievement, no capitalist returns and no capitalist propulsion²". Un bref commentaire³ dit que Schumpeter a écrit cette synthèse lapidaire pendant la Grande Dépression. À l'époque, ce dernier ne partageait pas l'opinion de ses contemporains qui pensaient que la technologie avait atteint ses limites et le capitalisme dépassé son apogée. Au contraire, il considérait que le mouvement incessant de création est la caractéristique essentielle du capitalisme et que tout entrepreneur peut voir son produit remplacé par un meilleur produit, son activité remplacée par une autre, mieux organisée ou supportée par une meilleure stratégie. Cette évolution, technologique et/ou organisationnelle, a fait l'objet d'une théorisation dans le cadre de « la contestabilité d'un marché » qui sera bientôt étudiée ; elle s'applique bien à l'aluminium. Elle se retrouve aujourd'hui en première ligne de l'actualité, dans un cadre plus complexe en raison de la grande diversité des situations.

Il existe aussi une forme de rente — naturelle ou acquise — qui a longtemps constitué un repère dans l'étude de la production. Dans les années 1980, de façon réductrice, il était admis que les atouts étaient partagés — inégalement — entre trois grands producteurs : Alcoa avait la bauxite, Alcan l'électricité et Pechiney la technologie. Faute de capitaux⁴, l'atout technologique qui aurait pu être déterminant après les progrès des années 1980 n'a pas compensé l'accès privilégié aux matières premières. L'évolution technologique fera, dans la dernière partie, l'objet d'analyses car la relation, dans le temps, entre le progrès technique et l'investissement en capital a conditionné la croissance du XX^e siècle. Il est probable que la même conjonction se produise aujourd'hui dans d'autres domaines aussi techniques. Il n'existe de solution correctrice ni pour l'industrie de l'aluminium, ni pour l'économie des pays en cours de désindustrialisation. Pour l'aluminium, une nouvelle rupture pourrait venir de l'obligation mondiale de protection de l'environnement contre les gaz à effet de serre — notamment le CO₂. Alors, peut-être, la compétition reprendra à la base, avec de nouveaux paradigmes, peut-être aussi avec de nouvelles techniques. Elle nécessitera de nouveaux investissements par les entreprises qui en auront les moyens et, bien entendu, dans les pays qui leur offriront les meilleures conditions...

¹ Cf. {2^e partie § 1. II. iii.}.

² « Sans innovation, pas d'entrepreneur ; sans la réussite de l'entreprise, pas de rendement du capital et pas de croissance capitaliste ». Traduction libre.

³ *Rediscovering Schumpeter: The Power of Capitalism*, Q&A with: Thomas K. McCraw, Published Harvard Business School Website: May 7, 2007 Author: Sean Silverthorne.

⁴ C'est pour cette raison que Pechiney a vendu « *at cost* » la moitié de sa part dans la toute nouvelle usine de Bécancour (Québec) en 1987.

e) Le prix et la genèse de la demande

Quand la production a commencé aux États-Unis, il n'existait aucune demande, il a fallu la susciter. La stratégie d'Alcoa, arrière-plan permanent de cette étude, sera expliquée plus loin (voir B § a V). La première installation — atelier ou usine prototype — était capable de produire Q_0 tonnes par an quand la demande était nulle, ou presque, et en tout cas inférieure à Q_0 puisque le stock a augmenté. Les premiers exercices ont été déficitaires. L'urgence a alors porté sur l'amélioration des rendements électriques pour abaisser les coûts tout en produisant le plus possible afin de faire connaître le produit. La nécessité de construire une nouvelle usine¹ — à Niagara — s'imposa vite et d'autres ont suivi. La longue baisse tendancielle du prix a toujours eu pour objectif une croissance extensive et durable, à l'opposé du schéma habituel du monopole statique. La puissante croissance industrielle américaine du début du XX^e siècle et l'exclusivité du brevet Hall sur tout le territoire, donnaient confiance aux actionnaires et aux banquiers pour financer les nouvelles installations. La publicité (voir Galbraith, B § a II iii) et les caractéristiques métallurgiques des nouveaux alliages ont permis d'augmenter la production tout en conservant une demande supérieure à l'offre jusqu'aux années suivant la Seconde Guerre. Ensuite, le marché a montré des signes de saturation, la demande est devenue peu sensible à une baisse du prix². Quand il devient impossible — ou sans effet — de baisser les prix, il faut réduire les coûts et reformuler l'offre, ce fut la stratégie de l'aluminium des années 1980³. À l'époque, la concurrence a bien compris la situation et a tenté sa chance au moment favorable⁴. L'accent mis sur les six plus importants producteurs des pays occidentaux — naguère appelés les majors — ne doit pas faire oublier qu'il existait, depuis longtemps⁵, une frange concurrentielle de « preneurs de prix » (9 pays producteurs en 1900, 24 pays dont déjà la Chine pour 80 000 tonnes estimées en 1961).

f) Entreprise dominante et frange concurrentielle

Les hypothèses de la théorie coïncident avec les observations des années 1970-1980, à quelques nuances près ; elles sont rappelées et commentées ci-dessous :

- « Toutes les entreprises fabriquent un produit homogène ;
- « La firme dominante fixe le prix de vente⁶ ;
- « Les autres firmes sont preneuses de prix ;
- « Les entreprises de la frange ont toutes les mêmes coûts de production » : autrefois cela n'était pas vérifié et leur pouvoir était d'autant plus faible que leurs performances techniques étaient éloignées de celles des leaders. Mais un saut technologique important a ouvert⁷ le marché. Des firmes nouvelles ont pu bénéficier de coûts inférieurs à ceux des majors, du moins à ceux de leurs vieilles unités de production. La frange est devenue plus

¹ Voir l'histoire d'Alcoa mais aussi celle d'Alcan, ou de Pechiney...

² Les recherches de corrélations entre le prix de l'aluminium et la production d'aluminium primaire aux États-Unis n'ont pas été concluantes. Voir l'étude économétrique.

³ Et ce pourrait être celle des années actuelles.

⁴ Ici se retrouve l'analogie actuelle avec la situation du transport aérien. Le sort des nouveaux venus de l'époque n'avait rien d'assuré !

⁵ Pierre Barrant et Robert Gadeau, *L'Aluminium*, Éditions Eyrolles 1964, ont établi la liste des pays, des entreprises productrices et de leur capacité en 1962. Vingt ans plus tard, après les crises pétrolières, leur nombre et leur situation concurrentielle avaient évolué à l'occasion de sauts technologiques successifs et grâce à la création d'un marché libre de l'alumine.

⁶ Voir plus haut, Alcan.

⁷ Pour l'inventeur de la technologie, le progrès a été rendu possible par la maîtrise, théorique et pratique, des effets des champs magnétiques créés par le passage d'un courant d'électrolyse de très haute intensité.

homogène et profitable, dans une « branche ouverte », favorable à l'entrée de nouveaux producteurs, « conduisant la courbe d'offre de la frange à devenir horizontale » et déstabilisant durablement les majors.

- « L'entreprise dominante connaît la fonction de demande du marché » ; effectivement, elle devait l'estimer pour fixer son prix de référence ; c'était la clé de la croissance « maîtrisée » du marché, c'est-à-dire sans trop de dommages internes au secteur et sans besoin de régulation externe ; il existait alors une certaine souplesse ou marge de manœuvre au sein des équipes commerciales qui autorisait un ajustement conjoncturel des prix, une sorte de pratique de la théorie des jeux dans l'art de la négociation !
- « Elle connaît aussi la fonction d'offre¹ de la frange concurrentielle » ; quand cette offre est devenue excessive, elle a joué un rôle important dans la transformation du marché² ;
- « Le nombre d'entreprises de la frange concurrentielle... peut évoluer, on dit que la branche est ouverte » ; voir le quatrième point ci-dessus.

Pour illustrer l'évolution, la diminution de la part des 6 Majors est indiquée ci-dessous, en pourcentages de la production mondiale ; le complément a été produit par cinq autres grandes sociétés — Alumax, Billiton, Comalco, Hydro-Aluminium et VAW — et par d'autres sociétés, privées ou gouvernementales :

Part des 6 Majors (%)	1969	1980	1988
Alcoa	19,0	14,2	13,6
Alcan	19,7	11,1	11,7
Reynolds	13,3	7,9	5,6
Kaiser	10,9	7,7	4,8
Pechiney	9,1	6,5	5,1
Alusuisse	5,0	4,4	3,4
Total	79	51,8	44,2

Source : L'Aluminium, Carmine Nappi, Éd. Economica, 1994

En outre, le nombre de pays producteurs est passé de 24 en 1960 à 42 en 1980, nombre qui s'est maintenu depuis, avec quelques entrées-sorties³ (Source USGS).

Ce chamboulement du marché semble avoir coïncidé avec « à partir du début des années 1980, en provenance des États-Unis, une politique de libéralisation... [qui] trouvai(en)t sa (leurs) principale(s) justification(s) dans certaines théories d'économie industrielle, notamment dans la théorie des marchés contestables ». Après les États-Unis, l'Europe s'est mise aussi à « déréguler » [...] « ... une remise en cause de la réglementation s'est développée [...] sous l'influence de [...] William J.

¹ « C'est donc la structure de coût des entreprises de la frange concurrentielle qui détermine le prix du marché ». En réalité, toute influence sur le prix a échappé aussi à la frange concurrentielle quand il a été accaparé par le LME (voir 2^e partie § IV.).

² L'exemple-type est celui de la vague de métal russe des années 1990 qui a, très difficilement, donné lieu à un accord international d'autolimitation.

³ Des chiffres plus récents sont indiqués plus loin.

Baumol, principal auteur de la théorie des marchés contestables. » Le sujet concerne au premier chef l'électricité où la dérégulation paraît poser des problèmes.

g) Présentation et hypothèses de la théorie des marchés contestables

« La théorie des marchés contestables s'inscrit dans la lignée du courant théorique de l'*Industrial Organization* et s'appuie sur l'analyse microéconomique traditionnelle... Un marché est dit contestable lorsque l'entrée et la sortie sont absolument libres et sans coût¹ ». Cette formulation rétablit le parallèle entre entrée et sortie pour signifier qu'aucune difficulté particulière, à aucun stade, n'entravera le parcours d'un nouvel entrant. Il se trouvera à « *égalité de jeu* » avec les entreprises déjà installées, pour peu qu'il dispose d'une technologie de même niveau et d'un approvisionnement compétitif en matières premières. Ces conditions ont longtemps semblé protectrices, et puis... Des considérations théoriques et des propriétés de « *l'équilibre* », il résulte en première analyse² que le marché de l'aluminium n'a jamais durablement constitué un équilibre : à tout moment des entrées et sorties du marché³ ont été effectives⁴ — « la configuration était non soutenable » — et la tarification au coût marginal n'est pas compatible avec le développement d'une industrie capitaliste privée. La théorie de Baumol et les activités de réglementation et antitrust⁵ pourraient sans doute faire l'objet d'une étude spécifique *ex post*, au nom du bien-être social et de l'emploi, de l'autorisation donnée à certains achats d'entreprise des années 2000⁶. La politique de la concurrence aux USA sera évoquée plus loin. Son évolution traduit, une fois de plus, la forte influence des variables exogènes, en l'occurrence la politique, sur une industrie importante et sur son marché.

h) Les quantités

Sauf circonstances exceptionnelles, une usine d'aluminium produit dans la partie décroissante de son coût moyen, en raison de ses coûts fixes élevés. Elle fonctionne donc au maximum de ses possibilités ce qui rend cruciale la question de savoir à quel moment il convient d'accroître sa capacité de production. Le stock de métal constitue la mesure visible de l'excédent de la production sur les ventes⁷, ce qui explique l'intérêt porté aux stocks par tous les acteurs du marché. Alors, la production doit être augmentée quand le stock diminue afin de ne pas gêner les clients. Pour conserver une position dominante, la situation financière et les capacités techniques d'un producteur

¹ Traduction libre de: « One into which entry is absolutely free and exit absolutely costless » Baumol and Co., dans Médan et Warin.

² Alexis Jacquemin, cité par Médan et Warin (p. 29), a développé une analyse critique des hypothèses qu'il juge trop restrictives : « Les différences technologiques ... et les asymétries temporelles qui en découlent sont ignorées. Cette analyse ignore également le rôle de l'incertitude et de l'information incomplète qui implique qu'une firme ne connaît pas les caractéristiques exactes de ses opposants en termes de préférences et d'espaces de stratégies ».

³ Au niveau mondial. Aux États-Unis, Alcoa a limité la concurrence...

⁴ Voir Barrand et Gadeau, sur le nombre de producteurs. *op. cit.*

⁵ La notion la plus fondamentale semble concerner « la préservation de la liberté d'entrer et de sortir d'un marché ». En 1982, dans leurs *Mergers Guidelines*, les autorités américaines de la concurrence ont défini le pouvoir de marché comme « la capacité d'élever et de maintenir le prix à un niveau supérieur au niveau concurrentiel, et non en référence à la part de marché » détenue. Dans Médan et Warin, p. 32.

⁶ Voir la littérature interne à l'Union Européenne ou, par exemple, *La politique européenne de la concurrence, Objectifs, instruments, bilan critique et perspectives*, Gilles Le Blanc, Cerna, École des Mines de Paris 28 novembre 2003.

⁷ Les stocks intermédiaires des transformateurs, moins bien connus et variables suivant les produits, rendent la mesure précédente assez aléatoire. Cela renvoie encore une fois à la facilité de gestion de l'entreprise intégrée et au Cartel qui fixait les parts de marché et régulait ainsi les investissements.

devraient lui permettre de bénéficier au maximum des effets d'échelle croissants¹. Il lui faut, à la fois, disposer de la meilleure technologie et du capital nécessaire à sa mise en œuvre, et aussi observer tous les stocks qui reflètent la demande — pour les produits existants et aussi pour les innovations potentielles. En pratique, la construction d'une usine neuve prend environ cinq ans² et une telle stratégie est impossible à mettre en œuvre, il faut anticiper. Ensuite, il existe de nombreuses façons d'augmenter la production. Elles se classent en deux catégories, rangées ci-dessous par dépenses/tonne croissantes et par quantités croissantes :

A. Pour une usine existante³ :

- augmentation sans investissement par l'effet d'expérience qui permet d'augmenter l'intensité du courant et/ou les rendements (marginal pur) ;
- augmentation par ajout de quelques cuves d'électrolyse pour utiliser au mieux tous les équipements en place (extension marginale) ;
- augmentation proportionnelle à la capacité existante (souvent 100 %, parfois moins quand la place manque), à technologie identique (croissance extensive par allongement de la série de cuves existante ou par construction d'une série à l'identique) ;
- augmentation par mise en œuvre d'une nouvelle technologie (croissance concurrentielle, y compris à l'interne) ;

B. Pour un nouveau site⁴ :

- construction proportionnelle à la capacité d'une unité existante (multiples de 100 %) à technologie identique (croissance extensive dans une usine nouvelle, avec une localisation favorable et, le cas échéant, des rendements d'échelle croissants) ;
- utilisation d'une technologie plus performante (croissance concurrentielle y compris à l'interne) ;

En situation de duopole ou d'oligopole, les risques de surcapacité augmentent et ils peuvent être à l'origine de graves crises. Les dates des crises sont bien connues, la première s'est produite aux USA dès 1908, donc en situation de monopole... La notion de croissance concurrentielle interne à l'entreprise implique à terme l'arrêt des unités les moins performantes. Après coup, il semble que les problèmes des producteurs les plus anciens dans le métier⁵ — problèmes de perte de pouvoir de marché ou de perte de compétitivité — soient venus de leur incapacité financière à suivre le progrès technologique. Cela les a finalement placés en situation d'infériorité par rapport à la « frange concurrentielle » qui croissait. Un tel constat renvoie à l'impératif de profits recommandé par

¹ Ce point paraît crucial et pourrait être approfondi. Ainsi, sur l'exemple de Pechiney, l'usine de Intalco (Washington State) a démarré entre 1966 et 1968, avec une technologie très récente — 130 000 A — sur du courant bon marché : « ce fut pendant plus de 15 ans le plus performante des usines mondiales » d'après un numéro spécial de La Technique moderne, n°5-6 1986. L'usine de Saint Nicolas (Grèce) a démarré en 1966, avec une technologie plus ancienne 70 000 et 90 000 A. Il n'y avait aucune commune mesure entre les deux. L'usine de Tomago (Australie) a démarré en septembre 1982 et celle de Bécancour (Canada) en avril 1986 sur une technologie 180 000 A, soit une augmentation de l'intensité de 38 %, un beau progrès ! Malheureusement, Pechiney n'a pas eu les moyens de conserver une part importante de leur capital...

² Pour une grande usine moderne, deux à trois ans pour les études et la décision, et deux ans pour la construction proprement dite.

³ « *Brownfield* », en anglais. Toutes ces solutions ont été, à un moment ou à un autre, mises en œuvre.

⁴ « *Greenfield* », en anglais. Pour Pechiney, ce fut notamment le cas des deux usines américaines de Eastalco et de Intalco, de la Grèce, de Tomago (Australie), de Bécancour (Canada) et de Dunkerque.

⁵ Les producteurs américains ont anticipé en construisant des usines supérieures à 100 000 t/an, avant la guerre.

Marshall et pose la question de la relation entre la croissance de la demande, la recherche technologique et l'investissement productif.

i) La taille optimale de l'unité de production

La réponse a varié dans le temps suivant que l'on parle de la série de cuves ou de l'ensemble industriel qui pouvait rassembler plusieurs séries, l'usine. La taille de la série a longtemps été limitée par les performances des matériels électriques, la limite était technologique. Aujourd'hui, rien ne semble limiter la taille de l'une ou de l'autre, mise à part une notion de risque industriel.

En 1954, Joe S. Bain ¹ a effectué une vaste étude de la taille des industries au regard de leur efficience, dans une vingtaine de secteurs manufacturiers. Dans l'esprit du modèle SCP — il fut l'élève de Mason — il pose la question de la légitimité des fusions et de l'éclatement inverse, et s'intéresse en détail à la relation entre la taille de l'entreprise et sa rentabilité. L'efficience est évaluée par une courbe de prix à long terme ou des effets d'échelle.

Au fond, ce point s'approche beaucoup des conditions d'apparition d'une frange concurrentielle et il conforte l'idée que le monopole est la forme obligée — par définition — du commencement de toute activité nouvelle². En effet, la concurrence ne trouve une place que lorsque la taille du marché est suffisamment grande devant la taille économique de l'unité de production supplémentaire, ou lorsque la production démarre sans repère dans une période euphorique et une forte compétition. L'historique des usines neuves et de leurs extensions successives fournit un ordre de grandeur de la taille de l'usine, sinon optimale, du moins satisfaisante à la date de la construction. Bien entendu, il y a des exceptions, plutôt du côté du gigantisme.

L'analyse effectuée par Bain conduit à un classement des secteurs en termes de rentabilité de chaque dollar investi. Elle introduit aussi l'idée que la représentation, en fonction du temps, des parts de marché³ pour chaque source figure l'évolution de la taille optimale⁴ d'une firme et donc le degré de concentration dans cette industrie qui résulte de l'action de réduction des coûts quels qu'en soient les moyens⁵. Et l'estimation de la variance des capacités de production des usines donne une indication de la situation des firmes au regard de l'efficience de leur production, pour un seul et même produit⁶. Dans le cas de l'aluminium, traité par Bain pour des produits transformés et non pour la matière première, le concept devrait parfaitement s'appliquer. Pour l'hydroélectricité, les choses sont assez différentes car la géographie des lieux, le climat et la technologie du moment jouent un rôle prépondérant dans la définition d'un projet. Dans ce domaine, l'analyse de chiffres américains récents a fourni des éléments d'information intéressants.

¹ *Economies of Scale, Concentration, and the Condition of Entry in Twenty Manufacturing Industries*, Joe S. Bain, The American Economic Review, Vol. 44, No. 1 (March 1954), pp. 15-39.

² Cet argument, « *pseudo-naïf* » en l'occurrence, fut développé par la défense d'Alcoa dans son procès en monopole : « *If we are a monopoly, it is not of our own choosing* » a déclaré George Gibbons, Secrétaire Général de la firme (cité par G. D. Smith, p 193). Il ajoute que la situation résulte du fait que les concurrents potentiels n'ont pas voulu engager, dans une industrie à risques, les capitaux nécessaires - dont il faut dans tous les cas justifier l'emploi et la rentabilité.

³ Au sens de la capacité de production de chaque unité rapportée à la capacité de production totale.

⁴ Il semble préférable de parler de recherche du minimum des coûts, écrit Bain, parce que le coût varie chaque mois, sinon chaque jour, et qu'une unité de production est censée durer plusieurs années. Il en résulte que le concept décrit ci-dessus n'est rigoureusement vrai que si l'adaptation à la situation est immédiate pour tous. Il serait sans doute préférable de considérer le cas des seuls nouveaux entrants.

⁵ Cette vision, naguère plausible, paraît aujourd'hui un peu idéalisée parce que l'exacerbation de la concurrence rend de moins en moins vérifiée l'expression chère à Marshall de *toutes choses égales par ailleurs*.

⁶ L'actualité de cette perception est frappante dans l'industrie de l'automobile.

Il convient encore d'ajouter que, bien que la tendance à l'augmentation de la taille unitaire ait été générale et durable, la notion d'optimum est contingente. Des variables exogènes telles que le coût d'une matière première — cf. les taxes imposées à l'exportation de bauxite — ou celui du transport pour des quantités considérables de produits, ou encore la puissance d'un nouvel équipement électrique peuvent modifier les positions relatives alors que les rigidités sont fortes. Enfin, et la notion n'apparaît pas au premier regard, une énorme contrainte a pesé sur les premières usines françaises d'aluminium, celle de la superficie du terrain sur lequel elles ont été implantées, trop exigü pour permettre leur extension car limité par la rivière et la montagne, et aussi trop éloigné d'un port et des lieux de consommation du produit.

Même dans un groupe intégré comme l'était encore Pechiney dans les années 1970, il n'a pas été possible de placer une usine d'aluminium et celle d'alumine qui l'alimente, à proximité l'une de l'autre¹. D'abord, parce que l'aluminium était produit près des sources de courant alors que l'alumine l'était près de la bauxite et du charbon. Mais aussi parce que la taille de l'usine d'alumine dépassait de beaucoup les besoins d'une seule usine française d'aluminium. Pour Jean-Claude Guiot², « le traitement de la bauxite pour la production d'alumine dépend de la qualité du minerai tant en ce qui concerne le procédé que la technologie mise en œuvre. Il en résulte, sauf à simplifier à l'excès, qu'il n'est pas pertinent de parler de taille standard des usines et qu'il faut plutôt parler de taille critique — la taille minimale, variable avec la bauxite, qui assure la rentabilité du projet de construction. La part importante de coûts fixes justifie la recherche de l'effet de taille — rendements croissants — et la planification des extensions marginales du projet. Il existe maintenant dans le monde trois usines d'alumine de capacité supérieure ou égale à 4 000 000 tonnes/an (chacune représente huit fois l'aliment de Dunkerque). Il y avait Alcoa, Alcan, Reynolds, Kaiser, Aluminium Pechiney dans les premiers producteurs mondiaux, quatre ont disparu, Alcoa est toujours le leader, le second Rio Tinto Alcan est nouveau dans l'alumine. C'est sans doute là que se trouve le vrai changement ».

j) L'oligopole non coopératif

La théorie précise les positions relatives des structures de marché en termes de profits et vise à identifier les différences avec la réalité³. Ici, la comparaison s'effectue avec la concurrence pure et parfaite (CPP). Par définition, « l'oligopole est une structure de marché constituée d'un nombre limité de firmes ». Des barrières à l'entrée⁴ « permettent aux oligopoleurs de gagner des bénéfices importants à long terme, empêchant d'autres producteurs de s'introduire sur le marché. Les exemples les plus connus d'industries oligopolistiques sont... la production... d'aluminium... » Dans le

¹ Sauf l'usine grecque, située à proximité de la mine. Alcan a effectué délibérément ce choix dans le Saguenay (Québec, Canada) à partir de bauxite importée.

² Ancien directeur des activités bauxite-alumine de Pechiney ; communication personnelle.

³ J.S. Bain a testé sur la période 1936-1940 l'hypothèse que « le taux de profit moyen d'industries appartenant à un oligopole concentré aura tendance à être significativement plus grand que celui de firmes dans des oligopoles moins concentrés ou des industries de structure atomistique ». Cette hypothèse résulte de considérations théoriques sur les prix. Le résultat obtenu pour la rubrique "Aluminum Products" du Bureau of the Census surprend de deux façons. La concentration des huit premiers producteurs est de « *seulement* » 83.7 %, on se serait attendu à davantage, et la rentabilité après taxe de 9.7 % n'est pas une rentabilité exceptionnelle. Outre les explications données par l'auteur, ce résultat confirme l'extrême difficulté de la mesure et de l'interprétation des chiffres dans un domaine complexe. Par ailleurs, cette hypothèse à elle seule expliquerait la différence de rentabilité entre Alcoa et Acan d'un côté, et Pechiney et les producteurs européens de l'autre, alors que bien d'autres considérations y contribuent. En revanche, elle est cohérente avec la baisse régulière du prix du métal. Cette remarque explique aussi l'intérêt de l'auteur pour la courbe des prix sur le long terme.

⁴ Pour mémoire, il s'agit de la technologie, du capital et d'une source d'approvisionnement fiable en matières premières essentielles, l'alumine et l'électricité.

cas du marché oligopolistique, chaque entreprise occupe une part significative du marché et doit tenir compte de ses concurrents dans ses choix de production, « cette forme d'équilibre correspond à l'équilibre de Nash ». En l'absence de coordination illicite¹, les « firmes peuvent se concurrencer en suivant deux stratégies : soit [...] la concurrence par les quantités, soit [...] la concurrence par les prix ». En fonction de ce qui a été vu dans la sous-partie sur l'aluminium, il convient d'ajouter que les techniques de production — même si elles découlent toutes du même brevet initial — ont des performances différentes et que les approvisionnements en matières premières résultent d'un processus minier ou hydrologique qui dure depuis plus d'un demi-siècle. Les décisions des dirigeants ont été guidées par l'intuition et parfois favorisées par le hasard. En conséquence, les coûts de production ont toujours différé d'une usine à l'autre, variant parfois du simple au double. Dans ces conditions, il ne semble pas que les modèles d'équilibre dits de Cournot, de Stackelberg ou même de Bertrand apportent des informations utilisables. Ils sont cités pour mémoire. La prise en compte, par Edgeworth, des contraintes liées à la capacité des firmes constitue une amélioration, car les prix varient de façon cyclique et il n'y a pas d'équilibre stable. La théorie s'est donc lentement préparée à envisager la concurrence monopolistique et la concurrence imparfaite.

Pour mémoire encore et pour comparaison, les principales hypothèses de la CPP² sont les suivantes : le prix égalise l'offre et la demande, aucune entreprise n'a de pouvoir de marché et si, de plus, l'information est parfaite « les offreurs s'alimentent en input aux meilleurs prix et utilisent la meilleure technologie de production ». En conséquence, les structures de coût pour un bien particulier sont identiques, la vente au coût marginal maximise les profits « et à long terme les profits sont nuls. Cet équilibre de CPP est un équilibre stable dans la mesure où lorsqu'il est atteint, les entreprises n'ont pas de raison de changer leurs prix ou les quantités qu'elles offrent sur le marché. » La réalité décrite dans la présente étude montre l'ampleur des écarts avec cette situation idéalement simple. M^{me} Périères en donne une mesure : « Pechiney devait être un des actifs promoteurs de ces ententes que nous nous contenterons de citer ici : en 1906 un Syndicat international entre la Cie Alès et Camargue, la société de Froges, Neuhausen, la British Aluminium et l'Alcoa ; en 1926 un cartel européen l'Aluminium-Association et en 1931 un cartel international — Alliance-Aluminum Company — virent le jour ».

Plus tard, la situation est décrite par Jean-Pierre Biasutti en ces termes : « ... la forme la plus caractéristique de l'offre mondiale reste aujourd'hui l'oligopole au sens où les firmes qui le composent ne réagissent plus à des forces impersonnelles en provenance du marché, mais personnellement et directement à leurs rivales. C'est un «espace de rivalité»³ où coexistent une concurrence féroce (globalisée puisqu'elle s'exprime partout où apparaît une demande solvable) et une collaboration entre groupes ». Dans l'aluminium, la collaboration entre groupes n'a plus été jugée possible à la fin des années 1980, alors que la fusion par OPA le fut au début des années 2000, avec l'approbation des autorités de la concurrence. Cet imbroglio a donné lieu à la série d'opérations financières déjà évoquée et aux rachats successifs de Pechiney puis d'Alcan par Rio Tinto. Il semble capital de noter que les analyses économiques sont beaucoup influencées depuis une vingtaine d'années par le développement de nouvelles techniques de communication — révolution des NTIC — alors que la production d'aluminium en diffère complètement et relève de moyens d'analyse plus anciens.

¹ Situation créée à plusieurs reprises par plusieurs producteurs, voir par exemple le texte de Mme Périères, *op. cit.*

² Concurrence pure et parfaite, la structure la plus simple.

³ Suivant l'expression de l'économiste français contemporain François Chesnais, dans Biasutti, *op. cit.*

k) Les rendements croissants et la concurrence

À l'occasion du passage du modèle de Cournot à celui de Bertrand, Médan et Warin effectuent une digression importante et complémentaire de ce qui a déjà été dit sur le sujet (voir notamment plus haut, a § II ii-2). Elle résulte de l'objection de Bertrand qui, dans l'hypothèse d'une offre illimitée, prédisait « qu'il n'y aurait pas de limite à la chute du prix ». Et le paragraphe suivant doit être cité *in extenso* car il se réfère à Marshall qui « soutenait en se référant spécialement au cas des rendements croissants que "si le marché de chacun des rivaux était illimité et si la marchandise produite obéissait à la loi des rendements croissants, alors la position d'équilibre atteinte pour une même échelle de production des vendeurs serait instable. Car, si l'un des rivaux prenait un avantage et augmentait son échelle de production, il gagnerait par là un nouvel avantage et bientôt éliminerait ses rivaux¹". » La conclusion est tirée par les deux auteurs : « Les entreprises vont fixer leur prix et laisser le marché déterminer la quantité vendue. » Face à cette situation confirmée par l'expérience, que penser de l'affirmation de Marshall et comment expliquer que les « *majors* » de l'aluminium aient réussi simultanément à bénéficier de rendements croissants² par la complémentarité de progrès simultanés dans des branches d'industrie différentes — électricité, mécanique, résistance des matériaux, moyens de calcul et de modélisation, etc. — et d'une croissance plutôt « *équilibrée* » entre eux ?

Il semble qu'une seule réponse se soit longtemps imposée par sa logique sinon par sa morale : ils se sont entendus pour se répartir des parts de marché et éviter une guerre des prix. Le surinvestissement, par un ou plusieurs acteurs, était le risque le plus grave pour tous, surtout en période de rendements croissants. Jusqu'à la Seconde Guerre mondiale, la collusion a permis d'éviter les pièges prévus par les théoriciens de l'économie. Ensuite, la concurrence imposée par le Gouvernement américain a conduit à une période confuse et barbare de rachats d'entreprises déjà évoquée et dont certaines dimensions théoriques — Écoles de Harvard et de Chicago — seront traitées plus loin. En fait, les chocs pétroliers et la percée technologique des années 1980 ont rebattu les cartes et directement provoqué une vague de fermetures d'usines anciennes, peu rentables mais pourvoyeuses d'emplois, qui s'est étalée sur une vingtaine d'années. Les États ont aussi induit des biais par une politique d'aide à l'investissement.

À partir de 1990, la croissance chinoise a de nouveau changé les paradigmes dominants ; la technologie a été copiée voire améliorée, le capital a été mis à disposition par des autorités locales placées en situation de concurrence, le charbon a fourni une électricité peu chère sinon peu polluante et enfin le marché a fonctionné à l'aide des ressources — surtout minières — préparées par d'autres. Grâce à ces facteurs³, la Chine est devenue en une quinzaine d'années le premier producteur mondial. Ce constat suscite plusieurs remarques : d'abord, plus personne ne s'offusque aujourd'hui de la gestion par l'OPEP⁴ de son pétrole et il semble acquis que les prix soient pilotés à partir des quantités, le marché ayant la bonté de réagir assez vite pour indiquer les tendances⁵ ; ensuite, le système politico-judiciaire américain s'est montré accommodant pendant des décennies

¹ *Principles*, A. Marshall, 1st ed. p. 485, cité par Médan et Warin, p. 82.

² C'est une conviction fondée sur l'expérience. Faute de s'en remettre à des fonctions de production plus ou moins justifiées, il est difficile d'en faire la démonstration. L'analogie avec les progrès de l'aviation sur la même période suffit-elle à confirmer cette « *intuition* » ?

³ Et aussi, bien entendu, à sa politique économique.

⁴ L'Organisation des pays exportateurs de pétrole (OPEP). L'organisation aurait-elle perdu, elle aussi, son pouvoir de marché ?

⁵ L'aluminium ne bénéficie pas d'un avantage de cette nature parce que le temps de réaction du procédé de production est beaucoup trop long — plusieurs mois. En revanche celui de l'électricité serait beaucoup trop court — par exemple la milliseconde — en l'absence d'accord de principe sur des échanges urgents entre fournisseurs de courant.

avec le monopole d'Alcoa, prouvant *a contrario* la finesse de la position défendue par le producteur ; enfin, pour le futur, il serait souhaitable que la prise de conscience des risques d'une concurrence effrénée infléchisse la réglementation anti-trust et l'application qu'en font les autorités tant américaines qu'européennes.

l) La concurrence monopolistique

Entre CPP et monopole, la concurrence monopolistique est définie à partir d'Edward Chamberlin¹ ; la demande suit une pente décroissante, contrairement à la CPP où elle est horizontale ; les profits des producteurs sont nuls ; à la différence de l'oligopole, un changement de prix effectué par une seule entreprise n'a qu'un effet négligeable sur la demande adressée aux autres qui bénéficient d'une demande résiduelle propre. L'entrée sur le marché est libre, mais à long terme les profits sont nuls. La situation « permet aux entreprises d'augmenter leurs prix par rapport à la CPP, en raison d'un pouvoir de marché [la demande résiduelle], tout en ne faisant pas de profits... La résultante... est un nombre d'entreprises supérieur à celui qui correspondrait à l'optimum en CPP... Un autre résultat est que les entreprises seraient toujours en capacité de production excédentaire. » Cette théorie identifie des écarts à la CPP et explique l'origine d'un pouvoir de marché. Pour mémoire, l'industrie américaine de l'aluminium s'est souvent trouvée en capacité de production excédentaire...

m) L'oligopole local

L'oligopole local se rapproche de la situation de l'aluminium car il n'y avait, au début, pas de libre-entrée sur un marché local. Aux États-Unis, deux raisons au moins s'y opposaient, le brevet original et la géographie, en Europe la situation était différente. Aucune entreprise ne pouvait capter la totalité de la demande en raison des coûts du transport. Suivant les contraintes locales, il pouvait subsister une demande résiduelle accessible à un nouvel entrant qui était alors soit une entreprise existante qui s'installait sur le territoire d'un concurrent en place, soit un nouveau concurrent sur un territoire nouveau. Des profits attestaient de l'existence d'un pouvoir de marché, jusqu'au jour où...

n) La concurrence imparfaite

« À mi-parcours entre la CPP et le monopole, la concurrence imparfaite représente la structure de marché la plus réaliste ». Les dimensions sur lesquelles les entreprises se battent sont alors : limiter autant que possible le nombre de concurrents sur un marché donné, « modifier la perception qu'ont les agents économiques du produit » afin de se démarquer des concurrents, sortir de l'hypothèse d'information parfaite qui est souvent confondue avec la possibilité pour tous les compétiteurs de faire comme le meilleur d'entre eux et, enfin, prendre en considération les coûts d'accès à l'information et les coûts de transport qui, même s'ils semblent faibles, induisent une différence entre concurrents. L'objectif ultime de toute stratégie demeure non dit ; il se résume en général par le désir de s'approprier une part de marché sur laquelle l'entreprise exercera son pouvoir pour rendre ensuite la demande inélastique.

Au cours de l'analyse des quatorze éléments ci-dessus, les notions théoriques de base de l'économie industrielle ont été progressivement mises en place en référence à l'aluminium. Face à la conclusion d'imperfection des marchés à laquelle elles conduisent, une évidence s'impose, il faut une limite légale aux débordements d'entreprises devenant trop puissantes. La première difficulté

¹ Toujours d'après Médan et Warin, mais aussi dans Biasutti qui écrit : « Notons encore une fois que ces analyses se situent dans la lignée de Karl Marx et de Joseph Schumpeter, c'est-à-dire une posture théorique qui choisit **de partir du monopole pour comprendre la formation des prix et la réalisation des profits sur le marché** », *op. cit.*

consiste à définir cette limite et la forme à lui donner pour éviter une réglementation partielle et contingente, c'est-à-dire opportuniste. La seconde difficulté se situe dans l'espace du commerce international. La référence choisie par Médan et Warin pour introduire la politique européenne de la concurrence est celle des États-Unis, ce qui apporte un éclairage complémentaire sur les observations déjà faites sur ce pays. Deux courants théoriques y ont successivement orienté la législation ou son interprétation à partir des années 1930. Ils ont eu des conséquences fortes sur la structuration des entreprises, mais les orientations premières ont été décisives¹ pour la politique des grandes entreprises et en particulier pour celle d'Alcoa qui aspirait à dominer son marché. En conséquence, trois aspects doivent encore être traités pour compléter les apports de la présente partie B, à savoir, les textes fondateurs, l'École de Harvard et enfin l'École de Chicago. Quelques mots de conclusion porteront sur la politique européenne de la concurrence qui, plus récente, ne présente pas la même utilité pratique en rapport avec le sujet traité, bien qu'elle ait joué un rôle majeur dans la déconfiture de Pechiney en 2003.

ii. Éléments de politique américaine de la concurrence

a) Les textes fondateurs

Le Sherman Act a jeté les premières et les plus importantes bases en posant que « tout contrat, toute association sous forme d'un trust ou sous toute autre forme, ou toute entente, destiné à restreindre les échanges ou le commerce entre les différents États de l'Union ou avec les pays étrangers sont illégaux ». Il établit le caractère délictueux de toute tentative ou réalisation d'un monopole ou d'une association ou d'une entente dans ce but. Enfin, « les pratiques susceptibles de restreindre la concurrence sont interdites, comme par exemple les ententes sur les prix ». Deux exemples célèbres témoignent de l'usage de ce texte dans la durée : le démantèlement de la Standard Oil of New Jersey en 1911 et le procès puis la condamnation de Microsoft à la fin des années 1990².

Dans le domaine, l'action législative, parallèle aux tentations protectionnistes des pays et au développement de très grandes entreprises aux USA, a continué avec le Clayton Act de 1914. Il traite du contrôle des concentrations et vise « les pratiques de prix discriminatoires, les contrats liés et clauses d'approvisionnement exclusif, la concentration d'entreprises (art. 7) et les conseils d'administration entrecroisés ».

Il semble raisonnable de croire que ces deux textes fondateurs ont servi en permanence de « *garde-fou* » à l'occasion de l'élaboration et de la mise en œuvre pas-à-pas de la stratégie d'Alcoa. Son fonctionnement était critiquable sans doute par certains aspects, mais difficilement attaquable en droit, jusqu'en mars 1945 lorsqu'elle a été reconnue coupable de monopole sur le marché intérieur du lingot d'aluminium par le Juge Learned Hand³.

Le changement apporté par le Celler-Kefauver Act de 1950 a augmenté fortement l'efficacité du Clayton Act en le faisant porter aussi sur les acquisitions d'actifs, alors qu'il était auparavant limité à l'acquisition de titres.

¹ Le Sherman Act date de 1890.

² En 2000 – date de parution du livre de Médan et Warin – Microsoft avait fait appel du jugement. La position de la justice américaine – reconnaissant le monopole maintenu par Microsoft sans le démanteler – a été confirmée, fin 2002, puis l'Union européenne a pris le relais des poursuites avec un verdict en 2004. Source : http://www.journaldunet.com/solutions/0211/021105_crosoft.shtml

³ Le procès d'Alcoa en monopole fait l'objet d'une longue analyse dans le livre déjà cité de George David Smith, *From Monopoly to Competition, the Transformations of Alcoa, 1888-1986*, Cambridge University Press, paperback edition, 2003.

Les autorités responsables du domaine « sont la *Federal Trade Commission* et la division antitrust du Ministère de la Justice qui lancent les poursuites judiciaires¹ ». Les conséquences de certaines décisions ont été critiquées, les tribunaux semblant hésiter, plus ou moins en relation avec l'alternance politique, entre une application stricte — « *per se* » — de la loi et un raisonnement économique — dit « *rule of reason* » — qui met « en balance les coûts et les bénéfices ». Il est peut-être utile d'ajouter encore le *National Cooperative Research Act* de 1984 qui donne l'avantage, dans son domaine d'application, la recherche et développement, à la règle de raison sur la règle « *per se* ». Son Article Premier stipule qu'est exclu du règlement — favorable aux accords de coopération — « l'échange d'informations sur les coûts, sur les prix et sur d'autres éléments déterminant la position concurrentielle des entreprises, lorsque cet échange n'est pas raisonnablement nécessaire à la conduite de la recherche et du développement² ».

b) Le courant structuraliste dit de Harvard

Dans les années 1930 et après, des chercheurs ont énoncé des critiques, au double plan économique et social, sur la grande taille de certaines firmes. Ils seront plus tard regroupés sous le nom d'École de Harvard ou courant structuraliste. En 1932, Berle et Means³ « dénoncent deux dysfonctionnements principaux des grandes entreprises » ; le premier, économique, tient au fait que les managers ne recherchent pas le profit maximum et le second, social, résulte du pouvoir de marché des entreprises qui vendent à des prix supérieurs à leurs coûts marginaux. D'autres économistes ont travaillé dans la même voie, en particulier Bain⁴ qui a étudié les conditions d'entrée sur le marché américain de l'industrie manufacturière et rassemblé des données sur les économies d'échelle dans une vingtaine d'industries, mais pas sur l'aluminium.

« Cependant, depuis le début des années 1970 et particulièrement à partir de la présidence de Ronald Reagan, on a assisté aux développements de thèses alternatives. » C'est donc à une bataille d'idées⁵ qu'a tenu l'évolution de la politique américaine de la concurrence après 1970, et le second protagoniste, à l'origine du changement, a été nommé l'École de Chicago.

c) Le courant comportementaliste

« Les économistes de l'École comportementaliste, même s'ils ne proposent pas la suppression de toute politique de la concurrence, sont favorables à une politique plus souple, moins sévère vis-à-vis de la grande taille ». C'est pourquoi, à partir de 1980, « l'opposition au courant structuraliste... se manifesta par de nombreuses réorientations dans l'application de la politique de la concurrence ». Deux arguments principaux sont utilisés : la grande entreprise bénéficie « d'une efficacité supérieure liée... à la présence d'économies d'échelle, d'économies de gamme et de possibilités d'apprentissage » et les situations relatives « doivent s'apprécier de manière dynamique et non statique ». La

¹ Les indicateurs utilisés ont été présentés par Caves et introduits en 2^e partie § 1. II. iv. Pour mémoire, ce sont les parts de marché des quatre premières firmes du secteur et l'indice de Herfindahl.

² Serait-ce donner trop d'importance au présent travail que de considérer ce texte — *per se* — comme la raison du refus répété d'Alcan de communiquer de l'information sur ces sujets ?

³ Déjà cités dans la 2^e partie § 1. II. iii.

⁴ *Economies of Scale, Concentration and the Conditions of Entry in Twenty Manufacturing Industries*, J. S. Bain, *American Economic Review*, mars 1954. Cité par Médan et Warin. "Ever since the merger movement of the late nineteenth century, American economists have been recurrently interested in the extent to which large size is necessary for business efficiency. Was the merger movement necessary; was the rule of reason economically justifiable; can this or that concentrated industry be atomized without loss of efficiency?"

⁵ Ces idées étant portées ou reprises, ou bien écartées par les dirigeants politiques des deux grands partis américains, on peut se demander, *ex post* et avec le recul du temps, si l'alternance au pouvoir a pu contribuer, à certains moments critiques, à écarter d'Alcoa les menaces de poursuites les plus pressantes.

théorie des marchés contestables a donc trouvé un écho favorable, « l'existence d'un pouvoir de monopole temporaire, sans cesse remis en question, appartient à la dynamique même de la concurrence ». La sévérité vis-à-vis de la grande taille avait vécu, les économistes de cette École « demandent aux autorités concurrentielles d'examiner les cas de croissance externe au seul critère de **l'efficacité économique**¹ ». Il convient que la méthode d'estimation de ce critère, souvent utilisé sous Reagan, soit précisée et que les données fournies par les entreprises acheteuses soient soigneusement contrôlées pour que la croissance externe ne soit pas livrée au seul critère de l'argent ; c'est le rôle des « *merger guidelines* » qui ont été modifiées en 1982 et 1984. L'arrivée au pouvoir de Bill Clinton a été marquée par « la ferme volonté d'un retour à une conception fondée sur les faits observés et non sur les analyses théoriques de l'École de Chicago ». L'alternance politique et la durée des procès mettent mal à l'aise un observateur éloigné de la réalité des faits.

d) Conclusion : la politique européenne de la concurrence

La transposition de ce qui précède, aux pratiques européennes est effectuée par François Souty, cité par Médan et Warin (p. 108) : « le droit américain, plus que centenaire, influence et façonne d'une manière déterminante l'application des droits de la concurrence dans la plupart des pays développés ». Le constat est clair et peu surprenant en raison du pouvoir de la première économie mondiale. En droit, « la politique de la concurrence est mise en œuvre par la Commission européenne... Elle dispose de pouvoirs d'enquête et inflige des sanctions lors de pratiques anticoncurrentielles. » Les dispositions ne présentent pas d'intérêt particulier en raison de leur faible ancienneté. Pourtant, un cas récent concerne un producteur d'aluminium de longue date et reste dans les mémoires.

IV. Échanges internationaux et géographie économique

Pour produire de l'aluminium, la houille blanche et la bauxite constituent des avantages absolus. En France, en Suisse, en Écosse, à la différence des États-Unis, la production d'électricité a commencé dans des montagnes difficiles d'accès donc peu propices à la croissance de l'industrie et même, plus grave, au développement régional. Il fallait apporter les matières premières sur les lieux de production et remporter les produits. La géographie physique et la facilité des échanges ont donc conditionné la réussite initiale des projets mais aussi influé sur leur avenir. Plus tard, l'importance stratégique du métal et la grande quantité d'électricité nécessaire à sa production ont rendu la spécialisation et le transport essentiels. Quatre aspects interdépendants vont être évoqués, avant d'en venir aux échanges internationaux et à la géographie économique proprement dits.

Le commerce international : c'est, depuis Ricardo, l'objectif assumé de toute spécialisation de la production, agricole ou industrielle. Les dotations factorielles et les avantages naturels y jouent un rôle crucial. Ce commerce s'évalue au niveau des nations — c'est une tautologie — et non au niveau des régions, écrivent Jean-Louis Mucchielli et Thierry Mayer² qui expliquent : « les facteurs de production sont relativement immobiles. La mobilité des travailleurs est beaucoup plus faible entre les pays qu'à l'intérieur des pays... Les flux d'investissements directs entre pays, bien que fortement croissants, restent faibles, lorsque comparés aux flux de marchandises³... » et concluent : « c'est parce que les pays peuvent difficilement s'échanger des facteurs de production tels que le travail, le

¹ En gras dans le texte.

² *Économie Internationale*, J.-L. Mucchielli et T. Mayer, Éditions Dalloz, 2005.

³ En termes de flux, les ordres de grandeur diffèrent. Par exemple, en 1986, une usine de 220 000 tonnes de capacité a coûté en chiffres ronds 1 milliard de dollars. 25 ans plus tard, elle a généré 5 500 000 tonnes de produit à 1 800\$/t, soit un chiffre d'affaires de l'ordre de 10 milliards de dollars, et elle est encore en activité !

capital, la terre ou le sous-sol qu'ils s'échangent des produits incorporant ces richesses factorielles ». Ils notent et le point est d'importance pour l'électricité, que les régions ne disposent pas en général¹ d'instruments de politique commerciale ni de moyens de réguler les flux de capitaux.

La spécialisation : l'électrolyse est en soi une spécialité par opposition au recyclage des déchets. La différence entre les deux tient à la nature chimique des impuretés ou des éléments d'addition qui influent sur les propriétés métallurgiques du produit. Il existe une autre spécialisation, dans la forme donnée au métal — plaques, billettes, fils et lingots — dans les dimensions et les poids unitaires, et enfin dans la pureté² primaire du produit. Le catalogue des producteurs est varié et évolutif, il s'adapte à la demande — nouveaux formats et nouvelles compositions. En fait, les usines d'un producteur ne produisent pas toute la gamme des produits du catalogue, elles sont spécialisées.

La géographie économique : Marshall a développé, en premier, le concept d'économies externes à partir d'une observation de la localisation de l'industrie. Des décennies plus tard, Paul Krugman a créé une discipline, l'économie géographique, et construit un modèle de localisation qui intègre les rendements d'échelle croissants, les coûts de transports et les retombées économiques de l'agglomération régionale. Application pratique : le nombre d'usines et les critères de localisation de l'électrolyse n'ont rien de commun avec ceux des usines de recyclage.

Le transport : longtemps la théorie économique a considéré le transport comme gratuit parce que la localisation de la production n'était précisée qu'au regard du pays d'origine. L'idée qu'à l'intérieur d'un pays, le transport pouvait être la contrepartie payante de la grande taille des unités de production a changé cette façon de voir et accrédité l'existence des rendements d'échelle croissants, dans nombre de domaines. Ainsi, apparaissait une possibilité d'arbitrage³ entre la taille de l'unité de production et les coûts de transport, des produits comme des matières premières. Bien entendu, cet arbitrage évolue à moyen/long terme avec la croissance des quantités produites et le déplacement de la demande, nationale ou internationale. Dans l'aluminium à ses débuts, le coût de transport de l'électricité était prohibitif et imposait une localisation tout près de la chute d'eau. Il a beaucoup diminué dans le temps grâce au progrès technique — courant alternatif, redresseurs et réseau interconnecté de lignes de transport à haute tension — pour se stabiliser⁴ dans les années 1980. Les autres coûts de transport à considérer portent sur l'alumine et les produits carbonés dont les quantités sont importantes.

Les quatre dimensions qui précèdent ont été traitées séparément jusqu'à ce que Krugman en propose, à la fin des années 1990, une synthèse qui a ouvert une large voie de réflexion aux économistes. Depuis, on observe une unification de l'étude des échanges, nationaux et internationaux, et la mise en œuvre de stratégies mondiales d'implantation. Pourtant, il semble encore logique de traiter les situations du passé avec les outils économiques anciens et d'étudier séparément les échanges internationaux et la localisation de la production. La littérature spécialisée

¹ Deux contre exemples sont fournis, dans un État fédéral, par le Québec qui jouit des droits sur l'eau et les utilise pour développer son industrie, et au Royaume-Uni par l'Écosse.

² L'amélioration des procédés et une lente évolution des procédures d'exploitation a réduit les quantités d'impuretés contenues, surtout fer et silicium, et diminué les écarts-types. Aujourd'hui, la production mondiale est homogène autour de la norme de 99,7 % Al, la *différenciation horizontale* au sens donné par Mucchielli et Mayer (p. 41) a pratiquement disparu. La *différenciation verticale*, par la qualité, demeure et correspond à la difficulté de fabrication - outillages spéciaux et taux de rebuts plus élevés. Les prix en reflètent l'existence.

³ Dans le cas de l'aluminium, la classique hypothèse « toutes choses égales par ailleurs » perd sa force parce que justement les choses diffèrent. Voir la partie spécifique à la production.

⁴ Ce qui n'implique aucunement que les contraintes d'approvisionnement aient disparu. Le fournisseur de courant inclut les pertes — la notion d'*iceberg* de Samuelson s'applique parfaitement — dans sa tarification.

décrit en détail plus de cent ans de fonctionnement — aux États-Unis¹ surtout et dans le monde occidental — d'une industrie que les guerres ont placée en tête des besoins stratégiques des pays belligérants et qui a su assurer ses débouchés au passage de la guerre à la paix. Le besoin d'électricité a toujours constitué un critère incontournable de localisation des usines d'électrolyse qui se traduit en avantage comparatif tant au sein d'un pays — ou d'une région — qu'entre pays producteurs. Les alternatives thermiques² de production du courant ont pallié dans le temps le manque d'hydraulique. Elles ont facilité la concurrence internationale et amplifié l'interventionnisme des États qui en contrôlent peu ou prou la production.

Au début du XXI^e siècle, le renchérissement prévisible du kWh aux court et moyen termes ainsi que l'application des nouveaux règlements environnementaux par les pays industrialisés, incitent les producteurs à revoir la répartition de leurs usines, chez eux et à l'étranger, et leurs capacités respectives de production. Le moment semble opportun pour effectuer un bilan des évolutions mondiales et pour anticiper une répartition géographique satisfaisante des productions entre première et seconde fusion. Idéalement, cette réflexion devrait poser la question des lois de la concurrence et des ententes, car le passé a montré que les suiveurs de l'industrie, livrés à eux-mêmes, survivent difficilement. Sinon, les pays qui disposent aujourd'hui d'une électricité à bas prix parce qu'ils sont adossés à une rente — Canada, Golfe Persique, Australie — ou pour d'autres raisons — Russie, Chine, Brésil — sont sûrs d'emporter la mise suivant la théorie de l'oligopole et des rendements croissants. Les choses vont vite. Dans la plupart des cas, il reste aux pays consommateurs-nets à rationaliser le recyclage chez eux ; plus leurs bases seront larges et structurées, plus ils disposeront de marges de manœuvre.

En somme, tout se passe aujourd'hui comme si l'aluminium était devenu une « *matière première minérale* », localisée là où son coût de production est compatible avec le prix du marché mondial. Les besoins en métal dépendent du niveau et du mode de développement atteint par chaque pays. Pour les satisfaire, un transformateur achète au producteur³ le mieux offrant, a priori le plus proche, et il est vraisemblable que des échanges — ou swaps — se pratiquent entre producteurs pour compenser les déplacements géographiques de la demande. La transformation en produits semi-finis et en biens de consommation s'effectue dans des installations existantes ou bien s'organise peu à peu suivant les règles éprouvées de l'économie géographique. Alors, il semble plausible que les usines de recyclage obéissent aux mêmes principes de localisation que les usines de transformation dont elles reprennent les produits en fin de vie⁴. Elles devraient en conséquence se situer à proximité de celles-ci, à supposer qu'elles bénéficient d'effets d'échelle comparables. En présence de rendements constants — ou presque — ces dernières seront petites et nombreuses. Certaines pourraient être situées près des points de collecte des déchets et donc plus proches des lieux de consommation que les usines d'électrolyse.

Les concepts de l'économie internationale constituent un corpus, évolutif lui aussi, dont les aspects relatifs aux échanges vont être présentés avec quelques indicateurs usuels.

¹ Les États-Unis constituent à la fois l'exemple le mieux documenté et le plus significatif. Le cas de la France a été traité par René Lesclous dans son livre *Histoire des sites producteurs d'aluminium, Les choix stratégiques de Pechiney 1892-1992*, Les Presses de l'École des Mines, Paris 2004.

² Il est difficile de croire que les quantités d'électricité produites par l'éolien ou le solaire et leur prix puissent un jour concurrencer le thermique pour la production d'aluminium primaire.

³ Ici, sauf exigences de pureté particulières, le producteur peut être l'électrolyseur ou le recycleur. La transaction s'effectue directement, ou via le LME ou d'autres marchés comme Shanghai — voir plus loin.

⁴ La grosse usine de recyclage d'Alcoa dans le Tennessee est située près des usines de transformation.

i. Les échanges internationaux, côté offre

C'est un rappel, Marshall a adopté les thèses de Ricardo et développé son modèle des échanges. Un livre¹ de Caves et Jones y consacre aussi de longs développements. Des études portent sur les « différences de productivité de la main-d'œuvre selon les pays² », sans souligner les efforts de recherche, la qualification de la main-d'œuvre ou le niveau technologique atteint. Le monde a considérablement changé au cours des trente dernières années et pourtant cette dimension qui n'explique plus grand chose, demeure étonnamment au premier plan des analyses de la concurrence internationale.

Dans le cas de l'aluminium, si le coût de la main-d'œuvre, relativement faible³, était remplacé par celui d'une matière première essentielle et chère comme l'électricité⁴, et que le raisonnement sur l'échange porte sur les coûts relatifs, le modèle prédirait l'éviction des pays les moins compétitifs⁵. C'est bien, depuis trois décennies, le sens de l'évolution qui aura vu la fermeture effective et, encore aujourd'hui, la fermeture annoncée d'usines d'aluminium, dans nombre de pays occidentaux (USA, France, Hollande, Allemagne, Grande-Bretagne...).

Un autre aspect du modèle de Ricardo est souligné dans le même ouvrage⁶ : « La structure du commerce international est déterminée exclusivement par *le côté de l'offre*⁷ ». Cette affirmation expliquerait l'apparente « myopie » des producteurs d'aluminium envers l'évolution de la demande, au moment où celle-ci a commencé à plafonner, dans les années 1980⁸, en raison d'une progressive satiété des consommateurs finaux dans les pays développés. Depuis, la croissance se passe ailleurs et l'offre s'est déplacée.

Il est possible de préciser certains éléments de construction de modèles économiques. Ainsi, le modèle à deux biens peut combiner trois facteurs de production⁹, la production de chaque bien utilisant deux d'entre eux. Dans le cas de l'aluminium, il s'agirait de capital, d'eau¹⁰ et de main-d'œuvre, tous trois indispensables.

Il apparaît alors que :

¹ Caves & Jones, *op. cit.*

² Caves & Jones, p 75.

³ Ordre de grandeur : 5 % des coûts, source Gérard Vindt, *Cahier d'histoire de l'aluminium*, n° 15, hiver 1994-1995.

⁴ Ordre de grandeur : 30 % à 40 % des coûts. Évidemment, on n'est plus alors dans la théorie de la valeur-travail. Puisque le coût du capital et le niveau technologique se rapprochent dans tous les pays, ils interviennent de moins en moins comme éléments discriminants. C'est la situation pseudo-homogène vers laquelle le monde industrialisé tend et qui alloue à de faibles différences un pouvoir discriminant fort.

⁵ Caves & Jones, p 80 : « Ce qui est caractéristique du modèle ricardien, c'est l'influence, potentiellement énorme, de l'échange international sur les structures de production. Dans chaque pays, ce n'est pas seulement une *partie* des ressources qui est dirigée vers le secteur d'exportation mais ce sont *toutes* les ressources qui y sont employées ».

⁶ Caves & Jones, p. 93.

⁷ Entre guillemets dans le texte.

⁸ Cette situation a déjà été évoquée. Elle est développée dans un document interne de Pechiney daté de 1985-1986 : *L'industrie de l'aluminium à la fin du siècle : réflexions prospectives*. Elle souligne l'utilité d'un modèle économique de référence pour toute activité industrielle, en complément des classiques études de marché, et la nécessité de disposer d'indicateurs sensibles de variation de la croissance, par pays et par marché, pour réagir, à défaut d'anticiper.

⁹ Caves & Jones, chapitre 6.

¹⁰ Pour la production d'électricité, l'eau est l'analogie de la terre arable pour l'agriculture, et leurs rendements respectifs varient d'une année sur l'autre. Dans ce cas seulement, les substituts de l'eau sont le pétrole, le charbon, le gaz, etc.

- 1) « La composition des productions est très sensible aux variations de la dotation factorielle fondamentale d'un pays. Ceci est surtout vrai en ce qui concerne les variations survenant dans les facteurs spécifiques¹ ». Ici se trouve la cause des à-coups dont a souffert l'industrie — de l'aluminium, toujours — aux États-Unis en fonction de la pluviosité, dans les années 1970-1980, bien avant les inquiétudes actuelles sur le changement climatique. La dotation de matières combustibles comme le pétrole et le gaz a changé dans le temps avec les découvertes successives.
- 2) « La structure du commerce international est étroitement liée à de grandes différences dans les dotations factorielles ». Les échanges de bauxite, d'alumine et d'aluminium constituent sur ce plan, un cas d'école parmi les plus significatifs des évolutions du XX^e siècle.
- 3) « Les échanges encouragent les ressources à se déplacer en faveur des secteurs dans lesquels l'économie a un avantage comparatif ». Longtemps, la production a été limitée aux pays où l'hydroélectricité constituait un avantage absolu, conforté par une avance technologique (voir la partie Aluminium). Ainsi, les producteurs étrangers affluaient encore au Canada dans les années 1980 et en Islande² en 1998. En Norvège, la situation, un peu particulière, a changé en fonction des besoins immédiats de l'étranger. Aujourd'hui, la discrimination des prix du courant d'origine hydraulique, entre gros et petits consommateurs est de moins en moins bien tolérée par ces derniers, lorsque leur nombre et donc leur consommation augmentent. Il faut trouver des substituts. Des quantités importantes d'électricité s'affichent à des prix attractifs dans les pays du Golfe persique et certains industriels ont déjà arrêté des usines dans leur propre pays, pour aller produire là-bas avec la meilleure technologie. En dix ans, peut-être moins³, leurs nouvelles installations seront amorties. Quant à la situation en Chine — et donc à l'équilibre mondial du marché — elle changera s'il devient un jour nécessaire de rationaliser, d'organiser et de mieux rentabiliser la centaine d'usines qui existaient déjà en 2011 — 120 usines en 2012, pour une capacité de production annoncée de 29,5 millions de tonnes par an, selon Light Metal Age⁴.

ii. Les échanges internationaux, instruments de mesure et bilan général

La spécialisation permet les échanges et les échanges induisent la spécialisation. Très vite, les échanges d'aluminium et de ses composés, minéraux, métalliques ou transformés, sont devenus nécessaires. La mesure et le calcul d'indicateurs permettent de préciser les situations.

Les droits de douane : Les techniques de quantification des échanges ne doivent pas faire oublier l'important effet dissuasif d'un outil exogène qui a eu tendance à disparaître au cours des soixante dernières années sous de multiples coups de boutoir, les droits de douane. La crise de 1929 avait généré un retour au protectionnisme. Après la Seconde Guerre mondiale, les négociations internationales conduites sous l'égide du GATT⁵ ont ramené « les droits de douane moyens des pays industrialisés sur les produits manufacturés de 40 % en 1947 à 3,9 % » en 2002 (source : Mucchielli et Mayer, op. cit.). Sur une longue période, la comparaison entre grands pays est intéressante. Les

¹ Caves & Jones, p. 111.

² Grâce à la géothermie.

³ Cela dépend évidemment des conditions de prêt et du cours de l'aluminium. L'industrie comporte une part de risques...

⁴ https://www.lightmetalage.com/producers_primary.php

⁵ GATT : General Agreement on Tariff and Trade, « résultat de négociations entre 23 pays à Genève en 1947... (il a été transformé) en une réelle organisation internationale, l'Organisation mondiale du commerce (OMC) en 1995. Il y avait en octobre 2004, 147 pays membres, soit l'essentiel des pays engagés dans les échanges internationaux ». D'après Mucchielli et Mayer.

chiffres globaux ci-dessous expliquent notamment pourquoi, en 1912, l'industriel français Adrien Badin a entrepris la construction d'une usine aux États-Unis, dans une ville qui porte aujourd'hui son nom :

	Tarif douanier moyen en %						
	1875	1913	1931	1950	1980	1990	2001-2002
Allemagne	4-6	13	21	26			
Belgique	9-10	9	14	11			
France	12-15	20	30	18			
Royaume-Uni	0	0	-	23			
Union Européenne	-	-	-	-	5,7	5,9	4,1
États-Unis	40-50	44	48	14	7	4,8	3,4

Source : Bairoch (1994) et OMC (2002), dans Mucchielli et Mayer, *op. cit.*

Des chiffres spécifiques à l'aluminium seront indiqués dans la partie consacrée au traitement des données.

La classification des produits : « la nomenclature la plus utilisée à l'heure actuelle est appelée le 'Système harmonisé de désignation et de codification des marchandises' (Système harmonisé ou SH¹) ». Les produits y sont identifiés par un code à six chiffres qui sert à quantifier les échanges. Il existe aussi une classification internationale type des industries (CITI) élaborée par l'ONU. Des précisions sur la composition des échanges des États-Unis par catégorie de produits se trouvent dans les publications de l'USGS.

Les indicateurs portant sur les échanges² : l'indicateur de Balassa est un indicateur d'avantages comparatifs révélés. Il témoigne de la spécialisation d'un pays en comparant la part des exportations d'un secteur dans les exportations totales du pays au même ratio calculé pour une zone de référence qui peut être l'OCDE ou les pays occidentaux producteurs d'aluminium, soit

$$ACR_{ij} = 100 * (X_{ij} / X_{tot}) / (X_{OCDEj} / X_{OCDEtot})$$

Si le ratio est supérieur à 100, le pays i est plus spécialisé à l'exportation dans le secteur j que l'ensemble des pays de la zone de référence, ici l'OCDE. Un autre indicateur de mesure du volume des échanges commerciaux entre deux pays est le modèle de gravité. Bien qu'il intègre — ou parce qu'il intègre — la distance entre pays, il ne semble pas à lui seul pouvoir expliquer à la fois le commerce³ entre les États-Unis et le Canada, si proches, et entre le Canada et le Royaume-Uni, si éloignés, qui repose sur d'autres fondements.

Depuis 1975, date du livre de Grubel et Lloyd, une distinction importante est faite entre le commerce intra-industriel et le commerce interindustriel. « Le développement du commerce intra-industriel implique une rationalisation des producteurs à l'intérieur d'un secteur donné⁴ », c'est donc celui qui importe ici. « L'indicateur de Grubel et Lloyd, GL_j... donne pour un secteur j, le taux de recouvrement entre les flux d'importations et d'exportations pour une même industrie :

¹ Source OMC d'après Mucchielli et Mayer, *op. cit.*

² Mucchielli et Mayer, *op. cit.* (p. 30 & sq.).

³ D'aluminium bien sûr !

⁴ Mucchielli et Mayer, *op. cit.* (p. 39 & sq.).

$$GL_j = [(X_j + M_j) - |X_j - M_j|] / (X_j + M_j)$$

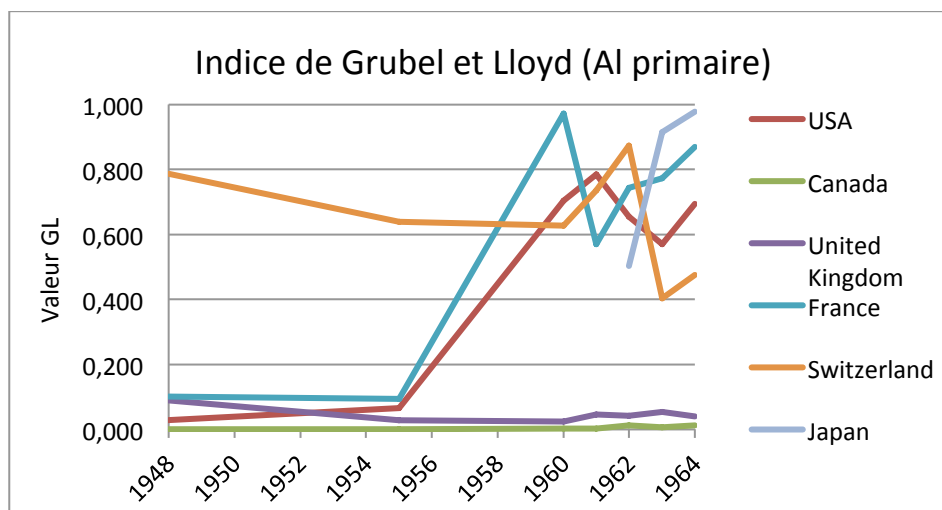
On considère que la valeur de GL_j représente le commerce intra-industriel dans l'industrie considérée. Il existe des réserves liées à un éventuel biais géographique qui ne s'applique pas ici, le secteur est homogène.

Voici d'abord les valeurs de GL pour l'aluminium primaire :

Indice de Grubel et Lloyd pour l'aluminium primaire dans plusieurs pays producteurs, entre 1948 et 1964							
Area	1948	1955	1960	1961	1962	1963	1964
USA	0,029	0,065	0,704	0,786	0,654	0,569	0,694
Canada	0,000	0,000	0,002	0,003	0,013	0,006	0,013
Royaume Uni	0,089	0,028	0,024	0,046	0,042	0,055	0,040
France	0,100	0,094	0,971	0,570	0,743	0,772	0,870
Belgique-Lux.	0,514	0,064	0,028	0,017	0,023	0,018	0,019
Suisse	0,787	0,639	0,628	0,735	0,873	0,404	0,476
Japon					0,502	0,916	0,979

Source des graphiques : Brubaker, 1967, calculs de l'auteur.

Les fortes fluctuations annuelles, surtout à partir de 1960, sont mieux mises en évidence par des courbes ci-dessous :



Le commerce intra-industrie de l'aluminium primaire a commencé à être important aux USA entre 1955 et 1960 ; entre 1960 et 1964, les fluctuations annuelles sont fortes¹ donc il existe des surcapacités ; au Canada et au Royaume-Uni, le commerce n'est pas significatif d'échanges sur toute la période considérée, le premier exporte, le second importe ; en France aussi, il a pris de l'importance entre 1955 et 1960 puis il a oscillé ; la Belgique ne produit pas, elle commerce sur de faibles quantités ; la Suisse est l'exception car son commerce intra était déjà important en 1948 et il a

¹ Ces fluctuations existent déjà au niveau moins agrégé, celui de la production d'aluminium primaire. Elles seront commentées dans la partie économétrique.

fortement décri en 1963 et 1964 ; enfin, le Japon a fait une apparition en 1962, devenue très importante — sur des tonnages faibles — en 1963 et 1964. Les autres pays cités par Sterling Brubaker¹ étaient soit importateurs, soit exportateurs, dans un commerce extra.

Brubaker fournit aussi, pour un grand nombre de pays, les chiffres d'export et d'import pour tous produits en aluminium y compris le métal transformé. Comme le montre le tableau ci-dessous, les résultats du calcul sont bien différents et témoignent de l'intensité des échanges de branche entre pays, et aussi de leurs fluctuations :

Indice de Grubel et Lloyd pour l'aluminium dans plusieurs pays producteurs							
Area	1948	1955	1960	1961	1962	1963	1964
USA	0,762	0,202	0,778	0,782	0,711	0,674	0,785
Canada	0,023	0,024	0,025	0,035	0,112	0,122	0,123
Royaume-Uni	0,573	0,298	0,263	0,342	0,355	0,321	0,235
France	0,386	0,165	0,738	0,474	0,612	0,604	0,692
Belgique-Luxembourg		0,702	0,742	0,773	0,818	0,798	0,786
Suisse	0,623	0,959	0,930	0,907	0,885	0,583	0,573
Japon		0,024	0,614	0,484	0,997	0,855	0,993

Dans son important travail sur *l'Économie mondiale, 1820-1992*, Maddison² présente un bilan sous le titre d'« interdépendance des économies » et parle d'« économie mondiale interactive ». Ainsi, les échanges ont-ils favorisé les pays bénéficiant d'un avantage naturel hydraulique, Canada et Norvège par exemple, alors que la bauxite n'a pas permis le développement de la Guinée, des Caraïbes ou du Suriname. L'avantage naturel est une condition favorable, il n'est pas toujours suffisant. Certains avantages « ont pu être exploités grâce aux progrès enregistrés dans le domaine des transports », par exemple le Royaume-Uni importe depuis longtemps de l'aluminium du Canada. « Les échanges commerciaux ont également contribué à la diffusion de nouveaux produits et de nouvelles technologies. À cet égard, leur rôle a été renforcé par les flux d'investissements internationaux qui ont plus encore facilité la diffusion des progrès techniques et organisationnels ».

La situation de l'aluminium s'intègre bien dans cette description, même si « Il faut aller au-delà des causes quantifiables pour chercher des strates d'explication plus profondes. Il s'agit d'une tâche complexe, compte-tenu du nombre de causes interdépendantes dont l'incidence individuelle est difficile à définir. Les États-nations possèdent des institutions, des traditions et des politiques différentes qui influent beaucoup sur le jeu des forces du marché au niveau microéconomique. D'où la nécessité d'utiliser tout un éventail de chiffres de natures différentes, permettant d'explorer les niveaux de causalité immédiats et indirects ». Cette citation justifie la multiplicité des pistes suivies dans cette étude.

Au plan du dynamisme de la croissance, Maddison identifie et classe trois périodes. La plus faste en termes de revenu par habitant va de 1950 à 1973, la seconde de 1870 à 1913 et la troisième de 1973 à 1992. Ce découpage, justifié par la macroéconomie, s'impose aussi à l'aluminium. Il servira, mais chaque période est bien courte. Le décollage de la Chine dans le domaine apparaît en 1992 et

¹ *Trends in the World Aluminum Industry*, Sterling Brubaker, Johns Hopkins Press, 1967.

² *L'Économie mondiale 1820-1992, Analyse et statistiques*, Angus Maddison, OCDE, Paris, 1995.

marque le commencement du déclin relatif des anciens pays producteurs. Sa conclusion sonne comme une évidence : « L'évolution globale à long terme des écarts de revenu reflète une remarquable disparité entre les régions étudiées... les variations du PIB par habitant ne sont pas identiques à celles de la consommation privée par habitant » et l'explication suit de près : « l'augmentation de la part non dévolue à la consommation reflète l'effort nécessaire pour maintenir le niveau de croissance. » Cet effort s'est manifesté en faveur de « l'amélioration du capital humain (santé et éducation) » et de « l'augmentation massive du capital physique ». Il se pourrait donc que certaines difficultés contemporaines de fonctionnement trouvent précisément leur origine dans le fait que le capital-outil des années d'après-guerre, usé ou obsolète, doive être remplacé ou à tout le moins remis en état d'assurer ses fonctions en mode le moins dégradé possible, ce qui nécessite à la fois une grande quantité de monnaie et un consensus social sur son usage. Ainsi, une importante différence de compétitivité entre pays industrialisés et pays en développement pourrait venir de la difficulté relative des premiers à adopter un raisonnement schumpetérien, tant en matière de capital que de comportement collectif.

La multiplicité des périodes et des variables explicatives rend impraticable l'idée d'un seul modèle représentatif¹. Peut-être faudrait-il penser à une série discontinue d'approximations visant à décrire le changement entre des situations hétérogènes, fruits d'une intuition, d'une invention, d'une expérimentation ou de décisions de dirigeants souvent opportunistes et parfois risquées. Un modèle d'offre² reconstitué devrait, en premier, identifier et lier les facteurs de production, les variables exogènes critiques et les quantités de produits ; ensuite, positionner dans le temps les différentes étapes de la croissance³ de l'industrie et de la vie des entreprises ; enfin, situer les points de rupture ou de changement des paradigmes de la croissance. Difficile à établir, il serait de peu d'intérêt car il n'aurait aucun pouvoir d'anticipation : personne ne peut orienter le changement.

iii. Géographie économique

En 1990, devant les étudiants de Louvain, le Pr. Paul Krugman⁴ a donné ses lettres de noblesse à la géographie économique en se proclamant adepte de la discipline qu'il définit comme « la localisation de la production dans l'espace », c'est-à-dire « l'endroit où les choses se passent, en relation les unes avec les autres ». De fait, dans le cas de l'aluminium et de ses débuts si importants pour la suite, le recul du temps montre combien serait incomplète une comparaison entre la Suisse, l'Allemagne, la France⁵, le Royaume-Uni ou les États-Unis qui ne tiendrait, par exemple, aucun compte des distances, de la répartition des populations et de l'existence des « arrière-pays » — en l'occurrence le Canada ou la Norvège. Comment parvenir à la compréhension des échanges entre

¹ Cf. citation de G. L. S. Shackle, en exergue.

² Comment modéliser la demande, somme de décisions individuelles de millions de consommateurs ? EDF s'y emploie avec des méthodes statistiques innovantes, mais le sujet est fondamental pour eux. Le Service des mines américain, USGS, calcule une consommation apparente annuelle qui intègre plusieurs formes d'offre d'aluminium, primaire, secondaire, importations et stocks.

³ Il ne s'agirait pas de copier Walt Rostow, mais d'accepter l'idée que les mêmes causes produisent, quand rien ne s'y oppose, des effets comparables.

⁴ *Geography and Trade*, Paul Krugman, Leuven University Press & The MIT Press, 1991.

⁵ Il existe de nombreuses monographies qui décrivent une situation locale ou régionale, à un moment donné, comme celles relatives à l'usine de Foyers en Écosse, tournées vers l'histoire de l'électricité ou de l'aluminium, d'autres comme celle d'une *Grande Compagnie industrielle française : Pétichiney* faite par la géographe Monique Périères, In: *Revue de géographie alpine*. 1955, Tome 43, n° 1, pp. 151-212, et celle d'envergure plus large de Germaine Veyret-Verner, *Une industrie en pleine expansion : L'aluminium*, In: *Revue de géographie alpine*. 1956, Tome 44 N°2, pp. 311-342. Elles fournissent de précieuses données, parfois des cartes d'implantation très significatives, et se prêtent à des analyses comparatives de statique économique.

pays sans connaître les spécificités internes de chacun d'eux, identifiées au niveau régional, interroge Krugman ? Cette exigence justifie la connaissance des analyses de Galbraith et de Caves, et elle entraîne plus loin. Elle incite à aborder — au plan théorique d'abord, puis concrètement pour l'aluminium — les aspects de la concurrence imparfaite qui tiennent compte à la fois des effets des rendements croissants¹ et des critères objectifs de localisation des lieux de production.

En matière de concurrence imparfaite, l'industrie de l'aluminium est longtemps² restée un exemple célèbre, avec la situation de monopole d'Alcoa et les multiples ententes successives entre les autres producteurs occidentaux. Devant la Justice, Alcoa a plaidé un rôle modeste dans le recyclage qui s'était développé dès la Première Guerre et représentait 30 % du total des tonnes d'aluminium produites aux États-Unis entre 1913 et 1938. Plus tard, des économistes se sont intéressés aux conséquences³, sur le prix de l'aluminium primaire, d'un marché de seconde fusion en forte expansion et d'un excès d'investissement dans la première fusion. Mais ce qui semble peu conforme à la classique concurrence pure et parfaite n'est pas visé par l'analyse de Krugman. Il met en avant une autre dimension, antagoniste du bien-être du consommateur en ce qu'elle tend à favoriser les situations de monopole. Il s'agit des rendements croissants, déjà évoqués à plusieurs reprises sans démonstration de leur existence et sur lesquels il faut encore revenir.

Les rendements d'échelle croissants⁴ semblent avoir joué un rôle essentiel dans l'industrialisation de la fin du XIX^e siècle et du début du suivant. Ils ont déjà été évoqués dans la présente partie B, au § a II ii, toutefois sans conclure. La synthèse de Douglass G. North⁵ and Co., de la croissance de la production industrielle à grande échelle de 1860 à 1914 porte sur quatre secteurs, l'acier, le pétrole, l'électricité et l'automobile. L'auteur évoque la taille des firmes, leur organisation pyramidale, le coût et la capacité, fortement croissants, des unités de production, et enfin la baisse tendancielle des prix mais il ne se prononce pas sur le sujet. Krugman utilise un raisonnement inverse que l'industrie de l'aluminium conforte : « la concentration géographique de la production est la preuve évidente de l'influence omniprésente de formes de rendements croissants ». En deux lignes, il décrit la situation américaine sur ce plan : « la majeure partie de la population d'un pays immense et fertile vit sur des espaces réduits, le long des deux côtes et près des Grands Lacs... Les zones urbaines... sont très spécialisées et, pour nombre d'industries, la production est remarquablement concentrée dans l'espace ».

La taille et les lieux d'implantation des usines d'aluminium aux États-Unis — et aussi d'alumine — confortent cette analyse ainsi qu'en attestent des cartes établies à des dates différentes par

¹ Krugman définit ainsi l'effet des rendements croissants sur le commerce international : « la prise en compte des rendements croissants implique que les pays échangent parce que la spécialisation offre des avantages, même pour des pays similaires à l'origine ». Au commencement de l'aluminium, la spécialisation — par la localisation — résultait du besoin impérieux d'électricité d'origine hydraulique — avantage absolu — et de considérations techniques connexes. La croissance de la demande a dû intégrer la contrainte, relâchée toutefois par la concurrence du charbon et du fuel puis par le progrès technique.

² Jusqu'au jugement qui, en 1945, a frappé Alcoa après un très long procès, voir plus haut.

³ *Alcoa Revisited: The Welfare Implications of a Secondhand Market*, Journal of Economic Theory, 7, pp. 254-271 D. Gaskins, 1974. Et *Alcoa revisité : Recyclage, pouvoir de marché et politiques environnementales*, Jean De Beir, Guillaume Girmens, Économie Internationale Volume 120, Issue 4, 2009, pp. 37-52.

⁴ Dans cette étude, les rendements d'échelle croissants concernent les usines et non les entreprises. Ils sont observables par comparaison entre deux usines. Ils existent quand le coût unitaire de production (\$/tonne) diminue alors que la taille (capacité de production) augmente grâce au progrès technologique. Quand la taille de l'usine augmente à technologie constante, les rendements sont liés au facteur du capital.

⁵ *Growth & Welfare in the American Past: A New Economic History*, Third Edition, Douglass North, Terry Anderson and Peter Hill, Prentice-Hall, Inc. 1983.

Mrs Patricia Plunkert ou M^{me} Germaine Veyret-Verner¹. Les « formes de rendements croissants », toujours subordonnées à la disponibilité de quantités suffisantes d'électricité et à la technologie, ont changé dans le temps. Elles ont porté sur l'effet de taille, tantôt pour l'aluminium, tantôt pour l'électricité, sur l'amélioration des procédés et de la productivité, sur la diminution de l'investissement par tonne, souvent sur deux choses en même temps. Plus généralement, d'importantes différences dans le nombre d'unités de production sont observables dans toute l'industrie de l'aluminium par comparaison entre les localisations des usines d'électrolyse, d'affinage et de transformation. Quand la taille, mesurée par les tonnes, et le coût en capital d'une unité-type de production diminuent, leur nombre augmente et leur dispersion s'accroît, quelques cartes le montreront sur l'exemple des États-Unis.

La difficulté de prouver que les choses se passent comme ci ou comme ça, même dans un domaine homogène et restreint, résulte sans doute de la possibilité d'expliquer une observation par un raisonnement ou par un autre. Ainsi, Krugman présente des opinions différentes des siennes en trois exemples : « Je suis convaincu que la spécialisation internationale résulte pour partie du hasard et de l'arbitraire ; mais tout le monde n'est pas d'accord et les données manquent pour conclure. Paul Romer est persuadé que les rendements croissants jouent un grand rôle dans la soutenabilité de la croissance ; tout le monde n'est pas d'accord et personnellement je suis agnostique. Robert Hall pense que les rendements croissants jouent un rôle crucial dans le cycle des affaires — il prétend qu'une ville et un boom sont au fond la même chose, l'un dans l'espace et l'autre dans le temps — tout le monde n'est pas d'accord et pour ma part je pense que c'est absolument impossible ». Il sera intéressant d'observer, en rapport avec les convictions énoncées ci-dessus, des chiffres relatifs à l'augmentation dans le temps de la taille des usines d'aluminium et de l'intensité du courant d'électrolyse pour donner une réponse à la question : a-t-il existé une succession d'équilibres de l'offre et de la demande ou une suite de barrières technologiques sans cesse repoussées ? À plusieurs reprises, dans la présente étude, il a été fait référence à Kaldor ce qui justifie de citer Krugman à son sujet : « Le rôle de l'histoire et du hasard dans la localisation de la production est visible à toute échelle... Et cette dépendance constitue la preuve la plus évidente que nous vivons dans une économie plus proche de la vision de Kaldor d'une dynamique produite par des procédés cumulatifs, appuyés sur des rendements croissants, que d'un modèle de rendements constants ».

Les objectifs du cycle de Conférences qui a donné naissance au livre de Kaldor², sont en permanence reliés au commerce international et définis ainsi : « montrer que les rendements croissants sont omniprésents dans l'économie et aussi qu'ils assignent un rôle historique déterminant à la géographie des économies réelles ». Ces deux objectifs sont aussi ceux du présent paragraphe, pour l'aluminium. La démonstration qu'en propose Krugman s'effectue en deux étapes, d'abord par l'exemple d'une forte concentration industrielle régionale observée naguère aux États-Unis et ensuite par un modèle mathématique « cohérent, rigoureux et élégant d'une économie sujette à des rendements croissants ». Seul l'aspect littéral sera abordé, à partir du livre de Krugman. Ensuite, une comparaison des constructions, extensions, fermetures et délocalisations d'usines sera établie pour montrer la situation récente de l'industrie aux États-Unis³. Ainsi, la réalité sera

¹ Déjà citées. D'autres sources ponctuelles confirment et complètent cette représentation, comme la publication sous le titre *Aluminum, Profile of an Industry* d'articles mensuels de Metals Week, McGraw-Hill Inc. de 1968 par Philip Farin, Ed. La carte des USA (p. 37) compare première et seconde fusion en localisation et en nombres de sites producteurs ; voir plus loin.

² *Economy without Equilibrium*, Nicholas Kaldor, M.E. Sharpe Inc. 1985.

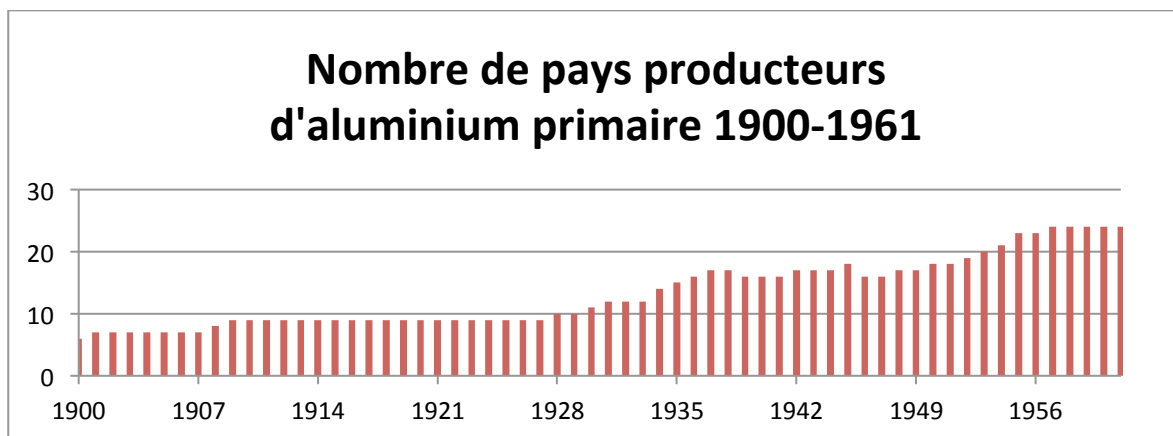
³ Des synthèses comme celles du Pr. Merton Peck, *The World Aluminum Industry in a Changing Energy Era, Resources for the Future* (RFF), Washington DC, 1988 et de Sterling Brubaker, *Trends in the World Aluminum*

confrontée à des critères rationnels de localisation. L'Europe serait certainement un terrain d'études aussi intéressant. Cependant le nombre de pays et leur territoire exigu, la concurrence entre eux sur tous les plans, les destructions des guerres, le manque d'homogénéité et de transparence des résultats rendent l'accès aux données et l'explication des faits plus difficiles et donc plus incertains.

a) Géographie et brève histoire de la production mondiale d'aluminium

Il est établi que la géographie physique a vite conditionné la localisation des usines d'aluminium à proximité de chutes d'eau aménageables afin d'abaisser leurs coûts de production. Ensuite, un « *petit* » degré de liberté est apparu avec la construction de centrales électriques au gaz et au fuel qui a élargi le choix des emplacements appropriés mais augmenté le prix du kWh. Aux yeux des producteurs « traditionnels », les bons sites potentiels demeuraient peu nombreux et la localisation était un enjeu capital, objet d'une véritable concurrence et parfois d'une course de vitesse.

La répartition de la production dans le monde, concentrée dans les pays occidentaux jusqu'en 1930, a changé avec l'anticipation de la guerre : apparition du Japon, de la Suède, de Taïwan et de la Yougoslavie, puis de l'Inde et du Brésil, et en 1950 de l'Australie et du Cameroun. Les pays de l'est, d'Asie et d'Afrique ont progressivement pris une part de plus en plus importante — voir chiffres et graphiques ci-dessous.



Source : L'Aluminium, Pierre Barrand et Robert Gadeau, Éditions Eyrolles, 1964

La nature stratégique du jeune métal a joué à plein jusqu'à la guerre de Corée, pour les États-Unis qui voulaient sécuriser leurs approvisionnements. Ils passaient d'énormes commandes et ont constitué, puis géré, un stock stratégique. En 1957-1958, les Américains ont investi à l'étranger, dans l'électrolyse et dans la transformation, en raison d'une surcapacité aux États-Unis. En 1968, les trois grands électrolyseurs US participaient à la production primaire dans 11 pays étrangers et, de leur côté, les producteurs étrangers avaient des intérêts à l'extérieur, y compris aux États-Unis¹ : la production était passée du stade régional au stade international. À partir de 1980, époque charnière entre toutes, la production s'est étendue à un grand nombre de pays² (passage de 24 pays producteurs en 1960 pour 4,635 millions de tonnes annuelles, à 26 pays en 1970, 44 pays en 2000

Industry, RFF, Johns Hopkins Press, 1967 décrivent finement la situation et fournissent des pistes pour une compréhension approfondie des mécanismes en jeu. Elles complètent les rapports factuels du Bureau américain de l'USGS, notamment ceux de Mrs Plunkert, dont la source est :

<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/aluminum/index.html#mcs>

¹ Source: *Aluminum, Profile of an Industry*, Metals Week, McGraw-Hill Inc. 1969, *op. cit.*

² Les publications annuelles de l'USGS contiennent des informations détaillées qui permettent de suivre l'évolution géographique des implantations dans le monde depuis 1930.

pour une production totale de 24 millions de tonnes¹, et enfin, en 2008, 42 pays et 39 millions de tonnes²).

L'augmentation du nombre des producteurs est passée par l'arrivée d'entreprises nationalisées. Ainsi, en 1981, ces dernières, nationalisées en partie ou totalement, comptaient pour 46 % de la capacité d'aluminium mondiale — Pechiney, nationalisé en 1981, inclus. Du côté des *Big Six*, les trois producteurs basés aux USA détenaient encore 60 % de la capacité nationale. L'existence de sociétés aussi dominantes, qu'elles soient publiques ou privées, peut avoir joué un rôle dans l'ajustement structurel induit par le changement de la compétitivité internationale. En effet, parce qu'elles étaient déjà installées dans nombre de pays, ces sociétés disposaient d'un fort pouvoir de négociation et pouvaient placer leurs nouvelles usines dans les pays très attractifs en matière de coûts de l'énergie, ce qu'une société purement nationale faisait plus difficilement. Elles s'autorisaient aussi à concentrer leur production dans leurs usines les plus productives, sans beaucoup de considération pour les pays concernés par les arrêts induits, sauf à tenir compte des coûts d'arrêt et de démarrage, des relations de travail et des contrats d'énergie assortis de clauses de type *take or pay*. Il est difficile d'évaluer la durée pendant laquelle cet avantage a joué en faveur des *Big Six* car, au fil des années, d'autres producteurs ont su profiter de facilités équivalentes à l'échelle mondiale.

En cent ans, les productions annuelles ont considérablement augmenté dans toutes les régions du globe. Cependant, la géographie de la production a changé depuis la Seconde Guerre mondiale et plus récemment avec l'apparition de nouveaux marchés. La production primaire des États-Unis décroît depuis 1980 mais semble pouvoir se stabiliser à l'horizon 2030, alors que celle de l'Europe de l'Ouest décroît depuis 1979 et se dirige vers un pourcentage mondial très bas (3 %) suivant les prévisions du CRDT rapportées ci-dessous. La nouvelle spécialisation est patente. Toutefois, elle paraît excessive en Chine qui vient, début 2014, d'augmenter la taxe sur le prix du courant — information du marché de Shanghai. Les graphiques et tableaux ci-dessous mettent en évidence les évolutions relatives de la production dans le monde.

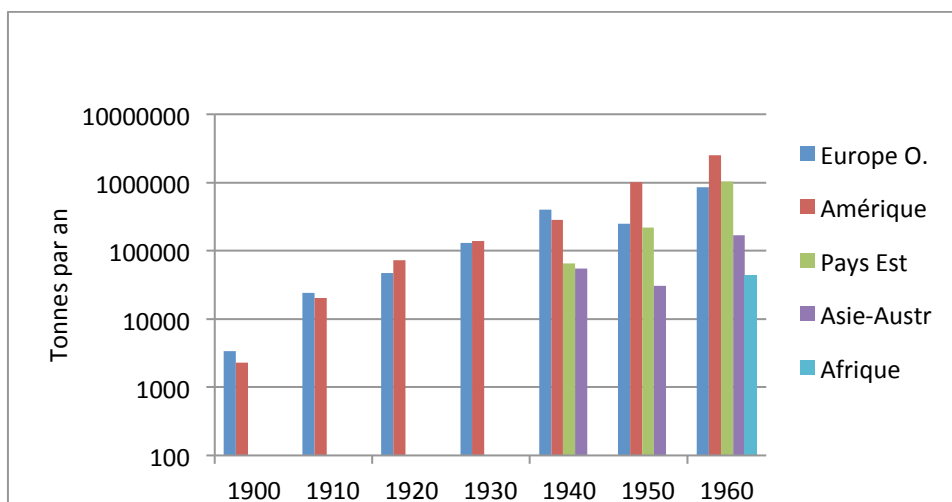
¹ Source : *Aluminium*, P. Plunkert, usgs, 2000. Source :

<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/aluminum/050400.pdf>

L'augmentation du nombre de pays accroît l'imprécision des comparaisons dans le temps et les risques d'erreur car les définitions de la production — primaire ou recyclé — peuvent différer d'un pays à l'autre.

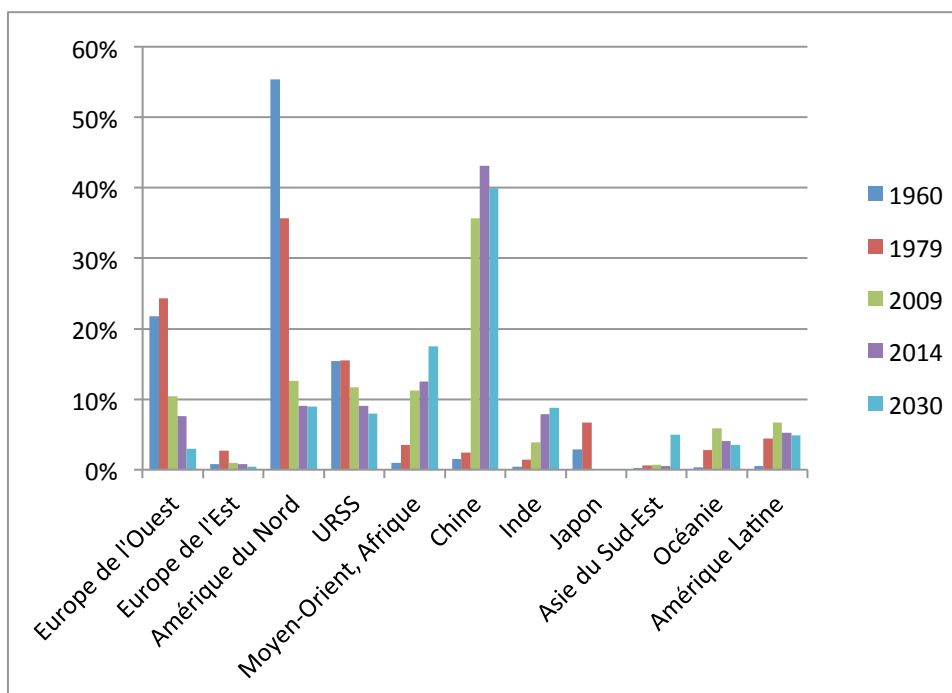
² Source : CRDT, UQAC, Canada. La multiplication des sources fait apparaître des écarts, parfois importants. Ils peuvent avoir pour cause des actualisations plus ou moins fréquentes sur les sites internet. Ils peuvent aussi refléter des appréciations personnelles des spécialistes. Une question relative aux différences entre chiffres IAI et USGS a reçu de Lee Bray, spécialiste de l'USGS, la réponse suivante : "Looking at the world production table for the 2013 Minerals Yearbook (which is currently in review and has several revisions to prior years' data), and the IAI website, I suspect that the main reason is the "China estimated unreported" data in IAI's spreadsheet. The USGS only includes production reported by the China Non-ferrous Metals Industry Association. We really don't know how IAI estimates unreported production, so we don't include it; I really don't think there is significant unreported production".

Répartition géographique de la production mondiale de 1900 à 1960



Source : L'Aluminium, Pierre Barrand et Robert Gadeau, Éditions Eyrolles, 1964.
Échelle logarithmique des tonnes.

Évolution de la répartition de la production mondiale d'aluminium primaire par régions du monde, 1960-2030



Source : Le Complexe Jonquière, CRDT, UQAC, Québec

Représentation de la production mondiale d'aluminium primaire en proportions par années et régions

	Europe de l'Ouest	Europe de l'Est	Amérique Du Nord	URSS	Moyen-Orient / Afrique	Chine	Inde	Japon	Asie du Sud-Est	Océanie	Amérique Latine
1960	21,8 %	0,80 %	55,40 %	15,4 %	1,00 %	1,50 %	0,40 %	2,90 %	0,20 %	0,30 %	0,50 %
1979	24,3 %	2,70 %	35,70 %	15,5 %	3,50 %	2,40 %	1,40 %	6,70 %	0,60 %	2,80 %	4,40 %
2009	10,4 %	1,00 %	12,60 %	11,7 %	11,20 %	35,70 %	3,90 %	0,00 %	0,70 %	5,90 %	6,70 %
2014	7,60 %	0,80 %	9,10 %	9,10 %	12,50 %	43,10 %	7,90 %	0,00 %	0,50 %	4,10 %	5,20 %
2030	3,00 %	0,40 %	9,00 %	8,00 %	17,50 %	39,90 %	8,80 %	0,00 %	5,00 %	3,50 %	4,90 %

Source : CRU (2009) ; IAI (2010) ; d'après CRDT, UQAC, Québec

Les usines neuves ont de tout temps fourni l'occasion de passer aux technologies les plus performantes, mises en œuvre à plus grande échelle, sans pour autant interrompre la production des usines anciennes qui parfois duraient tant qu'elles demeuraient rentables. Elles bénéficiaient de l'augmentation de la longueur¹ des séries de cuves d'électrolyse, toujours contrainte par la technologie, pour accroître la production. Elles apportaient une amélioration des voies de communication, routes, voies ferrées et très souvent port, afin de réduire leurs coûts de transport. Récemment, des investissements à l'étranger, accompagnés de fermetures d'établissements locaux, ont provoqué une fausse mobilité de la main-d'œuvre.

b) Le cas américain de la Ceinture manufacturière² et l'aluminium

Paul Krugman a commencé sa Conférence de 1990 par l'histoire de ce que les Américains appellent — ou plutôt appelaient — leur « ceinture manufacturière ». Large parallélogramme, elle couvre une vaste Région qui s'étend de la côte nord-est à la partie nord-est du Middle-west, au nord d'une ligne Portland-St-Louis — voir carte ci-après. Elle s'est construite dans la seconde moitié du XIX^e siècle et a conservé sa vitalité jusqu'aux années 1960 environ. À sa grande époque, elle comprenait pratiquement toutes les industries dites « libres³ », c'est-à-dire non attachées à des lieux précis, ni par le besoin d'être proche des consommateurs, ni en raison d'une dépendance quelconque envers des sources de ressources naturelles. Pourtant liées à ce critère-ci, les premières usines d'aluminium se sont installées dans la Région — ce n'est peut-être pas un hasard — près du

¹ En première approximation, pour une technologie donnée, la production est proportionnelle à la longueur de la série de cuves — ou, mieux, à la surface des cuves d'électrolyse (m²).

² « L'histoire de cette concentration géographique est racontée par David Myers (1983) », écrit Krugman qui cite aussi : « l'œuvre de Chandler (1990) relative à l'apparition de la grande industrie entre la Guerre Civile et les années 1920. Il montre qu'industrie après industrie, un 'first-mover' a tracé la route, profitant d'une nouvelle technologie et de coûts de transport en baisse pour construire une ou deux usines de grande taille pour l'époque, destinée à alimenter tout le marché intérieur. Bien que le point ne soit pas souligné par Chandler, ces premières installations ont toutes été localisées dans la 'manufacturing belt'. Parfois le choix était dicté par la disponibilité de ressources naturelles spécifiques — par exemple, l'hydroélectricité pour les 'smelters' de Niagara Falls — mais l'accès au marché semble avoir joué un rôle éminent en éliminant les sites extérieurs à cette Région ». Cette référence concerne clairement Alcoa et ses premières constructions.

³ Ce qualificatif exclut *a priori* l'aluminium du champ de l'étude. Cependant celle-ci conserve tout son intérêt comparatif en raison de la précision de ses hypothèses et de la rigueur de son raisonnement.

milieu de sa limite nord, à l'est des Grands Lacs. Ce furent les usines de Niagara Falls et de Massena¹. Réciproquement, l'agriculture y était différente de celle de son environnement distant. Plus intensive en main-d'œuvre, elle était tournée vers la production laitière et la culture maraîchère dont les produits étaient consommés à proximité de leur lieu de production.

La double spécialisation, industrielle et agricole, a longtemps résisté aux évolutions d'ensemble du pays. Dans les années 1870, la zone occupait 44 % de l'emploi américain dans les activités de l'agriculture et de la pêche, et de la production minière et forestière. Vers 1910, cette part avait fondu jusqu'à 27 %, alors que la région occupait encore 70 % de l'emploi industriel. De même, au début, de l'électricité était produite sur place, et du charbon et du pétrole étaient extraits du sol. Puis, à partir des années 1950, la plus grande partie des matières premières consommées est arrivée de l'extérieur. Malheureusement pour la population, l'essentiel de l'activité ancienne n'a pas été préservé longtemps au-delà des années 1960. Beaucoup d'usines ont été arrêtées, un fort taux de chômage s'est installé et le surnom de la Région a changé pour celui peu enviable de '*Rust Belt*'.

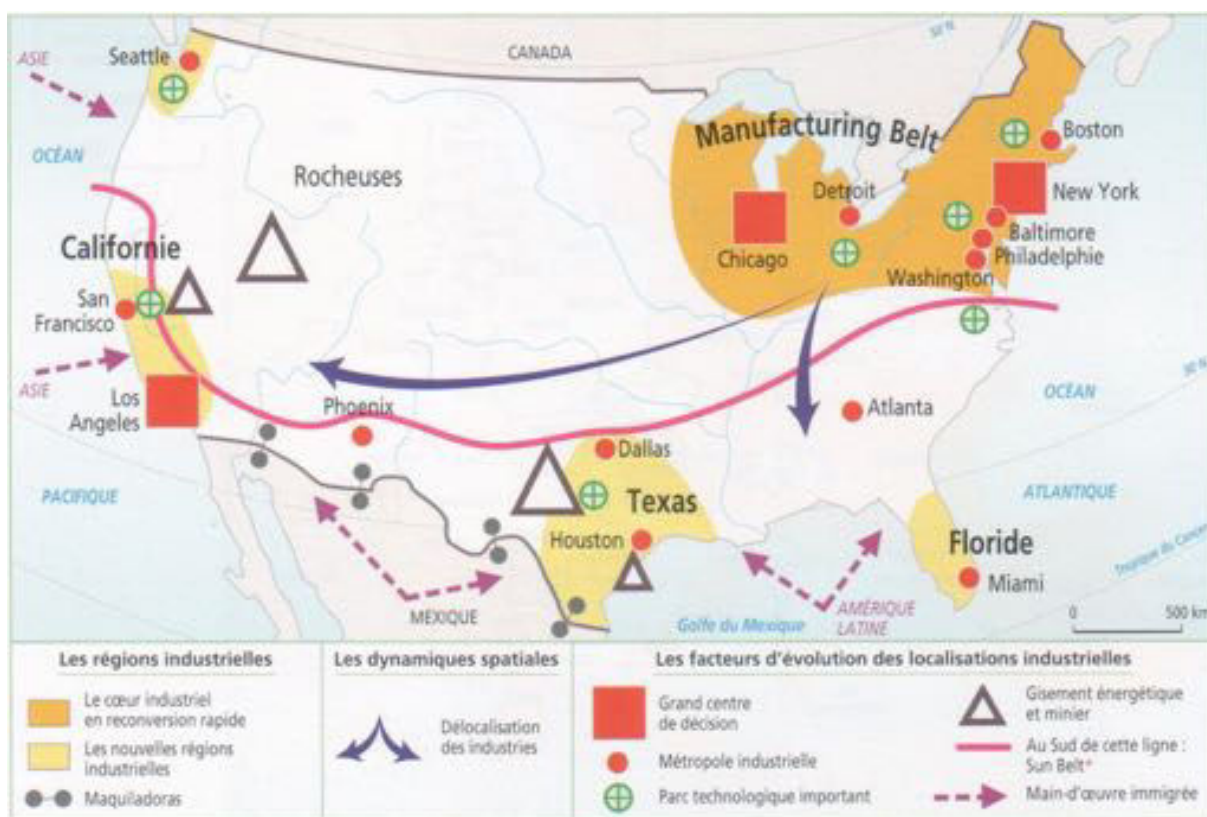
À quoi imputer la longévité puis la fin rapide de cette situation ? La réponse que Krugman qualifie d'évidente est que chaque activité manufacturière reste sur place tant qu'elle tire un profit réel de la présence des autres manufactures locales et, sans doute implicitement, de la disponibilité de services pour elle et pour son personnel. Une fois le regroupement des activités effectué, aucun producteur n'a intérêt, à court ni même à moyen terme, à partir spontanément s'installer ailleurs, loin des uns ou des autres. Il attend que se produise un changement majeur qui lui fera comprendre où il doit aller s'installer. Une conséquence sociale grave vient de ce que son départ laisse un vide d'activité que rien ne comble à court terme². La carte des États-Unis ci-dessous traduit le déplacement de masse vers des pays plus ensoleillés, mais aussi plus neufs en termes de marché et de découverte de gisements de gaz et de pétrole...

¹ Une description de l'usine de Massena, construite pour partie en 1902 et qui emploie encore 1400 personnes, est disponible sur le site d'Alcoa. L'usine de Niagara Falls, toute proche, fut arrêtée en 1949. Dans les deux cas, la cause de l'implantation est la construction de centrales hydroélectriques qui ont aussi servi de source d'énergie pour d'autres industries venant s'installer à proximité. La question du pourquoi que pose Krugman trouve dans ce cas une réponse simple. Source :

http://www.alcoa.com/massena_operations/en/info_page/overview.asp

² Et qui aboutit, en particulier, à la situation actuelle de faillite de la ville de Détroit.

Carte de l'évolution des localisations industrielles aux États-Unis



Source : http://www.lethist.lautre.net/img_usa/USA_espaces_industriels.jpg (2012)

Un excellent parallèle avec la localisation de l'aluminium primaire est effectué par Jacques Donze¹ qui explique : « Jusqu'à la fin des années 60, le facteur énergétique est resté le seul véritablement déterminant pour la localisation de l'électrolyse. On a donc assisté à une migration de la production de l'aluminium d'une région à l'autre selon les disponibilités et les rythmes de la conjoncture. Après 1970, l'intervention de facteurs plus complexes a rendu la localisation plus diffuse ». Il représente le déplacement de cette activité sur la carte des États-Unis et du Canada — reproduite dans la sous-partie L'Électricité et l'aluminium — qu'il commente ainsi : « L'industrie de l'aluminium de première fusion nord-américaine se répartit en quatre grandes régions géographiques. Le nord-ouest Pacifique (États de Washington, Oregon et Montana) produisait, en 1981, 1 796 000 tonnes dans 11 usines. Si l'on ajoute... Kitimat, dans le nord de la Colombie britannique (272 000 t), le nord-ouest détient près du tiers de la capacité installée² sur le continent. À l'autre extrémité, la vallée et l'estuaire du Saint-Laurent, ainsi que deux de ses affluents (la Saint-Maurice et la Saguenay), viennent en deuxième position avec 20 % de la capacité (1 264 000 tonnes, réparties en 8 usines, aussi bien canadiennes qu'américaines). Le centre-est et le sud-est des États-Unis, comptant 13 usines, peut se diviser en deux sous-ensembles équilibrés, pour des raisons historiques autant qu'énergétiques :

—le centre-est, ou plus exactement la vallée de l'Ohio, qui possède 6 usines représentant 18 % de la capacité installée (1 164 000 t) ;

¹ *L'industrie de l'aluminium de première fusion dans la région du Saint-Laurent*, Jacques Donze, Revue de géographie de Lyon. Vol. 59 n°4, 1984. pp. 301-329.

² Le rapport entre la production et la capacité installée est appelée le taux de marche. Il varie d'une année sur l'autre ; il est descendu à 65 % pour l'ensemble de l'Amérique du Nord, 84 % en Europe occidentale et 28 % en Asie du Sud-est au mois d'octobre 1982, en pleine crise. Source Donze, *op. cit.*

—le sud-est atlantique (Nord et Sud Caroline, Maryland) et le sud-est central (vallée du Tennessee) qui possède aussi 18 % de la capacité installée (1 157 000 t en 7 usines).

Le sud-ouest des États-Unis enfin (Arkansas, Texas, Louisiane), où sont installées 7 usines représentant environ 975 000 tonnes de capacité, soit 15 % du total.

Avec une capacité totale installée de 6,356 millions de tonnes, les États-Unis et le Canada réunis possèdent donc près de la moitié (47 %) du potentiel de production d'aluminium primaire dans le monde occidental d'après les statistiques de l'I.P.A.I.¹... Mais ce qui marque l'originalité de cet ensemble à l'échelle continentale et qui est d'ailleurs aussi sensible pour l'Europe occidentale, c'est la migration dans l'espace qu'ont subi les sites choisis pour la recherche de la meilleure source d'énergie utilisable possible. En effet chacune de ces quatre ou cinq grandes régions de production, au Canada et aux États-Unis, présente des caractéristiques homogènes de par la forme d'énergie utilisée et surtout la période de développement principale. Tous les producteurs, procédant d'une stratégie identique, ont investi au même moment dans chaque région, les uns après les autres. On observe une migration du nord-est du continent vers le nord-ouest du Pacifique, puis vers le sud-ouest, puis vers le Middle West, pour se diffuser ensuite dans l'une ou l'autre de ces régions plus ou moins élargie au gré des conditions économiques et des débouchés commerciaux ».

Ce phénomène d'implantation de l'activité industrielle là où des sources d'énergie ont été trouvées et mises en exploitation², semble être une caractéristique première des XIX^e, XX^e et XXI^e siècles, voire un « fait stylisé » de la liaison entre électricité et aluminium. Une fois de plus, l'aluminium apparaît comme le précurseur de cette conjonction qui se produit aujourd'hui dans le Golfe persique pour y valoriser le gaz naturel. La pérennité de la situation dépend en premier de la durée de l'approvisionnement en électricité et du progrès technique. Les autres facteurs qui expliquent la rigidité d'une situation établie s'apparentent aux notions de bassin d'emploi et d'aptitude au travail dans l'industrie lourde³. Il faut noter aussi, sans connaître sa justification économique, le maintien pendant des années, en marche réduite ou sous cocon, d'installations techniquement dépassées, voire réputées non rentables⁴.

c) Un modèle de la concentration géographique

Krugman explique comment la « *coalescence* » s'est produite et établit des indicateurs d'évaluation de sa résilience en l'absence de changement majeur. Son modèle d'équilibre général⁵ trouve sa force dans la combinaison de trois composantes économiques : les rendements d'échelle croissants, les coûts de transport et la demande de produits. La tendance naturelle du producteur d'un nouveau⁶ produit est d'essayer de couvrir la totalité du marché — voire de créer à son profit

¹ Dénommée aujourd'hui l'IAI.

² Toutes proportions gardées, l'évolution en France a suivi des voies analogues : l'usine de Noguères (64) a été construite pour utiliser le gaz de Lacq et l'usine de Dunkerque (59) utilise du courant de la centrale de Gravelines, d'origine nucléaire.

³ Ainsi, les Rapports mensuels de Pechiney du début du XX^e siècle expriment la grande difficulté de trouver du personnel et de le stabiliser, dans les usines de Maurienne (Savoie). De ce constat date la politique qui sera qualifiée plus tard de paternaliste qui consistait à construire, à proximité des usines, des logements — voire des cités avec École, église et terrain de sports — pour accueillir les familles.

⁴ Les Américains ont donné à ces usines, capables de redémarrer un beau jour, le nom de « Lazarus plants ».

⁵ Il est présenté dans le livre indiqué ci-dessus, *Geography and Trade*, et décrit de manière mathématique dans plusieurs articles des années 1980-1990, comme *Increasing returns and Economic Geography*, JPE, Vol.99, No.3 (Jun., 1991).

⁶ Cette précision est particulièrement importante dans le cas de l'aluminium. Elle a été suggérée par la ligne de conduite choisie par Alcoa (Cf. 2^e partie § 1. V.) et semble généralisable en donnant tout son sens au mot nouveau.

une situation de monopole et de la faire durer — avec un seul site de production. Hors de toute source de matière première locale, une circonstance favorable se produit quand des effets d'échelle croissants compensent l'augmentation des coûts de transport avec l'éloignement des marchés et renforcent les barrières à l'entrée. Une telle formulation rend compte de la difficulté d'atteindre durablement l'objectif quand entrent en jeu des capitaux considérables, une croissance forte et une concurrence, nationale ou internationale¹. À la fin du XIX^e siècle, les monopoles étaient devenus si puissants aux États-Unis qu'il a fallu légiférer et parfois démanteler des « trusts ». En conséquence, au XX^e siècle, les monopoles furent interdits et certaines sociétés poursuivies devant les tribunaux. Aujourd'hui, les exigences de forte rentabilité des détenteurs de capitaux ont une nouvelle fois modifié la donne et accéléré les transformations à l'œuvre depuis les années 1980. La conséquence en est un rythme de délocalisation d'usines plus rapide et du chômage, là où elles ont disparu. La localisation de la production demeure une question d'actualité, aujourd'hui comme hier, dans un environnement mondial avec d'autres critères et donc de nouvelles valeurs des paramètres.

« Supposons, dit Krugman², un pays constitué de deux régions, appelées Est et Ouest, qui produit des biens agricoles et des biens industriels, avec deux facteurs de production, la terre et la main-d'œuvre. La production agricole est homogène, elle utilise la terre et suit une loi de rendements constants, en concurrence pure et parfaite. La population agricole est supposée égale entre les deux régions, elle est répartie localement en fonction de la fertilité de la terre. En revanche, la production manufacturière qui utilise la main-d'œuvre va s'établir où elle veut, dans une région, ou dans l'autre, ou dans les deux, à raison d'un seul produit par lieu. Elle est différenciée et chaque produit bénéficie de rendements croissants dans un marché de concurrence monopolistique. Les coûts de transport doivent être pris en compte, en rapport avec la part fixe des dépenses de production, en fonction des situations. Enfin, la demande de chaque produit manufacturé est supposée proportionnelle à la population totale. » Un raisonnement intuitif montre qu'il peut exister plusieurs solutions, considérées comme des équilibres équivalents et, à condition que les coûts fixes ne soient pas exorbitants, la localisation de la production résulte de la valeur du ratio coûts fixes/coûts de transport³. Cependant, rien ne permet de prévoir le choix initial des entrepreneurs, car le processus est cumulatif — circulaire dit Krugman — et le choix du premier influence le choix des autres : « *History matters* ». Cette conclusion s'applique aussi aux producteurs d'aluminium, même si leurs premières implantations ont résulté de la présence locale de « houille blanche ». Ils ont prospéré tout en attirant d'autres industriels, surtout aux États-Unis où la géographie — l'espace — et la disponibilité d'importantes quantités d'électricité étaient propices à une croissance industrielle diversifiée. En France, en Écosse, en Suisse et en Norvège, il n'en a pas été de même, ou du moins pas à la même échelle, parce que les cours d'eau équipés étaient beaucoup moins puissants — des torrents et non pas des fleuves — parce que, dans leurs vallées étroites, la superficie des terrains⁴ et

¹ Ces conditions expliquent — sans jugement de valeur — les nombreuses ententes conclues entre producteurs.

² Traduction libre.

³ Le choix du travail comme unique facteur de production s'accorde tout-à-fait bien avec l'externalité de la demande et donc avec l'établissement d'un tel ratio de coûts. Mais dans le cas de l'aluminium, la part du travail est faible et le capital semblerait plus adapté. Alors, il faudrait annualiser les dépenses à l'aide d'un loyer de l'argent investi et recourir à un artifice pour relier demande et capital. En outre, le transport concerne non seulement la production mais aussi tous les approvisionnements — électricité, alumine et produits carbonés sont les plus significatifs — qui ne font pas partie du modèle.

⁴ La terre apparaît comme un paramètre déterminant car la superficie des usines a considérablement augmenté avec le tonnage produit. Si une usine de 360 000 tonnes/an occupe 225 ha, la production de 36 millions de tonnes par an occupe 22 500 ha, soit l'équivalent d'un carré de 15 km de côté !

la taille de la population étaient limitées, et enfin parce que les migrations étaient, ou bien déjà faites — vieux pays — ou bien à venir plus tard avec la révolution industrielle¹.

L'importance du transport tient à sa facilité relative et à son coût, pour les matières premières comme pour les produits finis. En 1890, le chemin de fer traversait déjà les États-Unis d'est en ouest depuis des années et il existait aussi des transversales². Or, les chemins de fer sont eux aussi caractérisés par des rendements croissants, attestés par un coût important de construction et des coûts d'exploitation faibles³. Plus les tonnages et les distances augmentent, plus le coût moyen diminue, ce qui importe dans une industrie de pondéreux qui reçoit et expédie de grandes quantités⁴. En tout cas, la stabilité de l'ensemble industriel dans le temps est remarquable, les conditions qui ont présidé à sa constitution étaient donc robustes.

« Cependant, écrit encore Krugman, rien n'est éternel et quelque stable qu'ait été la structure géographique initiale de la production, lorsque le changement est arrivé les choses sont allées vite, comme en Californie par exemple à la fin du XIX^e siècle. Le début et la fin du processus s'expliquent par le même modèle ! En outre, le changement a pu démarrer, non seulement en raison de conditions objectives, mais aussi par suite d'anticipations auto-réalisatrices, même si leur fondement semble difficile à croire ».

iv. Description du modèle « centre-périphérie » de la concentration géographique

Paul Krugman a développé, à partir de la structure de concurrence monopolistique de Dixit et Stiglitz⁵, un modèle explicatif de la concentration géographique des entreprises — modèle dit 'centre-périphérie' qui relie des dimensions importantes aussi pour le présent travail — les rendements croissants, les coûts de transport et la demande de produits, y compris à l'international. L'industrie de l'aluminium⁶ pourra être observée à la lumière des enseignements du modèle — déduit de la théorie de l'organisation industrielle⁷ — pour affiner la compréhension de sa localisation-délocalisation sur un siècle, aux États-Unis, en France ou en Europe. Pour des raisons déjà évoquées, l'observation sera davantage centrée sur les États-Unis.

La problématique de Krugman s'apparente à des notions peu en vogue aujourd'hui d'aménagement du territoire. Il écrit « plutôt que de chercher à savoir pourquoi une industrie de fabrication donnée — exemple des tapis à Dalton, Georgia — s'est rassemblée au même endroit, je me demande si la production manufacturière en général peut finir par se retrouver concentrée en une ou quelques parties d'un pays, dite « centre », réduisant le reste du pays à une « zone périphérique » d'activité agricole ». Il concentre sa réflexion sur les « économies externes généralisées » et précise que les économies procurées par ce schéma « core-periphery » sont

¹ Le cas de l'Écosse est particulier du fait de sa situation — historique et géographique — au sein du Royaume-Uni.

² Indépendamment des nombreux problèmes posés par leur développement entre concurrence et monopoles, aux États-Unis, « en 1890, 165 000 miles de chemins de fer étaient exploités », d'après *The Rise of Big Business, 1860-1920*, Glenn Porter, Harlan Davidson, Inc. 2006, page 44.

³ Les coûts d'exploitation confortent ce point : ils comprennent des coûts fixes de chargement-déchargement et des coûts proportionnels à la longueur du trajet.

⁴ Au total quatre fois la production dans une usine d'aluminium, davantage quand on part de la bauxite.

⁵ *Monopolistic Competition and Optimum Product Diversity*, Avinash K. Dixit and Joseph E. Stiglitz, *The American Economic Review*, June 1977, pp. 298-308. Cet article de base détaille toutes les hypothèses.

⁶ Les paramètres communs incitent à évoquer cette étude bien que Krugman en ait exclu les industries dépendantes de sources de ressources naturelles. La valeur probante du modèle est alors peu assurée, il guide le raisonnement.

⁷ Une filiation claire permet de remonter à Edward Chamberlin dont un article *Monopolistic Competition*, *Economica*, New Series, Vol. 18, No. 72 (Nov., 1951), pp. 343-362 reformule la théorie, vingt ans après sa première publication. Il y adopte clairement l'hypothèse fondamentale des rendements d'échelle croissants.

mesurables, car liées à une offre et à une demande, et non de pures retombées technologiques plutôt théoriques. « Cette hypothèse est devenue crédible du fait que la concurrence imparfaite et les économies d'échelle, notions familières depuis les années 1980, donnent du poids aux externalités pécuniaires... Elle rend l'analyse plus concrète que s'il s'agissait d'une forme invisible d'externalité ».

La notoriété du modèle permettrait de sauter directement aux conclusions. Cependant, le désir de comprendre impose une présentation des hypothèses et des raisonnements. Le bref rappel qui suit est emprunté au livre *Geography and Trade*, déjà cité. En revanche, la formulation mathématique qui suppose la reprise d'articles antérieurs ne sera pas abordée. Générale, elle met en œuvre les grandeurs économiques d'utilité et de coût de production, ainsi que plusieurs paramètres. Il en résulte une grande adaptabilité.

a) Les origines de la localisation industrielle

Tous les habitants du pays considéré partagent leur consommation entre un bien agricole homogène et des biens manufacturiers, suivant une fonction de Cobb-Douglas. La fonction de consommation du bien manufacturier agrégé est à élasticité de substitution constante entre les produits, supposés nombreux.

La production agricole est homogène et caractérisée par des rendements d'échelle constants sur de grandes quantités de terres — immobiles par définition — dont la fertilité variable régit la répartition de la production ; l'industrie, différenciée et mobile à ce stade, est caractérisée par un faible besoin de terres et des rendements d'échelle croissants qui impliquent un nombre réduit de localisations. Le raisonnement se tourne en permanence vers l'activité industrielle, sa localisation et son éventuelle évolution.

Il existe deux facteurs de production, chacun est spécifique à un secteur. Les fermiers produisent le bien agricole et les ouvriers les biens industriels, sans possibilité de passer d'un type d'emploi à l'autre. Les unités sont choisies de telle sorte que les salaires des fermiers et des ouvriers soient égaux à l'équilibre¹ et la population totale est normée. La distribution géographique des fermiers est supposée fixe dans chaque région. En revanche, les ouvriers sont mobiles et se déplacent vers la région qui leur offre le meilleur revenu réel. Leur production est, ou bien partagée entre les deux régions — alors, le modèle « converge » — ou bien concentrée dans une seule — le modèle « diverge ». Dans le premier cas, les coûts de transport sont plus faibles et, dans le second, les bénéfices des rendements croissants plus grands. Pour des raisons de simplicité de calcul, le transport des produits agricoles est supposé gratuit, hypothèse qui assure l'égalité des prix et des revenus agricoles dans les deux régions. En outre, les coûts de transport des produits manufacturés sont représentés par la fonction « iceberg » de Samuelson pour laquelle ces coûts sont approximés par une perte de matière transportée.

Les économies d'échelle sont introduites par une fonction de coût linéaire unique qui s'applique à chaque produit industriel et qui distingue les coûts fixes des coûts unitaires proportionnels. Enfin, dans chaque région et pour chaque bien produit, la force de travail est proportionnelle à la production et la demande proportionnelle à la population locale.

¹ S'ils étaient inégaux, ce qui serait plus proche de la réalité, il serait difficile de justifier l'hypothèse de séparation des métiers — ou facteurs de production. Pourtant, au départ, il a bien fallu une incitation pour que des agriculteurs deviennent ouvriers, la misère ou la faim sans doute... Ainsi que l'exprime Kaldor, le choix du métier reste difficile à expliquer par le seul salaire.

Le nombre des paramètres est réduit à cinq, ils caractérisent à la fois le système et sa stabilité lorsque l'équilibre est atteint. Dans un essai d'application à l'aluminium, les ordres de grandeur et les variations relatives seront estimés en considérant une fonction linéaire de coût comme représentative de la totalité des coûts, dans une situation donnée¹. L'aluminium de base, primaire, est partout le même ; la différenciation entre produits résulte des métaux d'addition et de la mise en forme, et le nombre d'usines ne dépend que des coûts relatifs du transport et des économies d'échelle, si l'approvisionnement en matière première est exclu du raisonnement. Sinon, le coût de l'électricité intervient et deux cas doivent être envisagés. Les facteurs de production dépendent de nombreuses causes de variation et la stabilité d'une situation dans le temps doit plus aux rigidités « naturelles » qu'à une propriété intrinsèque de la combinaison des paramètres. Mais il faut davantage expliquer le modèle.

b) Le comportement des firmes : les prix et la concurrence

Par hypothèse, il existe un grand nombre de firmes², autant de produits manufacturés et chacun d'eux bénéficie de rendements d'échelle croissants. Il n'y a donc aucune raison pour que deux entreprises s'intéressent au même produit : le marché est en concurrence monopolistique. Tous les producteurs font face à la même élasticité de la demande. Le prix qui maximise le profit est alors un mark-up constant sur le coût marginal. En l'absence de barrière à l'entrée, les profits doivent être annulés. Pour cela, le prix égale le coût moyen pour la quantité produite. Deux équations sur le prix permettent le calcul de la production d'équilibre et, par suite, du nombre de produits fabriqués par une force de travail donnée. À l'équilibre, la production est indépendante du taux de salaire et de la demande, et les économies d'échelle s'expriment en fonction de la seule élasticité.

c) L'équilibre à court et à long terme

Bien que l'expression du modèle soit purement statique, il est utile de distinguer entre les évolutions possibles à court et à long terme. Le court terme est « marshallien » : la dotation en travailleurs de chaque région, ouest ou est, est considérée comme fixe. Alors, par hypothèse, les ouvriers se déplacent vers la région qui leur offre le salaire réel le plus élevé, ce qui conduit soit à la convergence des deux régions qui s'approchent de l'égalité du ratio ouvriers/paysans, soit à la divergence si tous les ouvriers ou presque se rassemblent dans la même région.

Plusieurs équilibres sont possibles³, en raison de la symétrie des rôles et du mimétisme des comportements. Si une région est un équilibre, l'autre peut l'être aussi. Ensuite, la frontière des deux régions est un autre équilibre possible. Cela peut être précisé davantage à partir d'hypothèses sur la répartition de la population. Ainsi, l'Ouest héberge sa population agricole — la moitié de la population agricole totale — plus la partie de sa population qui travaille dans l'industrie. Si en Ouest la population totale est faible, il n'est pas rentable d'y dépenser les coûts fixes d'installation d'une production : il vaut mieux qu'elle aille en Est. L'inverse est évidemment valable. Entre les deux cas et si les coûts fixes ne sont pas trop élevés par rapport aux coûts de transport, une division quasi-égale de la population incitera les producteurs à s'installer dans les deux régions pour servir les deux marchés. Au total : si la population d'Ouest — ou d'Est — est trop basse, aucune industrie ne s'y

¹ À la localisation est associée une fonction de coût qui intègre l'électricité, la main-d'œuvre et le transport. Au temps correspond une technologie définie par le coût en capital, l'intensité du courant et les différents rendements et productivité du travail.

² Afin que l'arrivée du producteur d'un nouveau produit ne perturbe que très peu la situation déjà établie.

³ Le modèle est symétrique. Les premiers arrivants choisissent, ou anticipent. Ils font le « poids de l'histoire ». Dans le cas de l'aluminium, le choix a été guidé par la disponibilité d'électricité à proximité. C'est elle qui a constitué le « poids de l'histoire », en réalité, pour l'hydroélectricité, le poids de la géographie.

installera ; si sa population est moyenne, l'industrie se partagera entre les deux régions et si sa population est grande, toute l'industrie tendra à s'y rassembler. Le ratio qui oriente le choix est le rapport entre le coût fixe — annuel — d'une installation et le coût du transport de sa production vers son/ses marché(s). Si le coût fixe est beaucoup plus grand que les coûts de transport, il n'y aura qu'une seule implantation industrielle.

Mais la croissance — de la population et/ou de la production — est fondée à remettre en question les décisions antérieures¹. À un moment ou à un autre, dépendant de la pertinence des anticipations, la croissance des marchés perturbe les équilibres, ne serait-ce, pour l'industrie comme pour l'agriculture, qu'en raison des nouveaux besoins en terrains qu'elle implique². Krugman envisage le processus de changement. Son ampleur et sa vitesse peuvent surprendre, surtout après des années de stabilité. L'exemple du déclin de la ceinture manufacturière américaine n'est pas isolé, la France l'a éprouvé aussi avec le « dé-tricotage » de son industrie lourde et la réduction progressive de sa production électrolytique d'aluminium. Une fois amorcé, le mouvement semble auto-accéléré — dans un sens comme dans l'autre — fruit du mimétisme ou de prédictions auto-réalisatrices, peut-être aussi fruit de la traditionnelle réactivité américaine. Un exemple d'évolution radicale d'une autre nature est celui de la ville d'Akron (Ohio) qui, devenue la capitale mondiale du pneumatique pour automobile dans les années 1920-1925³, est retombée, dès avant la Seconde Guerre, dans une situation beaucoup moins brillante.

d) Les conclusions du modèle

L'observation de la construction-déconstruction d'un ensemble considérable d'activités humaines, la Ceinture manufacturière américaine, a donné naissance à un modèle économique complexe, assez flexible pour s'adapter à de nombreuses situations. Il exclut le cas particulier d'une implantation liée à une source de ressources naturelles, situation première de l'industrie de l'aluminium. Il a pourtant fait l'objet d'une présentation dans ce travail en raison de la causalité qu'il établit entre la localisation des activités industrielles et les rendements croissants. Or ces derniers semblent avoir existé dans l'électrolyse, sans qu'il soit possible de le montrer directement. L'idée d'une démonstration indirecte était donc séduisante.

À ce stade, la démonstration repose sur la comparaison entre les coûts fixes d'une unité de production supplémentaire et les économies de coûts de transport qu'elle permet. Une fois le problème posé, il n'est pas pour autant résolu parce que l'expression linéaire des coûts de production relève d'une grosse approximation⁴. Seuls restent les faits : un petit nombre d'usines pour un grand pays. Ainsi, en 1998, l'USGS⁵ recense 23 établissements pour une capacité de production d'environ 3 millions de tonnes par an. En outre, il existe un important commerce international et une forte croissance de la refusion, le marché reste ouvert.

¹ L'exemple le plus caractéristique de ce type de situation porte sur l'électricité. Schématiquement, la demande de la population est nulle lors de la construction d'une centrale. Le courant est alors bradé aux industries consommatrices locales. Quand la demande de la population croît, il arrive un moment où les industries sont invitées à payer le prix fort ou à partir.

² Il s'agit-là d'une différence majeure entre l'industrie et les Services. À titre d'exemple, l'usine d'aluminium de Bécancour, Québec, Canada, occupe une superficie de 225 ha pour une production initiale de 360 000 tonnes/an et environ 1 000 emplois directs.

³ *Heritage and Agglomeration: The Akron Tyre Cluster Revisited*, Guido Buenstorf, Max Planck Institute of Economics, Steven Klepper, Carnegie Mellon University, September 2, 2008 Forthcoming in *The Economic Journal*. La courbe des entrées et sorties de producteurs dans le temps est impressionnante par sa pente.

⁴ Voir un exemple numérique, à titre d'ordre de grandeur ponctuel, dans le sous-paragraphe 5.

⁵ *Primary aluminum plants worldwide—1998 part ii — summary*, USGS, juillet 1999.

v. Le choix rationnel d'une localisation

Alfred Marshall a, le premier, observé la localisation de l'industrie et en a déduit le concept d'économies externes. Il a identifié trois causes propices au regroupement géographique d'entreprises que Krugman formule ainsi : « 1) la proximité géographique des firmes permet la création d'un pool de main-d'œuvre formée à un environnement de travail industriel, réduisant à la fois les risques de chômage et de manque de main-d'œuvre qualifiée ; 2) localement, les industries peuvent trouver à échanger des produits spécifiques, dépourvus de marché ; 3) des retombées — par exemple des échanges d'informations — peuvent accroître les fonctions de production des entreprises par rapport à celles de firmes isolées ». Plus tard, ces causes ont, à l'évidence, présidé à la création de « Parcs industriels » mettant en commun, par exemple au Québec¹ dans les années 1970, de vastes terrains plats, un excellent réseau routier, des réseaux d'eau, de téléphone, de gaz et d'électricité de puissance, ainsi que des services portuaires en eau profonde, le tout à distance raisonnable d'agglomérations importantes. La diversité des activités rassemblées semblait de nature à réduire les risques de vieillissement simultané de l'ensemble.

Avant la Seconde Guerre, en revanche, la tendance était à la concentration d'activités de même nature, comme les aciéries, les papeteries ou la construction automobile. Un surprenant phénomène de concentration locale — horizontale — a été observé, par exemple à Dalton (Georgia, USA) pour la fabrication de tapis², à Akron (Ohio, USA) pour les pneumatiques, ou dans le Lancashire (Angleterre) à la grande époque du tissage du coton. Plus récents, se trouvent les exemples de gigantisme de Boeing (Washington State) et de Kodak³ (New-York State). Il s'agit-là de regroupements d'activités de production, indépendantes de l'existence sur place de toute source de matières premières spécifiques. Pour certaines activités, les inconvénients de la situation sont apparus à long terme et ont engendré l'idée de la diversification, comme palliatif.

Parmi les aspects positifs, la concentration locale d'industries a permis la création d'un bassin d'emploi bénéfique, tant pour les travailleurs que pour les entreprises⁴. Ensuite, une « Zone industrielle » — formelle ou informelle — a facilité en son sein les échanges de produits et de services non vendables sur le marché qui profitaient, eux aussi, de rendements croissants. Par exemple, elle favorisait l'organisation et la rentabilité des transports — de personnes, de matières premières, de produits intermédiaires, d'électricité, etc. — et de services par des réseaux communs. Enfin, il arrivait que des retombées technologiques proviennent d'échanges, formels ou informels encore, de personnels ou d'informations. Cependant, en dehors de certains cas particuliers de haute technologie telle qu'on la conçoit aujourd'hui, ou de naissance de toute une branche d'industrie dans les années 1890 pour l'aluminium, celles-ci n'ont pas pris une importance significative.

¹ S.P.I.C.Q. Parc Industriel de Bécancour, Québec, Canada, où a été construite une usine d'aluminium en 1986.

² Exemple analysé par Krugman.

³ En 1954, Eastman Kodak a consenti, devant la Justice à modifier sa « conduite » — au sens SCP — et à se séparer d'activités de traitement de ses films couleur de manière à laisser une place à la concurrence. Source: W.L. Baldwin, *The Journal of Law and Economics*, Vol. 12, No. 1 (Apr., 1969), pp. 123-153.

⁴ L'analyse minutieuse des choix de domiciliation des travailleurs et d'implantation des firmes, à laquelle procède P. Krugman, repose sur le pouvoir de négociation des salaires et la réactivité respective des uns et des autres en cas de retournement de conjoncture. Cette situation résulte de la fluidité et de la rudesse des relations de travail, en Amérique. Elle s'appliquerait sans doute dans la Silicon Valley. En Europe, les rigidités ne favorisent pas de telles analyses générales. Ainsi, dans les années 1970-1980, avant un tournant dans le domaine, il existait encore dans les bassins français d'emploi industriel, une « culture » qui percolait au sein de la population et suscitait un fort désir de pérennité et de progression sociale intergénérationnelle — ouvrier → contremaître → ingénieur — naguère favorable, tant aux individus qu'aux entreprises. Évidemment, ce modèle devait un jour atteindre ses limites.

Les notions à caractère général présentées ci-dessus valent pour l'industrie de l'aluminium à une importante différence près : l'indispensable électricité a toujours conditionné sa localisation, mais pas n'importe où. Un exemple chiffré se trouve dans la synthèse sur l'aluminium de 1968, déjà citée¹, qui compare la somme des coûts de l'électricité — pour une quantité standard — et des transports : alumine et produits carbonés jusqu'à l'usine et lingot d'aluminium jusqu'à Chicago, pour trois localisations existantes, nord-ouest Pacifique (avec variante sur l'alumine), Vallée de l'Ohio et Vallée du Tennessee. Les coûts élémentaires sont rassemblés dans le tableau ci-dessous :

Coûts en \$/t d'Al /localisation	Nord-ouest Pacifique (BPA)	Variante N.-O. Pacifique/alumine	Vallée de l'Ohio (charbon)	Vallée du Tennessee (TVA)
Transp. d'alumine	23,59	9,50	17,01	10,17
Tr. prod. pétroliers	5,05	5,05	2,23	3,47
Électricité	31,50	31,50	52,50	63,00
Transport de lingots jusqu'à Chicago	21,46	21,46	5,85	14,20
TOTAL	81,302	67,51	77,59	90,84
Sous-total Transport	50,10	36,01	25,09	27,84

Source : Aluminum, Profile of an Industry, 1969, p. 153 op. cit.

Il s'agit, dans les quatre cas, de l'arbitrage que le producteur doit faire entre le coût de l'électricité qu'il achète et le coût des transports qu'il paie pour acheminer ses matières premières jusqu'à son usine et son produit jusqu'au consommateur localisé à Chicago, grand marché du Midwest. Les usines existent, situées respectivement sur la Côte Pacifique nord, dans la vallée de l'Ohio — dont le charbon sert à produire de l'électricité — et dans la Vallée du Tennessee. De plus, une variante concerne l'usine du Pacifique qui consiste à transporter son alumine par la mer et non par le train. L'électricité est achetée 2,1 mills/kWh³ à la Bonneville Power Administration, 3,5 mills au fournisseur en Ohio et 4,2 mills à la Tennessee Valley Authority. Dans les trois cas, le facteur décisif est le coût de l'électricité qui compense, plus ou moins, les coûts de transport. Le prix d'achat des matières premières n'est pas compris dans les chiffres.

Le tableau est parlant : pour les postes de coûts considérés, l'usine du Pacifique est mieux placée que les deux autres si elle reçoit son alumine par bateau. La différence n'est pas du tout négligeable, 10 \$/t ou 20 \$/t, à une époque où le coût total théorique était situé entre 301 \$/t et 441 \$/t et où une usine produisait environ 100 000 tonnes par an. Dans ce cas, à la différence du modèle de Krugman, la comparaison des coûts est effectuée entre une « matière première » locale et les dépenses de transport induites par la localisation.

¹ *Aluminum, Profile of an Industry Metals Week*, McGraw-Hill Inc. 1968, Philip Farin, Ed. (p. 153).

² Ce total ne correspond pas à la somme des postes indiqués – 81,60 \$/t. Il a été conservé tel quel faute de savoir où se trouve l'erreur.

³ 1 mill égale 0,1 ¢ (cent). Cette unité servait couramment aux USA pour mesurer le coût du kWh.

L'occasion est fournie de revenir encore une fois sur les rendements d'échelle par les chiffres de la même source qui situent l'ordre de grandeur des coûts fixes d'exploitation — coût du capital — entre 70 et 80 \$/t quant les coûts de transport totaux — matières premières et produit fini — varient entre 25,09 \$/t et 50,10 \$/t. Il apparaît que : 1) le — faible — coût de transport du produit fini ne peut pas être considéré seul, contrairement au modèle de Krugman¹, 2) le coût du capital est nettement supérieur aux coûts de transports, mais les proportions rendent possible une comparaison et peuvent servir à déterminer des distances à ne pas dépasser. Il faut éviter cependant de généraliser parce que le temps compte et pas seulement l'histoire.

Enfin, Krugman pose deux questions générales : « comment sont localisées les industries 'typiques' ? » et « quelles sortes d'industries sont significativement concentrées ? » Dans l'aluminium primaire — industrie trop jeune pour être typique, surtout dans ses pays d'origine, et trop vorace en énergie pour être concentrée — la carte de M^{me} Veyret-Verner donne l'idée de raisonner sur les États-Unis et le Canada pris ensemble². En outre, les deux cartes du livre *Aluminum, Profile of an Industry*, reproduites ci-dessous, permettent de comparer plus précisément les localisations des usines d'électrolyse — *primary smelters* — et des usines de recyclage, en 1968. Pour l'électrolyse, la seule forte concentration se trouve dans l'État de Washington et le nord de l'Oregon — onze sites existants ou prévus en 1968. Les autres sites — dix-neuf existants ou prévus — s'étendent sur une bande orientée sud-ouest nord-est, du golfe du Mexique à l'est du lac Ontario. La deuxième carte rassemble première et deuxième fusion et met en évidence la différence de type de localisation entre les deux activités³. Les sites de refusion sont plus nombreux et beaucoup plus concentrés. Ainsi, autour de Los Angeles il y en a onze, et un projet près de San Francisco. Les autres sont presque tous à l'est du Mississippi, treize autour de Chicago et quatre à quelque distance, quatorze dans le nord et le nord-est de l'Ohio, cinq en Pennsylvanie, cinq en Alabama, et dix-huit dans une large zone qui entoure New-York. Une interprétation de la situation peut être tentée en s'appuyant sur le modèle de Krugman qui s'applique puisque l'électricité n'est plus une contrainte : quand le coût du capital — coût fixe — nécessaire à la production d'une tonne d'aluminium est divisé par dix⁴, le nombre de producteurs augmente, la production se concentre et se rapproche des lieux de consommation — les trois plus grandes villes des États-Unis qui sont aussi les lieux de production des déchets à recycler.

Cette observation intéressante incite à continuer à étudier qualitativement la géographie de la transformation de l'aluminium, toujours à partir de la même source qui distingue les différentes formes de cette transformation : le laminage, la fonderie de pièces, l'extrusion, la tige, la barre et le fil, le laminage mince, le filage, la poudre et la pâte, et enfin le forgeage. Cette géographie s'appréhende facilement, sans entrer dans des considérations techniques, car les implantations sont figurées sur des cartes analogues à celles décrites ci-dessus. Au nombre de huit, elles sont reproduites plus loin. Elles suffisent pour constater que, quel que soit le nombre de sites de

¹ Cette situation particulière tient à ce que l'aluminium est un produit dense et peu fragile qui se transporte facilement. En revanche les produits transformés, proches du produit fini, sont volumineux et fragiles, leur transport est beaucoup plus coûteux.

² Un rapport de The Aluminum Association, September 2011, fournit de précieuses indications relatives à cet ensemble, *Aluminum: The Element of Sustainability, A North American Aluminum Industry Sustainability Report*. Source: http://www.aluminum.org/sites/default/files/Aluminum_The_Element_of_Sustainability.pdf

³ D'importantes informations sur la deuxième fusion en 1968, accompagnent cette carte : « La croissance récente est beaucoup plus due à l'agrandissement des usines existantes qu'à la construction de nouvelles. Le coût d'une nouvelle usine — 100 à 120 \$/tonne de capacité — est un peu supérieur au dixième de celui d'une usine neuve d'électrolyse et il est moins coûteux d'agrandir une unité existante ». Traduction libre.

⁴ Voir la note précédente.

transformation, le schéma de base de leur localisation est comparable à celui de la deuxième fusion : Californie et est du Mississippi, sauf pour les tuyaux et tubes (Nebraska). À l'époque, la transformation était encore souvent aux mains des grands producteurs de métal mais les critères de localisation n'en tenaient pas grand compte, le marché était la seule logique.

Une vaste étude de l'industrie mondiale de l'aluminium a été réalisée, en 2010, par l'Université du Québec¹ à Chicoutimi. Ses principales conclusions relatives à la localisation des usines d'électrolyse, présentées sans faux-semblant, sont reprises ci-dessous à un double titre, de référence et d'actualisation. Elles terminent le paragraphe consacré à la géographie économique et les citations sont entre guillemets.

À l'aide « des données fournies par Aluminium Verlag, on dénombrait 323 alumineries dans le monde en 2008 dont 255 étaient en activité et 68 ont été fermées depuis 1980 — dont 24 en Chine. Elles sont réparties dans 57 pays différents et leur capacité de production totale s'élève à 49 662 700 tonnes par an². En outre, la même année, il existait 116 projets d'extension, de modernisation ou de construction dont 51 en Chine. Un tel recensement « fait apparaître clairement un redéploiement industriel... On constate l'arrivée de nouveaux producteurs localisés dans des pays plutôt périphériques, plus éloignés des grands marchés des pays développés... Il s'agit notamment des Émirats arabes du Moyen-Orient, de la Russie, de l'Afrique du Sud, de l'Islande... »

En matière de localisation « des activités amont, dans l'industrie de l'aluminium, cinq facteurs doivent en principe être considérés dans leur juste mesure : la proximité des marchés, la technologie, la présence de bauxite, la disponibilité de l'énergie et les conditions d'accueil [dans le pays hôte] ». Pour l'électrolyse proprement dite, la proximité des marchés de consommation et le niveau technologique de l'environnement jouent peu. « L'importante quantité de bauxite disponible ici et là sur la planète fait en sorte que la présence d'une réserve à un endroit ne représente pas, à elle seule, un facteur suffisamment attrayant pour l'implantation d'alumineries... La variable incontournable afin d'attirer des alumineries réside encore et toujours dans la disponibilité de lots d'énergie à prix compétitifs... La localisation mondiale des unités de fonte³ d'aluminium primaire s'avère considérablement reliée aux politiques publiques qui déterminent les conditions réelles d'accueil. Ce facteur, plus difficilement mesurable, infléchit souvent la logique en matière d'implantation, comme on l'a constaté avec la plupart des projets récents et actuels. Il fait la différence. Si la politique publique s'avère certes largement ancrée sur l'offre de lots d'énergie à tarifs avantageux, que ce soit en Islande, dans les Émirats arabes, en Afrique du Sud, au Canada ou ailleurs, on a constaté qu'elle se préoccupe aussi beaucoup des conditions générales pour rendre les projets opérationnels. Les investisseurs se préoccupent évidemment de la sécurité, du climat social, des normes environnementales, de la stabilité politique, de la fiscalité, mais aussi de l'attitude des États à l'égard

¹ Le sujet a déjà été abordé, l'étude était commanditée par Promotion Saguenay et réalisée par l'équipe du CRDT de l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC). Le mot québécois « aluminerie » qui désigne une usine d'électrolyse, n'est pas usuel en France.

² À fin 2012, il y avait 231 usines d'électrolyse installées dans 45 pays (en marche ou à l'arrêt) pour une capacité installée de 56 644 000 tonnes dont 4 160 250 tonnes à l'arrêt, provisoire ou définitif. Compilation de R. P. Pawlek, décembre 2012, qui précise : « qu'en raison des incessants changements dans le secteur, il est possible que la liste ne soit plus à jour. » Source : http://lightmetallage.com/producers_primary.php

Pour comparaison, à la même date, la même source recense 2554 sites de production d'aluminium secondaire dans 100 pays. Même s'il existe des erreurs sur l'activité — cas d'un site français — le facteur de proportion entre les productions primaire et secondaire est d'environ 1 à 11, c'est-à-dire dans le ratio inverse du coût en capital.

³ Autre expression québécoise qui désigne une unité de production d'aluminium liquide.

de ces facteurs ». Ainsi dites, les choses sont claires mais moins simples qu'attendu, ce qui montre les limites de la modélisation mais ne diminue pas son intérêt pour autant.

Annexe graphique et numérique

Plusieurs documents sont rassemblés dans les pages qui suivent :

- ❖ Deux cartes des États-Unis qui montrent l'une, la localisation des usines d'électrolyse, existantes ou en projet en 1968, l'autre, la localisation des mêmes usines plus celle des usines de deuxième fusion, existantes ou en projet. En 1967, la production primaire était de 3 271 000 tonnes et la consommation de métal à refondre de 860 000 tonnes, soit 25 %.
- ❖ Huit cartes des USA qui situent les différents sites de transformation du métal, par procédé ; leur nombre et leur localisation sont intéressants.
- ❖ Une carte du monde qui fait apparaître les délocalisations depuis 2000.
- ❖ Un graphique de comparaison des prix du courant électrique dans les principaux pays producteurs.
- ❖ Des chiffres relatifs sur l'emploi dans la production et la transformation.

Localisation, passée et future, des usines d'électrolyse



Localisation, passée et future, des usines d'aluminium primaire et secondaire



Source : Aluminum, Profile of an Industry, Metals Week, McGraw-Hill Inc. 1969.

Les différents sites de transformation du métal,



1. Feuille épaisse et ébauches.



2. Produits de fonderie.



3. Produits extrudés.



4. Tiges, bandes, fil.



5. Feuille mince.



6. Tubes et tuyaux.



7. Poudre et pâte.



8. Produits de forge.

Source : Aluminum, Profile of an Industry, Metals Week, McGraw-Hill Inc. 1969.

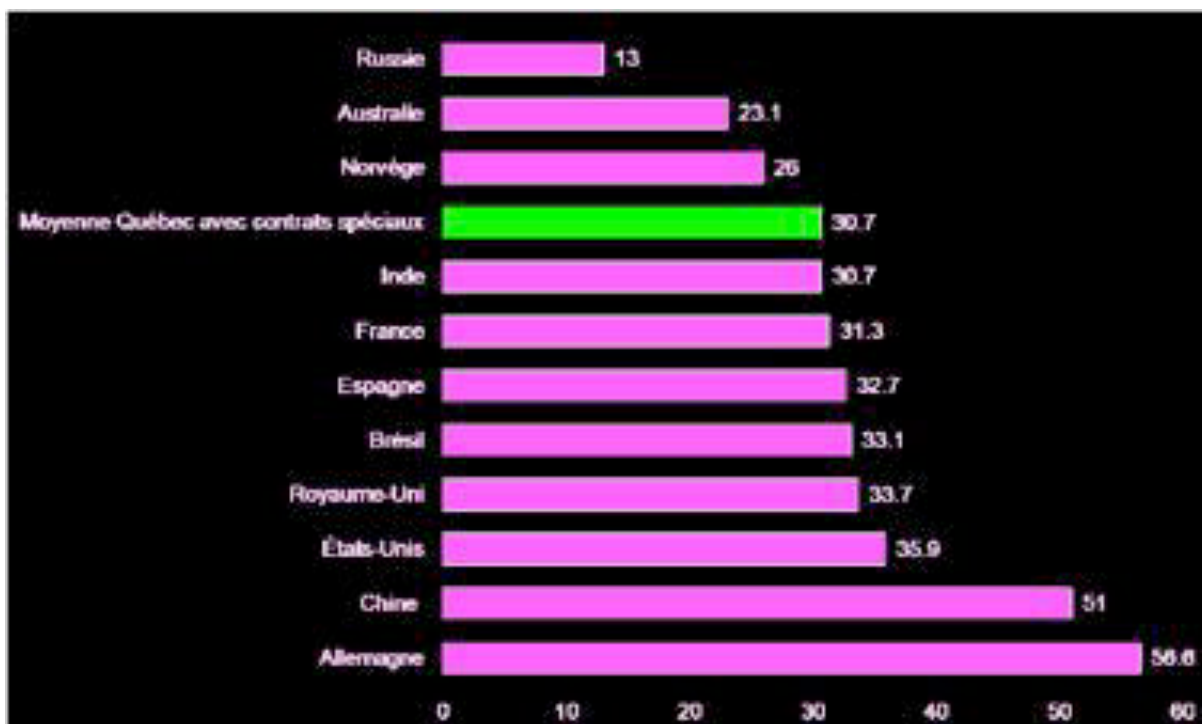
Les délocalisations de l'industrie dans le monde

Exemples d'investissements et de désinvestissements



Source : E & B Data –L'aluminium primaire au Québec, un leadership mondial en question.
Association de l'Aluminium du Canada, septembre 2013.

Coût moyen de l'électricité pour les alumineries, pays sélectionnés parmi les plus comparables (2008-\$US/MWh)



Source : Association de l'aluminium du Canada © Deloitte s.e.n.c.r.l. et ses sociétés affiliées. Septembre 2013.

Enfin, une récente information de l'Aluminium Association relative à l'emploi, fournit une mesure du nombre et de la taille des installations de production de la filière aluminium, de l'alumine aux fournisseurs de métal et installateurs. Elle est reprise ci-dessous, pour comparaison, accompagnée du texte de caractère légal sur le droit de l'information aux États-Unis qui l'accompagnait.

Emploi direct par secteur de production en Amérique du Nord

Secteur de production	Établissements	Emplois
Alumine	5	2 500
Aluminium Primaire	25	19 100
Aluminium Secondaire	237	6 400
Transformation	1 146	101 000
Grossistes & Services	2 715	27 000

Source : The Aluminum Association, based on publicly available information and industry expert estimates.

Note : The principles of U.S. antitrust law limit the ability of trade associations to collect economic value related information from their member companies. The economic and employment related information in this report is estimated based on publicly available information and experts' estimates. The purpose of providing such information in the report is to show a big picture of the industry on its economic and social contributions to society, which are essential components of the well-respected triple-bottom-line principles of sustainable development."

Source : Aluminum : The Element of Sustainability, A North American Aluminum Industry Sustainability Report, The Aluminum Association, September 2011

Dans son étude, déjà citée, le CRDT (UQAC) élargit l'horizon et étudie la répartition des 2 383 usines de deuxième fusion recensées dans le monde en 2009, selon le continent et le pays. Dans ce domaine aussi, l'Asie a déjà pris une bonne longueur d'avance comme le met en évidence le tableau ci-dessous :

Région	Afrique	Asie	Australie	Europe	Amérique du Nord	Amérique du Sud	Total
Nombre d'établissements	55	1 093	55	477	548	155	2 383

Les chiffres relatifs à l'Amérique du Nord diffèrent sensiblement de ceux-ci-dessus, ce qui montre la difficulté de la collecte d'informations et de la comparaison entre sources différentes quand les critères ne sont pas précisés. Une troisième source a été déjà citée : la liste nominative établie par Pawlek pour la Revue *Light Metal Age*.

V. L'exemple d'un grand de l'aluminium : Alcoa¹

La grande entreprise américaine, ses objectifs et ses méthodes, du début du siècle aux années 1960, est décrite et analysée de manière approfondie par Galbraith. Son rôle et sa place sur le marché sont expliqués par Caves, en relation avec la théorie économique. Les éléments essentiels en ont été présentés ci-dessus. La place occupée par les États-Unis, dans le monde en général et dans l'industrie de l'aluminium en particulier, incite à faire de ce pays sinon un modèle — ce qu'il fut pourtant souvent — du moins un exemple probant. C'est ce qui fait l'intérêt d'Alcoa. Et de fait, Alcoa s'est construit et développé comme dans les livres. Les autres « majors² » ont suivi et beaucoup d'autres entreprises aussi, dans des registres différents.

À la fin du XIX^e siècle, faute de moyens de transport de marchandises performants, se sont créés des monopoles naturels, contraints par la géographie³, aux États-Unis et en Europe, puis au Canada. En Amérique du Nord : The Pittsburgh Reduction Company, fondée à Pittsburgh (Pennsylvanie) en 1888, s'est implantée peu après au Canada, où elle a créé une filiale, The Northern Aluminum Company, Ltd. Celle-ci est devenue indépendante en 1928⁴ et elle a reçu en dot la quasi-totalité des actifs de la maison-mère à l'étranger, tout en conservant les mêmes actionnaires qu'elle...

L'entreprise et le marché de l'aluminium ont été analysés de façon très complète, avant la guerre par Donald H. Wallace⁵. Il retrace en détail les difficultés initiales. D'abord, la bataille juridique perdue contre Cowles en 1903, autour du brevet d'électrolyse, et l'arrangement commercial ultérieur. Puis, pour créer un marché, l'absolue nécessité de commencer la transformation — laminage, étirage, formage — au sein de l'entreprise, et de faire aussi de l'information et de la « familiarisation » relatives au métal et à ses emplois. Ces derniers étaient alors limités à la désoxydation de l'acier et à la fabrication d'ustensiles de cuisine, vendus en porte à porte par des étudiants... Il présente l'intégration verticale qui commença dès 1895, en raison de la présence de gisements de bauxite sur le territoire américain, et la croissance horizontale destinée à dissuader toute concurrence. Plus tard, l'industrie automobile et les alliages « durs » inventés en 1908 par Alfred Wilm ont assuré la croissance jusqu'à la Première Guerre. Il analyse aussi les prix et la concurrence avec le cuivre pour les applications électriques. Il met en évidence un ratio de prix critique — proche de 2 — qui tient compte des conductivités et des masses volumiques relatives. Il en résulte un seuil concurrentiel, franchi en 1898 par la création d'un prix « spécial » de l'aluminium

¹ La première société américaine de production d'aluminium fut enregistrée sous le nom de The Pittsburgh Reduction Company, le 1^{er} octobre 1888. En 1907, le nom de la compagnie fut changé en Aluminum Company of America, en abrégé Alcoa. L'histoire de l'entreprise est décrite de manière détaillée et vivante par George D. Smith, et un condensé de 5 pages se trouve sur le site de la Société :

http://www.alcoa.com/global/en/about_alcoa/pdf/Alcoa_History_120_years.pdf

En 1999, la compagnie était officiellement rebaptisée Alcoa Inc. Dans la présente étude les noms familiers : Alcoa et Alcan seront utilisés.

² Étaient dénommés ainsi, Alcoa, Alcan, Kaiser, Reynolds, Pechiney et Alusuisse qui, en 1969, assuraient encore les trois quarts de la production d'aluminium du monde occidental.

³ Cette situation a généré deux évolutions en sens inverse : 1) la facilité accrue de transport — d'abord les *Liberty ships* — a effacé les distances après la Seconde Guerre mondiale ; quand les barrières douanières ont été abaissées, tout est devenu possible, partout ; 2) le renchérissement du pétrole et les taxes écologiques rendent toute sa valeur intrinsèque à l'électricité hydraulique et, en substitut de second rang, à l'électricité produite localement à très bon marché (« *stranded energy* »), ce qui revient à désigner les meilleurs emplacements pour produire.

⁴ Sous le nom de Aluminium Limited of Canada, en abrégé Alcan. Avant le partage de juin 1928, Alcoa disposait de plus de la moitié de la capacité mondiale de production d'aluminium (90 000 t/an aux USA, 45 000 t/an au Canada et 15 000 t/an en Europe). Source : Alcoa's 120 Years, document de la compagnie.

⁵ *Market Control In The Aluminum Industry*, Donald H. Wallace, Harvard University Press, 1937.

conducteur qui a assuré le succès des activités grâce au développement, à l'époque, des lignes de transport... de l'électricité¹. Enfin, de très nombreuses explications chiffrées décrivent la croissance des usines et des entreprises entre 1914 et 1936. Elles sont complétées par une étude des investissements et de la rentabilité d'Alcoa et de trois sociétés européennes. Ces données constituent des références.

Longtemps, les rôles respectifs d'Alcoa et d'Alcan ont été maintenus bien distincts par leurs propriétaires communs. Ils relevaient d'une analyse économique simple et performante comme le temps l'a prouvé. Le premier servait le marché américain et le second, le reste du monde. Cette séparation territoriale a duré jusqu'à la fin des années 1950, et là, une fois le premier pas franchi, le second est arrivé bien plus vite, la règle a disparu. La stratégie comparée des deux sociétés a fait l'objet d'un mémoire de Master d'Yves Plourde². Au besoin, certains de ses diagrammes, nombreux et synthétiques, seront utilisés. En Europe, il faudrait plutôt parler d'oligopoles puisque deux brevets, voire plus, ont été exploités en parallèle dans plusieurs pays. Au summum, une concurrence exacerbée par des rivalités de personnes a fonctionné en France et il a fallu trente ans³ pour réunir les forces sous deux bannières seulement. Cinquante ans de plus seront nécessaires pour passer à une seule⁴. Au plan mondial, jusqu'à la Seconde Guerre, la croissance a été encadrée par des ententes internationales entre producteurs, secrètes naturellement, qui visaient le statu quo des parts de marché.

Après l'imposition d'une concurrence interne par le Gouvernement des États-Unis, en 1945, la compétition s'est faite plus vive et mondiale. Les structures et les stratégies ont été adaptées aux changements de contexte et ils furent nombreux — en particulier dans les transports, la production d'électricité et l'exploitation minière. La compétition entre producteurs visait à gagner des parts de marché et à obtenir les meilleures conditions de coûts — ou des avantages comparatifs — pour les trois produits de base, l'aluminium, l'alumine et la bauxite, mais aussi pour l'électricité, sans parler de la transformation ou encore de la diversification, soumises elles aussi à la concurrence.

Considérée dans son ensemble, l'industrie de l'aluminium s'est développée en même temps que les théories de l'économie industrielle, et les parallèles entre la théorie et la pratique sont permanents. Ce n'est donc ni par hasard, ni par provocation que l'histoire d'Alcoa s'intitule « *From Monopoly to Competition*⁵ », c'est plutôt un clin d'œil appuyé à la transformation d'ensemble de l'industrie américaine au cours du « siècle de l'aluminium ». La loi américaine contre les trusts, les monopoles et les ententes s'est faite plus précise, mais d'application modulée dans le temps comme Caves le montre dans son livre. Cette « course-poursuite » à gros enjeux explique donc sans surprise pourquoi la stratégie initiée par Alcoa, aux États-Unis d'abord, puis au Canada, a pu performer aussi

¹ En 1908, 56 lignes de transport avaient été équipées en câble alu aux USA, ce qui représentait plusieurs milliers de tonnes de métal léger.

² *Le comportement stratégique d'Alcan et d'Alcoa de 1928 à 2007 : une étude de cas comparative*, Yves Plourde, août 2007, HEC Montréal. Fondée sur l'analyse des Rapports Annuels des deux sociétés, cette étude montre la croissance et l'évolution des activités respectives, ainsi que la diversification stratégique qui a été facilitée par l'intégration ancienne tant vers l'amont que vers l'aval.

³ En 1921, création de Allais, Froges et Camargue, par la fusion de deux entreprises, et de SECEMAE Ugine, par la fusion de deux autres. En 1971, la fusion de Pechiney, Ugine et Kuhlmann réunit enfin les deux branches de l'aluminium. Source : René Lesclous, *op. cit.*

⁴ Il n'est pas fait ici d'apologie du monopole puisqu'il existait d'autres vendeurs sur le marché français. L'accent est seulement placé sur le gaspillage de moyens que peut générer la concurrence à une échelle inadaptée au contexte.

⁵ George David Smith, *op. cit.*

longtemps. Par ailleurs, il faut dire que la stratégie était à la fois visionnaire, pragmatique et sensée sinon toujours en accord avec les principes moraux.

C'est aussi Alcoa que Caves choisit comme exemple dans le paragraphe *Effet de l'intégration verticale*¹ du chapitre consacré à *La grande entreprise* : « L'industrie de l'aluminium illustre les multiples aspects de l'intégration verticale. Avant la Seconde Guerre mondiale, Alcoa détenait le monopole de la production aux USA. La firme était intégrée en amont jusqu'à la mine — *backward* — et produisait aussi son électricité. On pensait bien que cette intégration augmentait les barrières à l'entrée, et pourtant le monopole ne fut défait qu'au moment de la répartition, entre plusieurs producteurs, de l'énorme capacité de production construite pour les besoins de la guerre. Aujourd'hui [la citation continue], l'industrie de l'aluminium ne compte au plan mondial qu'un faible nombre de producteurs et les plus grands sont toujours intégrés verticalement. Cette intégration amont tient à la grande taille des activités, en particulier minières, et aux contraintes liées à la situation géographique de ces dernières. En l'absence d'intégration, les firmes devraient effectuer de gros investissements sans aucune garantie de rentabilité. Les producteurs américains d'aluminium primaire sont aussi intégrés en aval — *forward* — pour fabriquer des produits transformés dans des proportions variables dans le temps. L'analyse des niveaux d'intégration entre producteurs a montré que la recherche de différenciation entre produits, ou autres stratégies, tient à des différences entre élasticités de la demande des produits transformés. Par ailleurs, l'intégration en aval favorise l'efficacité des ajustements de court terme dont le besoin naît d'un déséquilibre du marché qui peut aller jusqu'à provoquer des ruptures de stock chez les clients ».

Il est intéressant de développer la notion de pouvoir², chère à Galbraith qui s'en prenait volontiers aux « Barons voleurs ». Elle trouve une illustration significative dans une étude typiquement américaine sur les « milliardaires » et l'évolution de leur nombre de 1900 à 1996. L'auteur³ relie d'abord le pouvoir à l'argent et montre, sur l'exemple de John P. Morgan, que le pouvoir des « milliardaires » dépasse de beaucoup le pouvoir de leur fortune. Puis viennent les chiffres. En 1918, le nombre de milliardaires (30) ne comprend pas encore d'industriel de l'aluminium. Hall — dit-on — avait pourtant déjà « fait fortune » à sa mort en 1914, mais il l'avait léguée à Arthur V. Davis et à son *Alma Mater*. Entre 1925 (32) et 1957 (16), le nombre total est divisé par deux. Et puis, vient la surprise de l'analyse de 1957 où l'on découvre que 32 % d'entre eux — soit 5 en chiffres ronds — doivent leur fortune à l'aluminium⁴. Le commentaire de l'auteur mérite une traduction : « l'aluminium s'est avéré une source énorme de richesse en raison de sa légèreté qui lui a donné un rôle irremplaçable dans l'aviation et surtout l'aviation militaire. Le quasi-monopole détenu par Alcoa

¹ *Op. cit.* p. 16. Il s'agit en fait d'un extrait du livre de John A. Stuckey, *Vertical Integration and Joint Ventures in the Aluminum Industry*, Harvard University Press, 1983, qui vient appuyer la position exprimée. L'argument de la sécurité d'approvisionnement était très utilisé à l'époque par les producteurs d'aluminium pour s'opposer à la cotation au LME. De plus, la stratégie actuelle d'alliance entra Alcoa et Audi montre aujourd'hui l'importance de « produits-phares ».

² « En éludant le pouvoir, en faisant de l'économie une discipline non politique, la théorie néoclassique détruit la relation de l'économie au monde réel. Dans ce monde, le pouvoir joue un rôle décisif. Et les problèmes de ce monde s'aggravent, tant par leur nombre que par leur détresse sociale » dans *Chroniques d'un libéral impénitent*, Paris, Gallimard, 1982, p. 352. (trad. française de *Annals of an Abiding Liberal*, 1979). Cité par Ludovic Frobert et Cyrille Ferraton, dans *J. K. Galbraith : le contrôle du pouvoir dans Le capitalisme américain*, L'Économie politique 2003/4 - no 20.

³ J. Bradford DeLong, « *Robber Barons* », *University of California at Berkeley, and NBER, First draft October 13, 1997; second draft January 1998*
http://econ161.berkeley.edu/econ_articles/carnegie/delong_moscow_paper2.html

⁴ En 1965, la famille Mellon, sous l'effet de la dilution du capital, ne possédait plus que 15 % du capital du trust de l'aluminium, Alcoa (Source : Jean-Pierre Minaudier, Lycée La Bruyère, Versailles).

sur les mines de bauxite de Jamaïque y a aussi bien contribué ». La suite est encore plus intéressante pour comprendre le changement d'ambiance de l'époque : « les années 1980 ont vu le retour des 'super-riches' aux USA. Cela est dû au brouillage de la ligne qui avait été tracée à l'époque de la Grande Dépression, pour séparer les financiers et les dirigeants des firmes. Il est redevenu possible de lever des fonds importants et de les employer en fonction d'un intérêt personnel plutôt que de les confier à des managers salariés, intéressés au développement des entreprises ». Décidément, ces années 1980 auront vu bien des changements ! Les années suivantes confirmeront la tendance et verront les rémunérations des dirigeants croître d'une manière exponentielle, le pouvoir avait trouvé de nouveaux alliés.

Revenant encore un instant sur la notion de monopole, il est possible de tirer les leçons du passé dans une tentative d'économie expérimentale, échelle un. Dans les années 1943-1944, le Gouvernement américain s'est opportunément posé la question de l'avenir des énormes capacités de production d'aluminium créées pour les besoins de la guerre. La technologie utilisée pour les construire avait été empruntée à Alcoa, de même que le management. Il était donc techniquement possible de laisser Alcoa gérer l'ensemble, mais c'était aussi confirmer la société dans son rôle de monopoleur aux États-Unis, à l'opposé d'une possible décision de justice. Il a donc été décidé de répartir les nouvelles capacités entre deux sociétés¹, Reynolds et Kaiser, plus ou moins performantes, car elles avaient peu d'expérience de l'approvisionnement en matières premières, alumine et électricité. Que constate-t-on soixante années plus tard ?

1) Auparavant, un aspect lié à l'introduction de l'aluminium au LME peut être précisé. Avant 1978, l'aluminium était acheté auprès d'un fournisseur — ou dans un pays — qui était pour le client le gage d'une continuité dans la qualité du produit. C'était une marque. Après 1978, le LME est devenu quasi monopsonneur des achats et monopoleur des ventes au niveau mondial², l'aluminium s'est retrouvé à la fois normé et banalisé. En revanche, le concept de marque a perdu son sens et, quand le nombre de firmes productrices a augmenté, l'idée de pays producteur s'est imposée pour désigner l'industrie. Des statistiques officielles³ continuent cependant à décrire la situation de la production — aux États-Unis et au Canada — société par société, usine par usine.

2) Au plan économique, une remarque encore s'impose. En effet, la suppression des droits de douane ôte tout sens à la notion de monopole détenu par une entreprise internationale. Si Alcoa produit sur le sol américain ou s'il importe du métal canadien d'Alcan ou du métal produit par une de ses propres usines du Golfe persique, quelle est la différence ? Le prix départ⁴ du produit est le même, la technologie presque identique et le profit du producteur du même ordre⁵. Seules deux variables font la différence, la main-d'œuvre et le transport, mais leur importance relative est faible. Au final, le métal arrive à destination pour être transformé, mais des emplois américains bien rémunérés ont disparu parce que le coût en capital de l'électricité hydraulique est très élevé, parce que les meilleures solutions sont réservées à d'autres usages et enfin parce que les Normes environnementales engendrent des surcoûts importants, là où elles sont appliquées.

¹ Existaient déjà, en Amérique du Nord : Alcoa, bien entendu, et Alcan.

² En théorie. Cette formulation devrait être nuancée en fonction des stratégies réelles de vente des grands producteurs qui gardent le secret sur le sujet. Il s'agit donc d'une hypothèse qui porte plus sur la fixation du prix que sur la nature réelle des transactions.

³ *U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, January 2011*, et *the U.S. Geological Survey Minerals Yearbook, 2009*

⁴ Prix LME bien sûr !

⁵ Puisque seules les sources de courant « bon marché » rendent la fabrication profitable.

3) Maintenant, en plus de ces effets simples, que s'est-il passé d'important dans les pays producteurs au cours des soixante dernières années ? Le panorama a énormément changé en raison des nombreuses opérations de prise de contrôle de sociétés dans leur ensemble. L'exemple sera encore pris aux États-Unis. Le rapport annuel officiel¹ des commodités minérales, est devenu très synthétique. Le chapitre aluminium se traduit littéralement ainsi : « **Production locale et utilisation** : en 2010, cinq compagnies ont exploité neuf usines d'aluminium primaire et six autres usines ont été à l'arrêt toute l'année. La démolition de deux usines arrêtées depuis plusieurs années a commencé. Calculée sur la base des prix publics, la valeur de la production a été de 3,99 milliards de dollars. La transformation est concentrée dans le centre-est des États-Unis². L'emballage utilise environ 31 % de la consommation domestique, le transport 28 %, la construction 14 %, l'électricité 9 %, les équipements industriels 7 %, les équipements domestiques 7 %, et les divers 4 %. **Événements, tendances et problèmes** : pendant la première moitié de 2010, la production des usines domestiques s'est stabilisée après les réductions de 2008 et 2009 dues aux baisses de prix de la seconde moitié de 2008 et à la crise. L'usine de New Madrid (Nouveau Mexique) a retrouvé sa pleine capacité au second trimestre de l'année, après une fermeture partielle due à un problème électrique en janvier 2009. Les travaux d'extension y ont repris pour porter la capacité de 250 000 à 266 000 tonnes/an, à fin 2013. À l'usine de Massena (New York) les travaux continuent pour accroître la capacité de 125 000 à 148 000 tonnes/an. La démolition des usines de Frederick (Maryland) et de Badin (Caroline du Nord) a été annoncée par le propriétaire [Alcoa] qui n'a pas pu obtenir de contrat d'électricité satisfaisant. Au début du 4^e trimestre de 2010, les usines du pays tournaient à environ 55 % de leur capacité. »

En complément, d'après les documents institutionnels³ la capacité consolidée mondiale d'Alcoa s'élevait au 31 mars 2011 à 4,518 millions de tonnes par an et un pointage approximatif indiquait 612 000 t/an à l'arrêt, malgré des redémarrages partiels. De ces documents on tire le même type d'indications, pour les USA cette fois, à savoir 1,584 Mt/an installées dont 572 000 t/an arrêtées. Il est clair que la majorité des arrêts concerne des usines américaines... Le complément de ressources (supérieur à la production primaire locale) vient principalement du Canada (60 %), de Russie (11 %) et de Chine (5 %). Le recyclage représente 24 % de la consommation et les exportations, 41 %.

4) L'analyse de contenu du texte conjoncturel, ci-dessus entre guillemets, fournit les informations suivantes : la crise de 2008 a eu un impact très fort sur l'activité et il s'atténue lentement. Des usines ferment ou tournent au ralenti. Quand des extensions sont envisagées, elles portent sur des tonnages faibles. L'approvisionnement en électricité devient de plus en plus coûteux et difficile à assurer. À l'expérience, ce texte rappelle la France de la fin des années 1980.

Les traces de Reynolds et de Kaiser se retrouvent sans aller aussi loin en arrière. Ainsi, aux États-Unis, Kaiser Aluminum & Chemical Corporation a vendu en 2002 la totalité de ses installations de Tacoma (État de Washington⁴) pour qu'elles soient démantelées. Depuis, son nom a disparu de la liste des producteurs d'aluminium aux États-Unis. Quant à la Reynolds Metals Company, jadis troisième producteur mondial, elle a été rachetée par Alcoa en 2000, à l'époque des « grandes manœuvres⁵ ». Les capitaux associés à ces opérations ont été considérables et de nouveaux venus

¹ Source : <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2011/mcs2011.pdf>

² On peut supposer que le coût de la main-d'œuvre y est moins élevé.

³ *Alcoa Worldwide Smelting Capacity as reported March 31, 2011.*

⁴ Rubrique *Aluminum* par Patricia A. Plunkert, dans U.S. Geological Survey Minerals Yearbook — 2002.

⁵ Alcoa a racheté Alumax par une OPA amicale en 1998.

ont fait leur apparition¹. De la diversification de 1945, il ne reste plus grand-chose, mais la concurrence locale subsiste et Alcoa a encore une fois tiré son épingle du jeu !

Les résultats des années 2009 et 2010 affichent une forte baisse des tonnages produits aux États-Unis, ainsi que des tonnages importés et du recyclage. La cause peut en être attribuée à la crise, mais pas seulement. Début 2012, Alcoa a dévoilé ses résultats 2011 et annoncé une perte nette de près de deux cents millions de dollars au 4^e trimestre, imputée à une baisse des prix de 27 % depuis le point haut de mai². Au total, ses résultats de 2011³ sont égaux au double de ceux de 2010, et en 2012 les perspectives de croissance (des prix) sont bonnes : le producteur anticipe et maîtrise. De son côté, Rio Tinto Alcan a mis en vente toutes ses installations d'Australie, de la bauxite à l'aluminium, son usine d'aluminium de St Jean-de-Maurienne et vient de vendre les usines françaises d'alumine. La diversification du groupe minier qui avait acheté Alcan au prix fort, n'a pas apporté les résultats espérés. Il faut dire que la rentabilité des mines de fer⁴ qui assure l'essentiel des résultats, est sans commune mesure avec celle de l'industrie de l'aluminium !

Après le contexte théorique, sur quelles conclusions débouche l'analyse chronologique qui précède ? La fin du monopole d'Alcoa aux USA a donné lieu, depuis 60 ans, à des empoignades de géants pour lesquelles les capitaux n'ont pas manqué. Les usines changeaient de mains, étaient arrêtées et redémarraient au gré des accords avec les fournisseurs d'électricité, connaissaient des conflits avec le personnel et des grèves violentes. À l'époque, Pechiney et ses partenaires ont installé aux États-Unis deux usines de technologie française, en 1966 et 1970. Au moment où l'aluminium a été coté au LME, il n'y existait plus de monopole de production locale depuis longtemps et la baisse des coûts de transport permettait des importations et des exportations presque sans contrainte. Aujourd'hui, de grandes⁵ usines ferment ou ont déjà fermé, faute de disposer d'un bon contrat d'électricité et/ou en raison de contraintes environnementales, réelles ou à venir. La production domestique (américaine) est encore assurée par plusieurs producteurs, mais la partie la plus importante du tonnage demeure fournie par les usines d'Alcoa (environ 1 000 000/1 720 000 = 58 %).

Les points les plus significatifs sont, d'une part, que seul Alcoa a disposé des ressources financières et des contrats d'approvisionnement nécessaires pour conserver un rôle important aux USA en tant que producteur primaire et, d'autre part, que la production américaine diminue d'une manière apparemment durable. Le recyclage occupe déjà une grande place, susceptible de s'accroître encore. Alcoa ne lutte plus pour produire à tout prix sur place, la rentabilité est redevenue son objectif premier, avant le contrôle de l'offre et la taille. Plus que jamais, la lutte pour survivre figure à l'ordre du jour et il est vraisemblable que, s'il ne reste un jour qu'un seul producteur américain, ce sera Alcoa. Alors, l'indispensable complément viendra, en majorité, des filiales étrangères ou du Canada. La proximité et les liens économiques étroits entre les deux pays assurent l'indispensable fiabilité de l'approvisionnement, fondée de plus sur un avantage absolu. En

¹ Toujours en 2002, Mrs Plunkert recense les producteurs suivants installés sur le sol des USA : Alcoa, bien sûr, Century Aluminum Corporation, Glencore International AG (dans l'alumine), Ormet, Maxxam, et quelques acteurs moins connus. Century, fondé par Glencore en 1995 pour gérer ses activités dans l'aluminium, dispose d'une capacité de production d'aluminium primaire de 785 000 tonnes (usines de 244 000 t/an à Hawesville, KY, de 170 000 t/an à Ravenswood, WV et à Grundartangi, en Islande, plus une participation de 49.67 % dans l'usine de 222 000 t/an de Mt. Holly, SC.). En 2012, Glencore détenait 46,4 % de Century, et Ormet possédait l'usine de 266 000 t/an d'Hannibal, KY.

² Claire Fages, <http://www.rfi.fr/emission/20120111-reduction-production-aluminium-soutenir-prix>

³ Égaux à 611 millions de dollars, AFP 09-01-2012,

<http://www.lesaffaires.com/bourse/analyses-de-titres/alcoa-retombe-dans-le-rouge/539526>

⁴ De l'ordre de 40 %. Voir les résultats annuels 2011.

⁵ Les petites usines ont été fermées vingt ans plus tôt.

complément, la compagnie tire parti des conditions favorables qui lui sont faites à l'étranger pour y développer sa production primaire, tout en y assurant aussi la production d'alumine. Sa forte position dans la bauxite¹ lui permet toutes les combinaisons.

À partir de ce constat, que dire des variations, entre 1945 et aujourd'hui, de l'utilité et du bien-être induites par le partage du marché américain et les évolutions ultérieures ? Il a déjà été répondu à la question en termes de producteurs, de produits et de quantités. La concurrence avec Reynolds sur l'innovation — en particulier pour la boîte boisson — a certainement profité au consommateur. Il semble aussi qu'en l'absence de la décision primaire, la position dominante dont aurait bénéficié Alcoa aurait pu rapidement mettre fin à l'existence de concurrents européens, structurellement fragiles, car moins bien placés en termes de taille et de logistique (British Aluminium Company (BACO), Alusuisse et Pechiney). Et c'est bien la situation actuelle, car ni la politique européenne de la concurrence — pour Pechiney ou BACO — ni le marché via le LME ne les ont épargnés. Était-ce le résultat espéré de ce côté-ci de l'Atlantique ? Pour répondre, il faudrait comprendre la politique européenne de la concurrence et de l'énergie, et ce n'est pas l'objectif. Les événements significatifs ont été exposés de manière à les relativiser. Aller plus loin, supposerait de revenir sur le sujet, après l'étude du LME et avec une approche plus large.

La fin de l'exemple américain marque la fin des généralités sur L'INDUSTRIE DE L'ALUMINIUM ET L'ÉCONOMIE. Le tableau d'une évolution plus que centenaire a été tracé. Pour en préciser les détails et les liaisons, il convient maintenant d'évaluer les éléments constitutifs d'une réalité économique qui se complexifie au fil du temps et ultérieurement ses aspects financiers.

¹ « Le n°1 mondial est AWAC (Alcoa Worldwide Alumina and Chemicals), joint venture entre Alcoa (60 %) et Alumina Limited (40 %), avec, en 2012, environ 44 millions de tonnes extraites ». Source : Société chimique de France.

2.

Les grandeurs économiques influentes et les prix

La distinction faite entre économie industrielle et économie générale induit sans doute des répétitions ou, au moins, l'impression de redites. L'objectif de ce paragraphe B est d'approfondir la description de l'industrie à travers les thèmes théoriques qui ont influé sur son évolution de manière récurrente. Il impose de définir et d'expliquer, dans le contexte, les concepts généraux qui conviennent. Les sept paragraphes qui suivent y sont consacrés.

i. Le capital et son accumulation

Thomas McCraw¹ donne une définition concise du mot capital dont il fait remonter l'origine moderne à 1630 environ et qu'il extrait de *The Oxford English Dictionary* : "*Accumulated wealth reproductively employed*"². Dans un autre texte déjà évoqué, il ajoute un important passage sur l'accumulation³ qui mérite d'être cité : « Déjà dans les années 1920 et plus encore dans les années 1930, la source principale des fonds investis était l'entreprise elle-même et non les marchés, primaire ou secondaire. Bien plus que Berle et Means ne le laissaient entendre dans leur livre, l'argent neuf provenait du cash-flow des entreprises dont une grande partie était mise en réserve. Ce sont ces réserves et non les nouvelles émissions d'actions qui ont servi à l'acquisition d'installations et d'équipements, à la recherche et au développement, enfin au financement des pertes en attendant les profits à venir des nouveaux produits. Alors, les bases des arbitrages entre long et court terme, entre les intérêts distincts des actionnaires, de la structure et du « contrôle » deviennent claires. Les questions cruciales s'énoncent ainsi : Qui décide du partage des profits et suivant quels critères ? Entre les dividendes et les réserves, qui l'emporte ? L'histoire du capitalisme au XX^e siècle tendrait à prouver que la mise en réserve d'une part importante des gains de la firme est un point crucial pour sa prospérité à long terme. Incontestablement, les compagnies les plus florissantes aux États-Unis, en Allemagne et plus encore au Japon, ont manifesté une forte tendance à réinvestir leur profits ».

Après la définition et la recommandation ci-dessus, McCraw raconte l'histoire du capitalisme jusqu'à la mise en cause de la finance⁴ dans la crise de 2008. Au début de sa démonstration, il cite des textes anciens qui reprennent aujourd'hui une vigueur telle qu'il semble opportun de les rappeler. Ainsi⁵, l'Athénien Solon écrivait : « Beaucoup de méchants sont riches et de gens de bien, pauvres » et Confucius disait que « La recherche du gain suscite la haine ». Enfin et ce sera le dernier exemple de cette digression, l'Ancien Testament met en garde : « L'amour de l'argent est la source de tout mal ».

¹ *The Current Crisis and the Essence of Capitalism*, Thomas K. McCraw, *The Montreal Review*, August 2011.

² Traduction proposée : « la richesse accumulée employée de façon à ce qu'elle se reproduise ». *op. cit.*

³ Traduction libre de *Reviews in American History*, Vol. 18, No. 4 (Déc., 1990), pp. 578-596

⁴ Avec un objectif très différent - une appréciation circonstancielle de l'efficacité du marché - la finance internationale sera abordée dans le § 3. III. de cette 2^e partie.

⁵ Traduction libre.

Pour aller plus loin sur le capital et son accumulation, il était utile de trouver une présentation de référence cohérente avec la pratique industrielle. Un texte de Paul Davenport¹ semble approprié. Il recense des apports à la macroéconomie de Clark à Sraffa dont seuls quelques éléments en rapport avec le domaine industriel vont être présentés.

Pour commencer, le meilleur hommage à rendre à ce texte est de reproduire deux paragraphes de son introduction : « ... La théorie qui est à la base des modèles néoclassiques de croissance a été formulée il y a quelque quatre-vingt-dix ans par J. B. Clark². Les travaux de Clark méritent une étude attentive, car il a clairement prévu l'un des principaux problèmes de l'approche néoclassique, à savoir celui de la distinction entre l'investissement et le progrès technique, de manière à pouvoir analyser l'impact de l'accumulation du capital le long d'une fonction de production donnée. La théorie de Clark sur la répartition a été testée dans un remarquable article de Charles Cobb et Paul Douglas qui ont trouvé que les données recueillies aux États-Unis étaient cohérentes avec l'approche de Clark. » L'auteur évoque ensuite « la critique postkeynésienne de la fonction de production agrégée qui est à la base des modèles néoclassiques de croissance. Formulée par Joan Robinson, Piero Sraffa et Luigi Pasinetti, cette critique est axée sur le rôle du capital en tant qu'intrant de production et conclut que la fonction agrégée et docile de production ne repose sur aucun fondement théorique ». Il ajoute « dans la cinquième partie, nous examinons la contribution positive des modèles de croissance non néoclassiques (y compris ceux de Harrod et de Kaldor) à notre compréhension du processus de croissance, en particulier sous l'angle du rôle de l'investissement dans le progrès technique et la croissance ». In fine, il propose une approche qui englobe l'intention initiale du présent travail : « D'après nous, il serait peut-être bon que les idées postkeynésiennes à ce chapitre se traduisent par une nouvelle approche de l'investissement et de la croissance qui combine certaines parties des modèles de Harrod et Kaldor ». La voie de l'élaboration d'un nouveau type de modèle a donc été déjà balisée. Pour l'emprunter — ce qui a été tenté pour l'aluminium parce que production, capital, travail et technologie y sont intimement mêlés depuis l'origine — il faut l'adapter *toutes choses égales par ailleurs* au domaine étudié en introduisant l'énergie — électrique au moins — la grande absente du modèle de Solow.

Davenport reprend donc les travaux de Clark. Il analyse comment celui-ci a tenté d'appliquer, au capital, la loi des rendements décroissants à partir de ce qu'il appelle le « Postulat des techniques invariables » que Ricardo a utilisé pour l'agriculture. Il distingue deux aspects du capital : une liste formelle, concrète et rigide, d'une somme d'outils, d'équipements et de bâtiments destinés à produire un travail défini, et une expression abstraite, totalement flexible, proche toutefois de la pensée pratique et de la réalité, d'une somme de monnaie (ou capital pur) destinée à des usages productifs. Pour lui, la confusion entre ces deux expressions a justifié le passage à l'abstraction mathématique et son utilisation abusive. Les deux formes sont complémentaires et nécessaires en permanence.

« Le problème avec le "fonds de richesse" ou "capital pur" réside dans le fait que ses formes physiques doivent changer lorsqu'il est associé à plus ou moins de travail » écrit Davenport après

¹ « *Investissement, progrès technique et croissance économique* » Paul Davenport, L'Actualité économique, vol. 58, n° 1-2, 1982, p. 153-190. Version numérique : <http://id.erudit.org/iderudit/601018ar> et « *Capital Accumulation and Economic Growth* », Davenport, Paul (1976), Thèse de doctorat non publiée, Université de Toronto, Department of Political Economy.

² *The Distribution of Wealth* (1899). « J. B. Clark fut le pionnier de l'application des rendements décroissants au capital » écrit Paul Davenport.

Clark, et cette formulation recoupe parfaitement l'expérience industrielle¹ de la mécanisation des tâches, par exemple. Sur ce plan, les débuts d'une activité de production, parfaitement décrite par les critères de construction liés à la technologie, sont très clairs, mais au fur et à mesure que l'entreprise productrice et son environnement évoluent, que le matériel se rûde puis s'use, que le capital utilisé s'accroît par l'investissement nouveau et que l'efficacité de la technologie progresse par l'effet d'expérience, les choses deviennent plus difficiles à discerner. Là se trouve cette notion de *sunk cost*, ces coûts « enfouis » et irrécupérables, fondus ensemble dans les livres comptables alors que les biens matériels ne sont pas fongibles et que les matériels d'occasion n'ont plus la même « valeur vénale » que lorsqu'ils étaient neufs, bien qu'ils rendent encore le même service. En général, tous les changements apportés n'ont pas été décrits dans le détail et personne ne sait déconstruire *ex post* ce qui a été accumulé sur une longue période d'activité. Au mieux, il est possible d'en raconter l'histoire et de dire à la toute fin ce qu'il reste et combien l'aventure a coûté² ! D'ailleurs et cela montre bien certaines limites de l'analyse théorique, pour pouvoir effectuer la répartition des produits entre capital et travail, Clark ramène la dynamique de l'ensemble macroéconomique à une économie fictive et statique, alors qu'il a compris, explique Davenport³ preuve en main, que le progrès technique modifie les proportions de capital et de travail.

Dans l'industrie de l'aluminium, pour une nouvelle usine d'électrolyse, une fois la technologie⁴ choisie et le capital fixé, la capacité de production et la quantité de travail⁵ annuel correspondante sont parfaitement définies (en pratique, à capital constant la production augmentera et la quantité de travail diminuera, un peu, dans le temps, grâce à des aménagements matériels et/ou à une meilleure organisation du travail, c'est une des finalités du travail quotidien de l'encadrement). En outre, un effet d'expérience a souvent permis d'accroître marginalement la production à moyen terme, jusqu'à + 10 % environ, par l'augmentation de l'intensité du courant et pour un faible coût en capital. En conséquence, le lien logique énoncé ci-dessus n'a pas durablement la précision mathématique qu'il y paraît. De plus, la notion de dérivée de la fonction de production⁶ par rapport au capital ou au travail, couramment utilisée par les modèles néoclassiques de croissance, ne s'applique pas. En effet, le procédé d'électrolyse impose à la fois un nombre donné d'unités de production — les cuves⁷ — et le caractère aléatoire⁸ des rendements. Seules existent des valeurs moyennes de la production, mensuelles et annuelles, et la règle triviale de proportionnalité. Les augmentations de la capacité de production nominale s'effectuent par saut et leur mise en œuvre relève toujours du cas d'espèce. En effet, elles nécessitent une étude technique qui définit les coûts en capital, les conséquences sur le travail et les conditions de mise en œuvre. Bénéficiant, soit de son caractère marginal, soit des récents progrès techniques, le dernier investissement réalisé augmente le profit unitaire (par tonne d'aluminium). Par définition, le rendement d'un investissement industriel

¹ Complétée par l'hypothèse d'un progrès technique incorporé et des « générations de capital », dans une situation de type clay-clay, Cf. Gilbert Abraham-Frois, *Dynamique économique*, Dalloz, 9^e éd. 2002.

² L'exemple-type de cette approche dynamique est celui du prix du tracteur d'occasion de Sraffa.

³ C'est lui qui l'affirme et l'idée recoupe la citation du début du paragraphe.

⁴ Il convient de noter que le coût de la technologie, qu'elle soit produite par l'entreprise ou achetée, s'ajoute au coût de l'investissement.

⁵ Supposé homogène. En toute rigueur les proportions ont varié avec le progrès technologique et l'agrégation s'effectue, comme pour le capital, en unités monétaires. Cette affirmation sera développée un peu plus loin.

⁶ Pour une technologie donnée et en supposant son existence.

⁷ Dans une usine récente, il y en a plusieurs centaines.

⁸ Autour de la production nominale. Des précisions seront apportées dans l'étude économétrique.

est censé être supérieur au taux d'intérêt moyen des prêts à long terme¹. Quant au progrès technologique, jusqu'à présent, il a toujours² conduit, d'une part à augmenter la production dans de bonnes conditions — et aussi l'emploi³ — grâce au rendement d'échelle croissant du capital investi, et d'autre part à substituer du capital au travail.

D'après Mrs Joan Robinson (citée par Davenport), la répartition des profits entre capital et travail, implique une valeur variable du capital dans le temps : « La valeur du capital dépend donc du taux de profit⁴. Il n'existe aucune façon réaliste de représenter une quantité de capital autrement que par le taux de profit ; dire que les profits mesurent, ou représentent, ou correspondent au produit marginal du capital, n'a aucun sens ». Dans la même ligne, Sraffa montre que « le taux de profit ne découle pas d'une relation *technique* entre un intrant agrégé et un extrant agrégé... mais traduit plutôt une relation *financière* entre le revenu, les salaires et les profits, contrainte par les possibilités techniques de transformation des intrants en extrants ». Cette vision qui correspond assez fidèlement à la réalité de l'industrie est malheureusement difficile à expliciter. Qui plus est, ladite relation varie dans le temps. La répartition ne s'effectue donc pas suivant la théorie néoclassique « d'épuisement » et elle n'est pas modélisable. En effet, les profits dépendent en premier lieu du prix du métal qui fluctue vite et largement⁵ et des salaires qui sont rigides à court terme. Le rendement du capital investi correspond à celui d'une rente variable, c'est un reste.

La partie macroéconomique du texte de Davenport qui va de l'estimation de la fonction de production de Cobb et Douglas⁶ (1928) à celle de Valavanis-Vail — qui, en 1955 et à l'aide de nouvelles données, inverse leur résultat — justifie le renoncement à l'application d'un modèle néoclassique. Cette inversion de l'importance relative du capital et du travail, mérite d'être rapportée dans ses grandes lignes. Le changement relatif à l'exposant du capital dans la fonction de Cobb-Douglas s'explique ainsi : « Celui-ci doit être élevé⁷ parce que la productivité du capital est pour ainsi dire constante lorsqu'il se produit des augmentations importantes du capital par homme ». Et il explicite le résultat des observations : « pour les économies nationales, l'intensification⁸ du capital va généralement de pair avec une productivité assez stable du capital ». Sans entrer dans les aspects fondamentaux de l'analyse néoclassique que développe Davenport, il est possible de montrer le basculement à l'aide des chiffres et des diagrammes associés.

¹ Cette condition semble seulement théorique à partir des années 1980 pour l'aluminium, car les opérations financières sont devenues très rentables quand l'industrie ne l'était plus. Les premières solutions de délocalisation de l'industrie datent de cette époque.

² Il existe une exception notable susceptible de se reproduire dans un avenir proche. Dans les années 1970, la protection de l'environnement a nécessité à la fois des investissements importants et la création d'emplois qui n'ont pas augmenté la production. Avec les notations usuelles, ils ont augmenté le coefficient de capital (K/Q) et le coefficient d'utilisation de la main-d'œuvre (L/Q). Au plan technique, cette époque constitue un point de rupture des paradigmes de la croissance.

³ Par la croissance de l'activité et des tonnes produites.

⁴ Cette situation est simplement celle du capital qui, placé, produit de l'intérêt. Mais la différence de nature entre les deux formes de capital subsiste, comme il a été précédemment indiqué.

⁵ Voir plus loin les prix et le London Metal Exchange.

⁶ En 1926, Cobb et Douglas « voulaient déterminer la validité de la théorie de la productivité marginale et voir si les mesures agrégées du capital et du travail obéissaient à la loi des rendements décroissants ». A l'aide des données de 1899 à 1922, ils ont « trouvé que les chiffres annuels de la production (Q), du capital (K) et du travail (L) » suivaient une loi de type $Q = 1,01 * K^{1/4} * L^{3/4}$.

⁷ Il vaut 0,7 d'après Valavanis-Vail (à partir des chiffres de Kuznets) au lieu de 0,25 dans l'étude de Cobb et Douglas.

⁸ « L'intensité du capital est le rapport du capital au travail. L'intensification du capital est l'augmentation de l'intensité du capital » précise Davenport.

Les chiffres de Cobb et Douglas pour les États-Unis, de 1899 à 1922, sont rappelés les premiers dans le tableau ci-dessous, en valeurs annuelles pour la fabrication — production, capital et travail — puis viennent les chiffres à plus long terme de Kendrick pour la fabrication de 1869 à 1966 et enfin, ceux de Kuznets pour l'économie nationale. Les valeurs de Kendrick¹ relatives à la production, au capital et au travail aux États-Unis sont reproduites ci-dessous et suivies d'une représentation graphique. Pour comparer les évolutions et mettre en évidence le changement de perspective, les chiffres de Cobb et Douglas qui reposent sur des bases différentes mais tendaient vers le même objectif sont aussi illustrés. Les commentaires qui suivent les graphiques sont de Davenport.

¹ Kendrick, J. W. (1961), *Productivity Trends in the United States*, Princeton University Press; m. à j. 1973, in Davenport, *op. cit.* La même année, S. Kuznets a fourni d'autres chiffres, voir remarque ci-dessous.

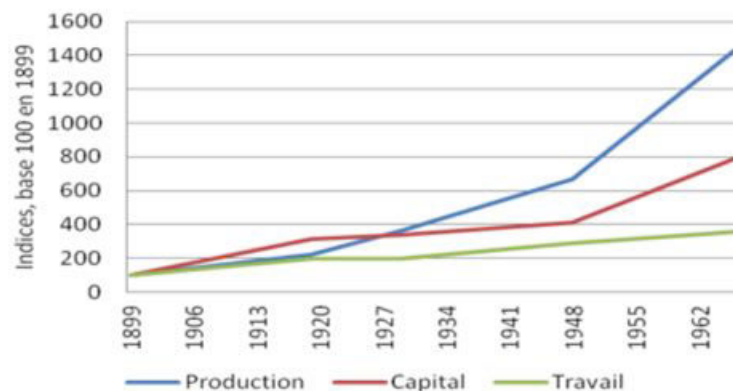
Indices de la production, du capital et du travail aux États-Unis

(1899 = 100)

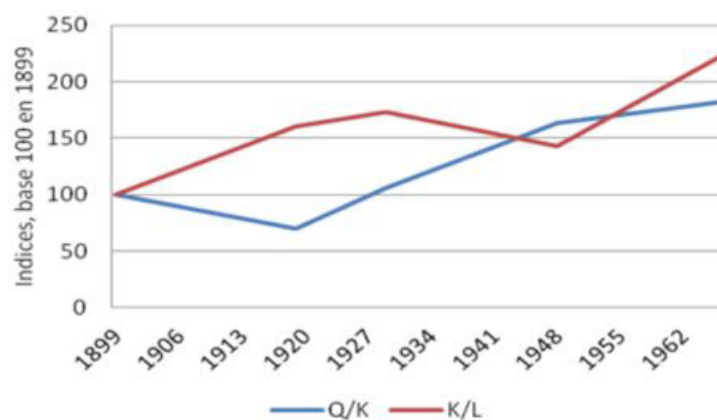
Source	Année	Production (Q)	Capital (K)	Travail (L)	Q/K	K/L
Cobb-Douglas (Fabrication)	1899	100	100	100	100	100
	1919	218	387	193	56	201
	1922	240	431	161	56	268
Kendrick (Fabrication)	1869	26	15	39	170	38
	1899	100	100	100	100	100
	1919	222	317	197	70	161
	1929	364	341	197	106	173
	1948	669	412	288	163	143
	1966	1432	788	354	182	222
Kuznets (Économie nationale)	1869	26	25	45	104	56
	1899	100	100	100	100	100
	1919	185	210	146	88	144
	1929	259	283	170	92	167
	1955	485	409	230	119	178

Représentation graphique

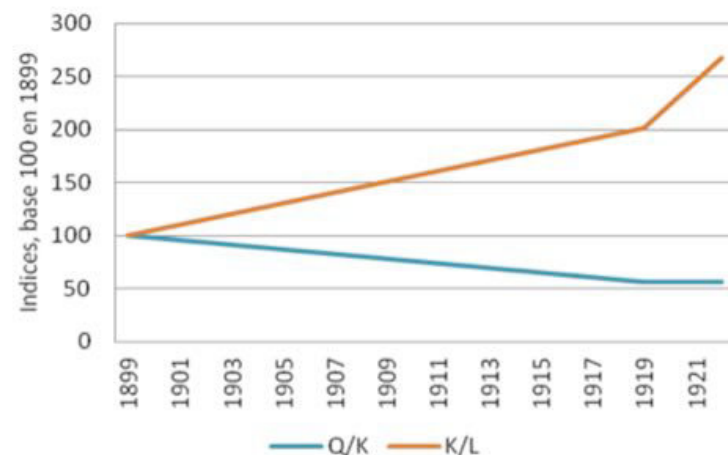
Kendrick :



Kendrick :



Et Cobb-Douglas (avec une échelle de temps dilatée) :



Chez Kendrick, le travail est mesuré par l'emploi, la production et le capital sont en prix de 1929, les données du capital comprennent la terre et les stocks, enfin les séries de la production manufacturière utilisent la valeur ajoutée déflatée. « Les statistiques 1961 de Kendrick sur le secteur manufacturier montrent que pour la période 1899-1919, Cobb et Douglas avaient surestimé à la fois l'augmentation du capital et la chute de la productivité du capital. Qui plus est, Kendrick devait trouver que la productivité du capital s'était accrue si rapidement pendant les années 1920 que le rapport production-capital était légèrement *plus élevé* en 1929 qu'en 1899 en dépit d'une augmentation de 73 % du capital par travailleur dans le secteur manufacturier. »

Et Davenport conclut : « C'était en fait la preuve apportée par Valavanis-Vail qui représentait le cas général, à savoir que, pour les économies nationales, l'intensification du capital va généralement de pair avec une productivité assez stable du capital. En termes de statistiques conventionnelles, le capital agrégé n'obéit généralement pas à la loi des rendements décroissants¹ ». De plus, grâce aux nouvelles données disponibles, il a été possible d'introduire le temps dans une fonction de production de type Cobb-Douglas, ce qui préparait le travail de Solow. Le résultat a été positif : « La tendance chronologique compte pour une croissance de 80 % par décennie ou environ 0,75 % par an ». L'explication provient de ce que la formulation représente une approximation du progrès technique, en complément du capital. Il devrait être possible d'ajouter une faible part de main-d'œuvre substituable par le capital, et bien sûr l'énergie en substitution au temps.

L'article de Davenport date de 1982 et sa recherche initiale, sa thèse, date de 1976. À l'époque, le rôle de la finance n'apparaissait pas en pleine lumière. Son influence sur la croissance était limitée à la question du capital et au partage des profits évoqués ci-dessus. Depuis, l'analyse du domaine a beaucoup progressé vers une conception plus globale et un paragraphe y sera consacré, au moment de l'étude du LME, partie B § c III. A priori, il changera la perspective, parce que l'évolution s'effectue en spirale, ajoutant sans cesse de nouveaux aspects à l'analyse. Mrs Robinson parlait de « bouclages ». La finance a eu une double influence sur la croissance, en termes de capital et en termes monétaires comme évoqué ci-dessus. L'important rapport de Boyer, Dehove et Plihon² sur les crises financières le montre clairement.

Remarque technique sur le capital

L'expérience industrielle autorise un jugement de valeur qui va dans le sens de Mrs Robinson. Au-delà des définitions et des études macroéconomiques, au-delà des grands projets et de leur importance pour la reconstruction et la croissance, les « cultures » et le goût pour la technique influent sur les solutions retenues et donc sur leur coût. Un exemple simple l'illustre, c'est celui de la définition initiale — critères de dessin ou cahier des charges — de la Citroën 2CV et de sa longue histoire. Initialement définie au milieu des années 1930, comme « quatre roues sous un parapluie » elle est vite devenue « deux places assises et 50 kg de bagage transportable sur des routes de campagne ». Tout en restant économe en carburant, elle a évolué au cours du temps pour faire profiter les consommateurs des progrès techniques. Ils ont dû accepter le progrès, sans avoir la possibilité de revenir au modèle initial. Toutes les étapes ultérieures jusqu'à l'arrêt de la production en 1990 et même la crise actuelle de l'automobile sont contenues dans cet exemple, transposable à d'autres industries. Quelles sont les causes et leurs noms dans l'aluminium ? D'abord, dans le temps et pour la production, la cause s'appelle la concurrence sur tous les fronts : concurrence entre fournisseurs de gros équipements ou de sous-ensembles qui, souvent, définissaient la taille de l'ensemble lui-même ; compétition entre chercheurs qui multipliaient les prouesses et militaient ensuite pour leur solution ; concurrence enfin entre producteurs, attachés à l'un ou l'autre indicateur d'efficacité, voire à des considérations étrangères à l'état réel de la technique. À cela se sont ajoutées des considérations sociales et de prudence, comme la prise en compte des conditions de

¹ Cette position est globalement conforme à celle des néo-Ricardiens et opposée à celle des néo-classiques. Voir la position de Samuelson, résumée dans *Historical Background* par Robert P. Murphy, source <http://mises.org/daily/1148> et aussi la théorie autrichienne du capital et de l'intérêt.

² *Les crises financières*, Robert Boyer, Mario Dehove et Dominique Plihon, CAE, La Documentation française, Paris, 2004 (414 p).

travail, de la santé et de la sécurité¹ — du personnel et des installations — la mécanisation des tâches puis leur automatiser² et enfin la protection de l'environnement, passée et il faut l'espérer à venir. Dans toutes ces dimensions, ce n'est pas de croissance qu'il s'agissait mais bel et bien de développement au sens introduit plus haut. Le partage des dépenses entre nécessité et confort relève de critères subjectifs et donc changeants, si bien que pour produire une quantité actualisée d'aluminium — par exemple 500 000 t/an — il existe beaucoup de valeurs du capital nécessaire et en aucun cas une seule. Au titre des « réflexes culturels », il est assez classique d'opposer le pragmatisme parcimonieux des américains au plaisir narcissique des français pour l'exploit technique. L'époque des rendements d'échelle croissants a probablement atténué l'effet des différences d'approche, mais le retour à une situation moins favorable justifie une vigilance renforcée sur l'usage efficient du capital.

Dans une étude de décembre 2011, intitulée *L'aluminium primaire au Québec*³, *Un leadership mondial en question*, un consultant, E&B DATA, présente un panorama de la situation dont il est intéressant de reproduire la partie relative aux dépenses en capital, pour fixer les ordres de grandeur :

« En termes d'investissement pour la période 1985 à 2010, l'industrie de l'aluminium primaire a investi plus de 16 milliards de dollars au Québec. Depuis 2004-2005, les activités d'investissement connaissent dans l'ensemble un ralentissement attribuable à une série de facteurs incluant la crise économique de 2008-2009. Le choc a en effet été sévère et la fermeture prévue d'une aluminerie (à Beauharnois) a dû être devancée. Les conséquences de la crise se font encore sentir, avec des inventaires encore très élevés au niveau mondial. La production en volume physique s'est cependant maintenue.

« Au-delà de ces dépenses d'investissement, l'industrie de l'aluminium primaire a dépensé au Québec 2,4 milliards de dollars en 2010, sans compter les dépenses d'électricité. Ce montant de dépenses locales comprenait 1,3 milliard de dollars en dépenses relatives aux ressources humaines (salaires et avantages sociaux, pensions de retraite, formation), 1,0 milliard de dollars en dépenses en biens et services, et 100 millions de dollars en R&D. »

Remarque sur le travail et son évolution

Le travail ne semble pas avoir été analysé de la même manière que le capital. Chez Ricardo le parallèle est flagrant quand il affirme « nous supposerons, toutefois, qu'il n'y a pas de progrès en agriculture et que capital et population progressent dans la proportion appropriée⁴ ». Outre la terre, le capital est constitué par les outils nécessaires à la production et le travail est accompli par des agriculteurs, l'un ne va pas sans l'autre. Que ces travailleurs soient compétents dans leur domaine allait de soi, ils avaient disposé de siècles pour apprendre ! Et pourtant, de même que la forme du capital a évolué avec les machines, de même la nature du travail a changé avec l'industrialisation, le fordisme puis la fin de celui-ci. Les tâches répétitives ont de plus en plus souvent été laissées à des machines qu'il fallait inventer et entretenir, puis à des automatismes qui commandent les machines.

¹ Il s'agit-là de la notion la plus élastique qui correspond au risque que le décideur – propriétaire ou exploitant – accepte de prendre, risque financé par le capital ou par l'exploitation, risque assurable ou pas, etc. La sécurité des personnes est une priorité absolue.

² Ici aussi, il est difficile de déterminer l'optimum qui est sensible aux progrès de la technique et aux dimensions sociales.

³ Introduction : « L'industrie de l'aluminium primaire au Québec représente une masse critique considérable. Avec une capacité de production représentant 7 % de la capacité mondiale, le Québec dépasse maintenant les États-Unis ».

⁴ Dans Sraffa, cité par Davenport.

Le travail a changé d'objet, de même que les compétences nécessaires. Aujourd'hui, un nouveau paradigme vient de ce que capital et technologie, tout-à-fait mobiles, se déplacent à la rencontre d'une main-d'œuvre peu chère. Dans les pays industrialisés depuis plus d'un siècle, la mobilité géographique de la main-d'œuvre a atteint des limites d'acceptabilité. Aujourd'hui les hommes s'adaptent difficilement aux dernières étapes de l'évolution en cours qui suppose le passage à un fort pourcentage d'activités de service. Parfois, ils sont tentés de tout remettre en question. Dans un passé récent, industriels, syndicats et gouvernements — par la négociation et par la législation¹ — ont prévu d'importants efforts de formation, signifiant par là-même que la nature du travail et donc l'emploi avaient changé. Le constat est fait, la réaction s'avère lente.

Au XX^e siècle, dans l'industrie, la main-d'œuvre de production dite « horaire² » a diminué mais le personnel « mensuel » de support technique, d'administration et d'encadrement a augmenté. L'unité de mesure commune à cet ensemble hétérogène — tout comme l'est le capital — pourrait être le nombre d'heures de travail total s'il était mesurable ou calculable, ou bien l'effectif à temps plein équivalent. À défaut, il ne reste plus que la masse salariale monétaire, avec ses écarts individuels. Sous une forme différente, il s'agit donc du même problème d'agrégation (nature des emplois, effet du recrutement, de la formation, du turn-over, etc.) que pour le capital physique. De plus, la valeur de l'unité monétaire est, elle aussi, soumise aux variations des taux de change.

Les prix conditionnent les résultats finaux qui sont l'appréciation monétaire de la performance de l'industrie et l'estimation de ses chances de survie. Leur importance impose de comprendre leurs fondamentaux — leurs « drivers » —, car ils ont conditionné le passé comme ils préparent l'avenir. Le sous-paragraphe vi y sera consacré et des éléments de théorie seront évoqués. Le sous-paragraphe vii sera l'application numérique à l'aluminium, des concepts i à vi. Auparavant, la croissance, la structure des entreprises, l'offre et de la demande vont être traités.

ii. La croissance et ses sources

“For thousands of years before the Industrial Revolution, which started in about 1760, most people believed they should remain in their place and conserve what they had”, écrit Thomas K. McCraw³. La notion même, la prise de conscience de la croissance et de ses effets sont des apprentissages récents. Quant au crédit qu'il appelle « money of the mind », il apparaît comme la source, à la fois, de la croissance économique et d'un désastre potentiel.

Les ouvrages et publications qui traitent de la croissance abondent. Un article de Marcel Gillet⁴, historien-économiste, pose avec sensibilité, en 1972, la question de la croissance et de son apparition au XIX^e siècle. La date de publication indique la difficulté de l'exercice et la nécessaire modération des jugements hâtifs. Le problème paraît lié à un excès d'enthousiasme pour la schématisation de la croissance en cinq étapes de Walt Rostow, très critiquée après coup par la littérature anglo-saxonne en raison de l'impossibilité de généraliser⁵. Pour la Grande-Bretagne, le

¹ Traité de Lisbonne, par exemple.

² Payée à l'heure, à la différence des employés, agents de maîtrise et cadres payés au mois, suivant la terminologie française. Les Américains utilisent la même notion de personnel horaire.

³ *American Business, Since 1920: How It Worked*, Thomas K. McCraw, Harlan Davidson, 2009. Traduction libre : « Pendant des millénaires, jusqu'à la Révolution industrielle qui commença vers 1760, la grande majorité des hommes a considéré qu'ils devaient rester à leur place et se satisfaire de ce qu'ils avaient ».

⁴ Au XIX^e siècle : « Industrialisation linéaire ou industrialisation par bonds ? » Gillet Marcel, *Revue économique*, Volume 23, n°5, 1972. pp. 723-752.

⁵ Critique confirmée par Claude Fohlen qui affirme que chaque pays a ses spécificités. Cf. *Allemagne, États-Unis, France, Russie : une évolution économique comparable?* In: *Histoire, économie et société*. 1985, 4^e année, n° 4. pp. 571-574.

consensus s'est fait sur une croissance caractérisée à la fois par une Révolution industrielle et un «décollage» à la Rostow. En revanche, les disparités régionales et les habitudes sociales ont placé la France dans une situation différente qui recoupe d'ailleurs le constat de McCraw dans la citation qui débute le présent point ii. Pierre Léon¹ citant François Perroux souligne que croissance et développement devraient être considérés ensemble, la croissance étant « l'épiphénomène d'un complexe très diversifié et dont l'étude suscite l'intervention de spécialistes ». Si l'exemple de la croissance dans les Charbonnages de la région du Nord de la France, développé par Gillet, s'étendait à la France entière, il montrerait, pour l'époque, « [la] genèse d'une croissance et [l']avortement d'un développement ». Le cas de l'aluminium, plus tardif, va dans le même sens, celui d'une industrie régionale, acceptée dans les Alpes et dans les Pyrénées, car procurant un revenu stable de deuxième emploi à des agriculteurs totalement attachés à leur terre.

Ces considérations sont encore d'actualité², certaines se trouvent pour l'aluminium dans le livre d'Ivan Grinberg et Florence Hachez-Leroy³. Il est impossible de prendre en compte toutes les dimensions du développement et seules des grandeurs chiffrées, dans leur partialité et leurs éventuelles incohérences, peuvent être analysées. La croissance n'est plus alors que la valeur relative d'une même grandeur, le plus souvent la production, mesurée — de préférence — de la même manière, à deux époques différentes.

L'idée de mettre en regard, pas à pas, le réel et les bases théoriques de son analyse a été empruntée à Caves⁴ qui y recourt systématiquement. Érigée en méthode de travail dans la présente étude, elle conduit, pour la croissance qui en constitue le cœur, à rapprocher le plus possible les deux aspects du domaine. Le sous-chapitre vii et l'étude économétrique y sont plus directement consacrés. Après le concept de croissance, vient un autre sujet majeur, la structure des entreprises, au sens de l'économie de la production, son origine et son évolution.

iii. Structure des entreprises et repères théoriques de leurs conditions de production

La question de la naissance d'une firme peut recevoir une réponse spécifique⁵ dans le cas de l'industrie de l'aluminium. Il s'agit de dire pourquoi la firme existe et de définir le périmètre de ses activités, à ses débuts. En France comme aux États-Unis et ailleurs, la production d'aluminium — électrolytique, bien entendu — a démarré au sein d'entreprises créées⁶ pour mettre en œuvre un brevet permettant de produire⁷ un métal nouveau, brillant comme l'argent, aux propriétés physiques attractives. En parallèle, la recherche métallurgique en laboratoire a abouti à des avancées majeures

¹ Dans l'article de Marcel Gillet.

² Voir le travail effectué par les membres de la Commission sur la mesure de la performance économique et du progrès social, en 2008-2009, pour caractériser la croissance du PIB français.

³ *Industrialisation et sociétés en Europe occidentale de la fin du XIX^e siècle à nos jours, L'Âge de l'aluminium*, I. Grinberg et F. Hachez-Leroy, Armand Colin, 1997.

⁴ *Op. cit.* Voir 2^e partie § 1. II. iv.

⁵ Ronald Coase — dans Médan et Warin, *Économie industrielle*, Dunod, 2000 — y répond ainsi dans la généralisation : « la principale raison qui rend avantageuse la création d'une entreprise paraît être l'existence d'un coût à l'utilisation du mécanisme des prix ». De fait, il existe une énorme différence d'état d'esprit entre la gestion d'un prix de cession, à l'intérieur de l'entreprise, et la gestion d'un prix de marché, entre deux entreprises attachées l'une et l'autre à leur résultat. Bien plus que des coûts de transaction, cette différence résulte de l'enjeu, c'est-à-dire de la répartition du profit. La question se retrouve en permanence dans la relation entre électricité et aluminium !

⁶ Héroult n'a pas réussi à convaincre le directeur de l'usine de production d'aluminium chimique, à Salindres (Gard), de tester son procédé électrolytique.

⁷ 50 lbs par jour en 1889, dans le premier atelier de Hall sur Smallman Street à Pittsburgh et 1200 tonnes en 1902, à La Praz en Savoie.

dans le domaine des alliages, élargissant le champ des applications. Parmi les produits nécessaires à la production, l'alumine, le carbone et la cryolithe¹ pouvaient être achetés sur le marché. Les autres activités devaient² donc faire partie de ce que l'on appelait l'usine, y compris la production de l'électricité par des machines tournantes et qualifiée de production jointe pour des questions de répartition des coûts. L'usine, petite à l'origine, voire un simple atelier, était alors constituée d'une source de courant continu, d'un espace dédié à la production du métal, l'électrolyse, d'un atelier carbone pour fabriquer les électrodes, et d'une fonderie — peut-être aussi d'un laminoir et d'un banc d'étrépage — pour rendre le métal commercialisable. La nécessaire coordination entre ces diverses activités était effectuée en interne par la hiérarchie et elle a continué de même jusqu'à aujourd'hui³. Seule la production d'électricité a vite pris son autonomie, aux USA et au Canada, où le débit des fleuves la rendait propre à créer le marché. En France, la séparation de principe n'a été effectuée par la nationalisation d'EDF qu'en 1946. Quand la relation entre le fournisseur d'électricité et le producteur d'aluminium est devenue contractuelle, des problèmes sont apparus qui ont, dans le temps, entraîné de nombreuses fermetures d'usines. La principale pierre d'achoppement était le prix du courant, parfois aussi le manque d'eau pour alimenter les centrales, problème spécifique de l'hydraulique.

L'internalisation des transactions d'achat de l'alumine a commencé après l'invention, par le chimiste Bayer, d'un procédé de traitement économique de la bauxite. La principale considération à l'origine de la décision semble avoir été la sécurité des approvisionnements, dès le début de la Première Guerre. En raison de l'éloignement des mines de bauxite — en Jamaïque et en Guyane britannique, notamment — et des risques sur les investissements, l'intégration allait jusqu'à la mine. Il en a résulté probablement des économies de coûts de transaction, mais ce n'était pas l'objectif premier. Quant à l'internalisation des coûts de vente de l'aluminium par l'intégration de la première transformation, elle a pour origine l'absolue nécessité de vendre l'aluminium sous une forme ou sous une autre⁴. Le développement de sociétés de transformation, filiales ou concurrentes des filiales, a nécessité d'importants capitaux et il s'est effectué à une époque de rendements d'échelle élevés. La diversification vers l'emballage et les produits de grande consommation a commencé dans les années 1960, à l'intérieur des sociétés intégrées ou par fusion-absorption. L'absence de prix de marché de l'aluminium facilitait la tâche des entreprises intégrées et donc leur existence, jusqu'en 1978.

Coase pose aussi la question de la croissance de l'entreprise et de son éventuelle limite. La logique industrielle veut que la taille de l'entreprise, au moment de sa création, puis au fur et à mesure de sa croissance, corresponde à des investissements proportionnés dans chaque activité interne — sans excédent de capacité intermédiaire et sans goulot d'étranglement — qui permettront de produire le plus possible, au coût minimum. Dans les conditions impératives présentées ci-dessus, il semble assuré que le doublement de la taille d'une unité est plus économique que la construction de deux unités identiques à quelque distance l'une de l'autre. Mais jusqu'à quelle taille ce raisonnement peut-il être effectué ? Le progrès technologique, imprévisible, a fait croître la taille des équipements dans le temps, par sauts et grandes étapes, alors que le capital était disponible et que la demande existait. Dans les années 1980, la sécurité de l'alimentation électrique et le principe de répartition des risques avaient fixé une limite non écrite à 300 000-350 000 tonnes d'aluminium par

¹ La cryolithe naturelle, produit fluoré essentiel, a été trouvée en quantités significatives au Groenland.

² Il n'y avait tout simplement pas d'alternative.

³ La fabrication d'anodes et de cathodes en carbone a pu être externalisée suivant les circonstances et les époques.

⁴ George Smith le raconte dans son histoire d'Alcoa, *op. cit.*

an sur un site donné. Depuis longtemps une vieille usine russe dépassait ces chiffres et la taille des usines n'a cessé de s'accroître en raison de la fiabilité des équipements électriques. Sur ce sujet, une notion fait l'objet de peu de débats, qui apparaît pourtant comme une évidence au sein de toute entreprise. Elle porte sur les capacités de l'entrepreneur : « à mesure que l'entreprise grandit, la fonction de l'entrepreneur peut connaître des rendements décroissants¹, c'est-à-dire que les coûts d'organisation des transactions additionnelles à l'intérieur de la firme peuvent augmenter ». Kaldor exprime clairement son point de vue sur le sujet en parlant de « difficultés de coordination² » imputables aux propres limites du manager dont la fonction au sein de l'entreprise est d'un caractère unique. Plus clair encore « selon George Richardson ce sont les capacités de direction, lorsqu'elles sont insuffisantes, qui peuvent freiner la croissance de la firme³ ». Dans le domaine, et le fait est souligné par George Smith, la carrière et la longévité de Arthur V. Davis à la tête de son entreprise témoignent de ses exceptionnelles aptitudes.

Dans le temps, la suite de la pensée de Coase est assurée par Oliver Williamson qui, dans un contexte de marchés imparfaits — dans un environnement incertain — accepte l'idée, après Herbert Simon⁴, que « les agents se comportent rationnellement mais sont limités par leurs capacités cognitives en raison de leurs capacités limitées d'acquisition et de traitement de l'information⁵ ». Il analyse les relations contractuelles, les transactions⁶ entre ces agents, ce qui le conduit à travailler sur le choix des structures organisationnelles dans lesquelles s'effectuent ces transactions. Dans sa théorie des coûts de transaction, il a développé des outils analytiques qui permettent d'évaluer « la logique des choix des structures organisationnelles⁷ ». Séparément, ces auteurs présentent la pensée de Williamson comme une évolution dans la recherche de l'efficacité : « la question économique de l'efficacité n'est plus exclusivement celle des conditions de l'optimalité d'un échange par le marché comme dans l'économie néoclassique, mais celle de la meilleure organisation possible d'un échange donné compte tenu du fait qu'il peut être organisé de différentes manières ». Est-ce lire entre les lignes que d'estimer que cette optimisation volontaire de l'échange qui dépasse les nécessités du marché, correspond à la recherche systématique d'un profit plus grand et qu'elle peut, elle aussi, conduire à la fermeture d'unités de production peu, ou moins rentables et à leur délocalisation, telles qu'elles se produisent aujourd'hui ?

Abraham-Frois⁸ complète la pensée de Williamson en matière d'internalisation des transactions, en particulier sur deux paramètres : « le premier tient à la fréquence des transactions sur un bien, le second à la spécificité de l'investissement réalisé pour produire ce bien ». Il ajoute : « si les transactions sont fréquentes sur le bien considéré, il va se développer une tendance à une relation hors-marché et à une intégration verticale... » L'industrie de l'aluminium a fonctionné d'emblée sur ces bases, pour sa fourniture d'électricité et pour ses ventes de métal. Mais d'autres considérations

¹ Citation extraite du livre de Médan et Warin, *op. cit.*

² Médan et Warin, *op. cit.* p. 217.

³ Médan et Warin, *op. cit.* p. 217.

⁴ Déjà cité à propos de *satisficing behavior* dans partie B § a-II iii

⁵ Oliver E. Williamson : *contribution majeure à l'analyse économique des organisations*, Chabaud Didier, Parthenay Claude, Perez Yannick, 2008.

⁶ « Une transaction apparaît quand un bien ou service est transféré à travers une interface technologiquement séparable » citation de Williamson (1996) extraite de l'article cité ci-dessus. *“What determines which activities a firm chooses to do for itself and which it procures from others?... (Coase) insisted, correctly, that firm and market were alternative modes for organizing the same very transactions. In mundane terms, the issue is that of make-or-buy.”* Oliver E. Williamson

⁷ Idem.

⁸ *Économie politique*, Gilbert Abraham-Frois, ECONOMICA, 6^e édition, 1996.

ont ensuite pris le pas sur une solution qui semble avoir été, en son temps, efficace et proche de l'optimum économique.

Dans une économie plus classique, les différentes configurations possibles pour les entreprises et leurs marchés sont répertoriées et strictement définies. Les résultats de l'optimisation prix-quantités dans chaque cas se trouvent dans tous les ouvrages spécialisés. Au plan pratique, d'un côté Galbraith considérait que les managers ne peuvent pas se contenter d'optimiser le profit en reliant strictement les prix aux quantités produites comme le propose la théorie. Ils sont soumis à des contraintes avec lesquelles ils composent. Avant tout, ils choisissent et développent la stratégie de l'entreprise. Ils procèdent à leurs propres arbitrages, supposés désintéressés, c'est-à-dire entièrement au service du capital¹. De l'autre côté, Caves estimait que l'hypothèse de maximisation du profit constitue une première approximation valable, de fait la seule qui puisse être rationalisée simplement. Pour améliorer la rationalité de l'approche, il faudrait établir des relations mathématiques entre les principales variables et déterminer les valeurs des paramètres, ce qui n'est pas sans risque d'erreur et surtout n'est pas généralisable. Un exemple donne une idée de la difficulté de la tâche dans le domaine de l'électricité, c'est celui de la facturation au prix marginal pour accroître le bien-être social, suivant l'intuition de Marcel Boiteux. Il a élaboré ensuite la formulation de la solution mathématique et son application dans différentes configurations au sein d'EDF, les choses sont d'une grande complexité. C'est pour cela qu'il porte un regard critique² sur la situation européenne actuelle du secteur.

La question du bien-être social qui préoccupe Galbraith autant que Caves, justifie l'existence d'une législation anti-trust et son évolution dans le temps. Son efficacité s'avère difficile à évaluer car, de même que pour le capital et le travail, le nombre d'unités de mesure est particulièrement limité et se réduit le plus souvent à l'unité monétaire. Quant à la délocalisation des activités, elle sort complètement de son champ de compétences.

iv. La production et l'offre

Dans son analyse de l'offre, Marshall donne l'exemple, bien peu probant aujourd'hui, d'un échange de biens alimentaires dans une situation de rareté. Il met aussi en garde contre les risques d'un excès de simplification³ : « Dans le monde réel, une théorie simple de la valeur est pire que pas de théorie du tout⁴ » et il attire l'attention sur un point encore plus sensible pour une démarche empirique : « L'économiste doit bien faire la différence entre l'affirmation claire d'une théorie et le brouillage de la réalité, il ne doit pas oublier que sa connaissance des phénomènes économiques reste très partielle⁵ ». Cela permet de rappeler la nécessité de construire une « histoire », déduite des sources identifiées⁶, et aussi de souligner combien les préoccupations quotidiennes des hommes, les causes et les procédures de leurs échanges ont muté depuis un siècle. Les deux produits soumis à l'étude sont aussi intimement séculiers que l'étaient ceux des exemples de Ricardo et de Smith. En

¹ Cet objectif passe par un partage du profit tel que présenté § I. Il tend, en théorie économique, à l'optimisation du bien-être et n'implique aucunement une politique « d'exploitation de l'homme ».

² Voir l'article de M. Boiteux :

<http://www.easybourse.com/bourse/services/interview/1921/marcel-boiteux-edf.html>

³ « *On devrait tout rendre aussi simple que possible, mais pas plus* » a dit Albert Einstein. Source: Le Rasoir d'Occam ou le principe de parcimonie des hypothèses.

⁴ « *In the real world a simple doctrine of value is worse than none* ». In Reisman, *op. cit.*

⁵ « *The economist should not confuse the self-confidence of theory with the muddiness of practice, not forget how little we know or can know about economic phenomena* ». In Reisman, *dit.*

⁶ Cette nécessité explique la longueur de l'analyse des ouvrages de Galbraith et Caves, et l'exemple d'Alcoa.

revanche, il est dommage que Marshall n'ait pas analysé en profondeur, au cours de sa longue activité, un exemple plus proche des besoins de ses jeunes contemporains¹.

« Pour accroître la production, il faut un surcroît d'incitation² » écrivait Marshall. Au cours du XX^e siècle cette formulation est restée d'actualité, mais la nature de l'incitation (ou de la prime) à produire davantage est certainement différente de celle du XIX^e siècle, surtout quand l'objet est produit en masse et nécessite d'énormes capitaux. Sur ces deux plans, électricité et aluminium se valent, leur croissance s'est faite de conserve, sur des bases quantitatives d'ensemble bien éloignées de la « marge³ » ! À l'inverse de la demande, il semble équivalent qu'un prix plus élevé incite à produire davantage ceux qui produisaient déjà, ou qu'il pousse des entrants qui se trouvaient, eux aussi « *on the margin of doubt* », à produire. Il n'est pas utile d'évoquer l'emploi dont ces deux industries font un usage relativement faible, le sujet a été abordé plus haut. En revanche, le capital joue un rôle clé. Les sommes nécessaires à l'investissement productif ont été mobilisées après justification du besoin de financement estimé et de sa rentabilité espérée, tous deux fruits de la confiance. La productivité du capital était variable, de même que les profits. Elle a pu s'avérer décroissante, voire négative, lorsqu'une surproduction provoquait une baisse des prix. Deux aspects sont à considérer en matière de croissance de la production. D'une part, l'augmentation de la demande devait être durable en raison du long temps de retour sur investissement et, d'autre part, la nature et la technicité du procédé faisaient que les unités nouvelles produisaient des tonnages de plus en plus importants. L'offre croissait par sauts significatifs, en attendant le rattrapage de la demande.

Par ailleurs, l'exemple de Marshall de la cueillette des mûres par un adolescent lui permet d'introduire des considérations individuelles subjectives, d'effort et de sacrifice, dont l'industrie — collective — fait peu de cas parce qu'elle les juge compensées par le salaire. Marshall parle alors de « *real cost of production* » qu'il raccourcit en « *expenses of production* », ce qui tend à reporter ailleurs, sans dire exactement où, les dimensions humaines et sociales de l'effort (« *exertion* ») de production.

La courbe d'offre en fonction du prix, semblable en cela à la courbe de demande, se déplace ou change de pente, écrit Reisman, en réponse à des changements de technologie, de mode de transport, de source d'approvisionnement, de taxation ou de subvention, ou de toute autre perturbation apportée au programme de production. Ces causes de variation — ou *stimuli* — sont sans incidence dans le cas de l'analyse statique. En revanche, toute action d'ajustement enclenche une dynamique pour laquelle l'hypothèse marshallienne de *ceteris paribus* n'est plus satisfaite. Marshall l'exprime ainsi : « la tendance du prix du marché à aller vers le coût de production (incluant le profit normal) pour une firme représentative, est fortement voilée, sinon totalement obscurcie par l'effet quasi incessant de perturbations variées ». L'analyse classique de la courbe d'offre passe par la notion d'élasticité au prix. La production d'aluminium est peu élastique, à court comme à moyen terme, pour des causes qui ont été exposées. Elles tiennent, d'un côté, à la part importante du coût

¹ Cette remarque prend tout son sens à la lecture de Paul Davenport (déjà cité) : la loi des rendements décroissants s'explique en considérant la terre, l'homme et des semences comme le fait Ricardo. La situation s'avère beaucoup plus complexe dans le cas d'un capital hétérogène comme l'est, par exemple, celui d'un établissement de production, surtout si on évoque le changement lié au progrès technique.

² « *Extra incentive is needed if extra output is to be generated* », in Reisman. L'actualité de cette formule, dans les pays européens en crise, est frappante.

³ Pour de nombreuses raisons, les producteurs européens d'aluminium ont utilisé ce mode « minimaliste » de croissance qui s'est révélé une voie sans issue. La seule unité française entièrement neuve a été démarrée à Dunkerque en novembre 1991. Le doublement de sa capacité, prévu à l'origine, n'a jamais été réalisé.

du capital — amortissement et frais financiers — et, de l'autre, au temps nécessaire pour préparer et réaliser la construction d'une usine. Pierre-Noël Giraud¹ donne l'exemple d'une usine d'aluminium construite en 1986 qui, disposant d'un très bon contrat d'électricité, produisait à un coût total de 1350\$/t pour un coût d'opération de l'ordre de 850\$/t. Pour cette usine neuve, performante, il était exclu de ne pas produire à pleine capacité — environ 300 000 tonnes/an. Si une modulation de la production s'avérait nécessaire, à la baisse comme à la hausse du prix, la solution se trouvait ou bien concentrée dans une usine spécifique, dite « swing capacity² », démarrée ou arrêtée à la demande, ou bien dispersée sur plusieurs usines dont le taux de marche variait en plus ou en moins par l'arrêt ou le démarrage de cuves. Aux États-Unis, l'arrêt pouvait être partiel ou total et durer plusieurs années, en raison de pratiques commerciales et de relations de travail particulières.

Reisman rapporte la longue analyse critique de la notion de coût réel³ sur laquelle Marshall se fonde pour définir sa courbe d'offre. Son intérêt se trouve plutôt dans l'explicitation de la difficulté à établir un coût réel significatif⁴. La part de coût d'opportunité⁵ réduit beaucoup son intérêt pratique. Le coût monétaire n'est pas davantage une bonne approximation, ce qui inciterait à ne pas attribuer une importance imméritée aux prix et à voir la confirmation de cette opinion dans leur variabilité, souvent si peu explicable. Une position aussi claire et tranchée se trouve dans certains écrits de Kaldor, tant sur les prix que sur la notion d'équilibre. Quant aux orientations de l'École autrichienne, elles ajoutent encore à la controverse et Schumpeter estime du coût réel : « que, absent, il ne manquerait à personne⁶ ».

Enfin, la position de Marshall sur la possession de la terre dont, comme les classiques, il annule la rente à la marge ce qui fait d'elle un bien libre (« *free* ») exclu du coût réel par définition, mérite une mention en raison de l'analogie déjà faite entre l'utilité de la terre⁷ et celle de l'eau. Il semblerait que la conception de Marshall, contingente de son époque, soit dépassée. Elle était sans doute encore fondée au début du XX^e siècle, quand les propriétaires terriens vendaient à leurs métayers des terres qui ne leur rapportaient presque rien. Mais, depuis, l'évolution de certains facteurs exogènes⁸ et la prise en compte de contraintes de protection de l'environnement la rendent obsolète. Cela ne signifie pas que la rente est abolie, mais qu'elle doit être exclue du coût réel et donc considérée à part, ce qui complique les choses. Reisman développe le raisonnement autour de l'offre inélastique, dépourvue de coût marginal et de prix d'offre, pour faire une analogie éclairante avec le « *sunk*

¹ *Économie Industrielle des Commodités*, Pierre-Noël Giraud, cours Paris Dauphine, janvier 2004.

² Spécificité américaine, la notion correspond à une « capacité poumon » qui pouvait démarrer ou s'arrêter, à la demande. La flexibilité du taux de marche pouvait être réalisée par différents moyens, pour les producteurs possédant plusieurs usines. Elle correspondait aussi à une barrière à l'entrée censée décourager les éventuels entrants. Le manque de flexibilité du procédé explique sans doute la grande importance accordée à l'offre par les producteurs traditionnels.

³ « Le coût réel est un véritable sacrifice subjectif qui existe et est ressenti tel, même quand aucune alternative n'est proposée ». Traduit de D. Reisman, *op. cit.*

⁴ Dans *The Interwar Response of the Southern Pacific Company and the Atchison, Topeka & Santa Fe Railway to Passenger Road Competition*, Business And Economic History, Volume twenty-five, No. 1, Fall 1996, Gregory L. Thompson soutient ce point de vue en attribuant à une erreur de valorisation des coûts réels l'échec des transports de passagers par rail en Californie.

⁵ « Le véritable coût d'un bien est son coût d'opportunité : ce à quoi vous renoncez [parfois sans le savoir] pour l'obtenir », selon Paul Krugman et Robin Wells, *Macroéconomie*, page 41. Source : <http://www.mazeroles.fr/Economie-internationale/Glossaire-economie-internationale/Cout-d-opportunite.pdf>

⁶ *History of Economic Analysis*, cité par Reisman, p. 48.

⁷ À la fin du XX^e siècle, la terre a rappelé aux hommes son utilité première, au moins dans les vieilles usines françaises des Alpes et des Pyrénées qui, coincées entre la route, la rivière et la montagne, se sont trouvées privées de toute possibilité d'extension ou de modernisation.

⁸ Notamment l'accroissement de la population au XX^e siècle et les prévisions pour le XXI^e siècle.

capital ». Font partie de ces coûts irrécupérables, les dépenses relatives aux préparatifs d'un projet jusqu'à son lancement effectif. Faute de lancement, ces dépenses sont définitivement passées en coûts d'opération et supportées par toutes les autres activités. Par extension peut se poser la double question du capital immobilisé et de la rigidité de l'offre correspondant au fait qu'une unité de production doit fonctionner à partir du moment où les coûts variables sont couverts. L'ajustement des quantités produites est, en raison de la nature du procédé, long à décider à la baisse et plus long encore à mettre en œuvre à la hausse.

Le passage de l'environnement de la production aux acteurs du domaine réel, renforce le caractère concret de l'analyse. Il apparaît nécessaire à la construction de scénarios — donc de modèles — sous la plume de Jacques Lesourne¹ dans l'étude effectuée en 1986 pour Pechiney, de l'aluminium à l'horizon 2000, d'autant plus que le temps de l'oligopole intégré était déjà dépassé. « Les catégories d'acteurs... sont les suivantes : (1) Les majors traditionnels qui faisaient partie tout au long des années 60 de l'oligopole de l'aluminium (Alcoa, Alcan, Pechiney, Reynolds, Kaiser, Alusuisse) ; (2) Les autres producteurs privés, Alumax (US), Comalco (AUS) et les Norvégiens ; (3) Les firmes d'État du Tiers-Monde ; (4) Les transformateurs indépendants ; (5) Les producteurs non intégrés d'alumine ; (6) Les grandes entreprises consommatrices d'aluminium qui par leurs innovations peuvent engendrer des modifications profondes dans les choix de matériaux ; (7) Les producteurs d'autres matériaux (entreprises sidérurgiques ou chimiques) ; (8) Les États aussi bien dans le monde industriel que dans le Tiers-Monde ». Seules les trois premières catégories sont des producteurs, les autres sont des clients, des fournisseurs ou des concurrents par substitution qui influent — parfois de manière déterminante à long terme — sur les conditions de production et sur la consommation.

De 1970 à 1985, « sur fond de crise économique d'ensemble, l'industrie de l'aluminium a connu des difficultés propres. Non seulement la demande fléchissait, mais les coûts d'électrolyse enflaient. Cet effet de ciseaux a contraint à la fermeture un grand nombre d'usines surtout au Japon (la capacité d'électrolyse passa d'un maximum de 1,7 Mt/an en 1977 à 200 000 t/an en 1986) et dans le sud-est des USA (fermeture de 1,1 Mt), tandis qu'il accélérât le développement de nouveaux projets à partir des ressources énergétiques du Tiers Monde — au Brésil, en Argentine, au Venezuela, en Indonésie et en Égypte (hydroélectricité), à Bahreïn et à Dubaï (gaz) — ainsi que dans les pays producteurs les plus favorisés : Australie (+ 800 kt/an) Canada (+ 480 kt/an) et Norvège (+ 230 kt/an). Ces développements étaient beaucoup moins le fait des anciens majors qui depuis 1970 n'ont développé que 30 % des nouvelles capacités, que celui de nouvelles compagnies à capitaux privés (Comalco, Alumax, Norsk Hydro sont les principales) qui ont compté pour 35 % et de compagnies d'État qui l'ont fait à hauteur de 35 % également. » Faute d'investissements suffisants, les majors ont perdu leur rang et leur titre. Nappi² mesure la part des majors dans la production mondiale qui passe de 77 % en 1969, à 51,8 % en 1980 et 44,2 % en 1988. Tous voient leur part baisser de manière continue, sauf Alcan dont la part remonte un peu après 1980. En termes de modèle d'économie industrielle, la situation serait bien décrite par l'oligopole de Stackelberg avec frange compétitive³ dans lequel la frange se développe — en une vingtaine d'années — grâce à des coûts homogènes, inférieurs à ceux de la partie la moins efficace des vieilles usines de l'oligopole.

¹ *L'industrie de l'aluminium à la fin du siècle : réflexions prospectives*, Lesourne Jacques et alii, septembre 1986, site : <http://lara.inist.fr/handle/2332/1533>

² *Op. cit.* Le contrôle est mesuré à l'aide de règles relatives à la part de capital détenue par un major dans une société productrice.

³ Cf. Pierre-Noël Giraud, *op. cit.*

v. La consommation et la demande

« La théorie de la demande est encore dans l'enfance » se lamentait Marshall. Il a commencé par établir le lien avec Adam Smith qui donnait deux sens différents au mot « valeur ». D'un côté, il s'agit de la valeur d'usage, quantité d'utilité ou de satisfaction retirée de la consommation d'un produit, et de l'autre, de la valeur d'échange d'un bien contre un autre. Marshall récuse le premier sens qui, dit-il, n'est « *pas bon* ». Il considère la valeur comme relative, exprimant la relation d'échange ou le choix entre deux biens, en un lieu et à un instant donnés. Le passage par la monnaie ne modifie en rien cet aspect fondamental de la situation. Autrement dit, précise Reisman, « l'utilité n'est pas directement observable ; mais l'ombre de l'invisible peut cependant être vue dans la mesure monétaire du sacrifice. L'utilité *per se* semblerait alors être une cinquième roue non opérationnelle ».

C'est pourquoi l'utilité sera considérée comme le supplément de coût que le consommateur accepte de payer par rapport au substitut qu'il prend comme référence (ou alternative plausible) au moment de la transaction, du moins lorsque le bien en question fait son chemin sur le marché. Plus tard, lorsque l'usage du produit est banalisé et ses avantages bien connus, ce surcoût devient implicite, la référence sensible n'est plus un substitut mais le prix de ce même bien lors d'une précédente transaction. On tend alors *in fine* vers le procédé de fixation du prix de marché dans une Bourse de valeurs, par plus ou moins. Cela constitue une dérive du raisonnement par rapport à la rigueur marshallienne de « relativité ». S'il en était besoin, une autre démonstration serait fournie par les importantes variations relatives, d'apparition plutôt récente, des prix du cuivre et de l'aluminium¹ qui montrent que la substitution — donc le prix relatif — n'est pas un facteur explicatif suffisant. Peut-être l'explication de la demande se trouve-t-elle aujourd'hui dans les besoins d'équipement des pays en développement. Mais alors, à quoi aura servi l'exemple du passé, surtout si l'on considère le différentiel de prix avec l'aluminium ?

Ce surcoût, quelle que soit la motivation qui l'inspire, obéit d'après Marshall à la loi des rendements décroissants². Cependant, cette « loi », inspirée à l'époque par une notion générale de satiété momentanée en l'absence de moyen de conservation de biens périssables, si elle demeure valable au fond en termes d'accumulation individuelle pour tous les biens³, ne change rien, sauf vision stratégique de long terme ou comportement hors norme, aux transactions relatives aux deux biens étudiés. En effet, au XX^e siècle, pour des biens fondamentaux produits en énormes quantités dans l'ensemble des pays industrialisés, la partie de la courbe qui représente l'utilité totale des consommateurs en fonction des quantités est sa partie linéaire. La notion de « désir » qui diminue avec la quantité déjà possédée ne s'applique pas⁴, elle est remplacée par des « besoins pour consommation et pour transformation » pour lesquels les rendements ne décroissent pas. Ils sont au cœur de l'activité. C'est à ce niveau que la situation a changé pour l'aluminium dans les années 1980

¹ Voir la partie consacrée aux prix réels et à leur évolution dans le temps.

² « Le profit additionnel qu'une personne retire d'un accroissement donné de son stock d'un produit diminue avec tout accroissement du stock qu'il possède déjà. » Traduction libre de *Principles of Economics*, 8th édition, 1920.

³ Sauf peut-être pour la monnaie au XXI^e siècle...

⁴ Pour l'électricité, la raison semble évidente : il n'existe pas de stock donc le consommateur appelle la quantité dont il a exactement l'usage à tout instant. Pour l'aluminium, il convient de raisonner autrement puisque l'aluminium se stocke. Mais ce stock doit être financé, il coûte à son propriétaire. La preuve en fut donnée par la vogue du « juste à temps » des années 1980. L'acheteur limite volontairement sa demande pour des raisons de gestion, pas pour des raisons de satiété et de valeur. Par ailleurs, il semble exister un lien entre la crise de 2008 et le renvoi à l'infini, par certains agents, de la décroissance des rendements : il n'existe pas d'équilibre à l'échange ! Il n'est alors plus possible de traiter de la même manière tous les produits et tous les consommateurs, il est nécessaire de faire des catégories, pour les uns et pour les autres.

pour les économies les plus développées — comme le Japon — et le sujet a déjà été évoqué plus haut.

Or, c'est de cette utilité marginale décroissante que Marshall semble déduire la pente (négative) de la courbe de demande¹, grâce à une hypothèse supplémentaire de rationalité du consommateur qui le fait choisir de payer moins quelque chose qu'il désire moins. Il décrit ainsi le comportement du consommateur qui prépare ou effectue une transaction, qui arbitre entre le prix et la quantité en fonction d'un budget. Mais le texte que cite Reisman (Cf. note ci-dessous) incite plutôt à penser que la courbe de demande s'applique davantage à un marché qui rassemble d'autant plus de consommateurs désireux d'acheter que le prix est bas. C'est l'origine même de la notion de surplus du consommateur : tous les consommateurs bénéficient du même prix, délibérément fixé à un niveau assez bas pour vendre toute la quantité disponible. La baisse du prix d'un bien n'incite pas un consommateur donné à acheter plus (sauf éventuellement un surplus marginal de précaution), mais elle augmente la quantité vendue du bien parce que davantage de consommateurs vont se trouver en mesure de l'acheter. La gestion sur le long terme de la baisse du prix d'un bien — électricité ou aluminium, par exemple — qui aboutit à la multiplication de ses usages, relève d'un mécanisme complexe d'interactions successives entre de nombreux facteurs parmi lesquels le progrès technique et la pression sociale qui s'exerce sur les consommateurs hésitant à franchir le pas. Les ajustements nécessaires entre les consommateurs, les entreprises — productrices et consommatrices — et l'action politique s'effectuent plus efficacement par le marché² que par la planification en raison d'un grand nombre de situations particulières. La comparaison entre les USA et la France, de la consommation et des emplois de l'aluminium depuis la Seconde Guerre mondiale, demanderait une analyse fine, a priori complexe³, en raison des bouleversements connus entre temps.

Il est aussi possible que les deux explications proposées par Marshall pour justifier l'existence d'une représentation continue des interactions entre producteurs et consommateurs, n'en fassent en réalité qu'une seule. Marshall considère, sans préciser s'il s'agit d'une approximation ou d'une loi fondamentale, que « la satisfaction obtenue correspond en général plutôt bien (*'fairly well'*) à celle anticipée lors de l'achat ». Une preuve de cette situation satisfaisante peut être trouvée dans le bon fonctionnement et la pérennité des marchés, sans aller toutefois jusqu'à accepter la théorie de leur efficience dans le domaine financier. Une telle affirmation optimiste connaît aussi des limites comme le montrent les crises récurrentes observées sur les marchés, par exemple la crise de l'étain⁴ de l'automne 1985 qui a eu de graves conséquences sur la Bourse des métaux de Londres et d'autres plus récentes encore (Voir B § c III).

¹ « Plus la quantité à vendre est grande, plus le prix de l'offre doit être petit pour que le produit trouve preneur; ou, autrement dit, la demande augmente quand le prix baisse et elle diminue quand le prix augmente ». Traduction libre de *Principles of Economics*, 8th édition, (1920).

² Il met en jeu ce que Marcel Boiteux appelle la « desquamation », processus d'usure superficielle qui se traduit par la fermeture d'entreprises qui ont fait de mauvaises affaires et la naissance d'autres entreprises qui démarrent sur des bases mieux adaptées à la réalité du moment. Il est possible que la pratique américaine « d'essai et erreur », et le rôle réduit du gouvernement fédéral contribuent à donner un supplément appréciable de souplesse à leur tissu économique.

³ Voir quelques éléments d'information ci-dessous et davantage dans la partie consacrée au marché. Une excellente monographie a été écrite par Carmine Nappi, *op. cit.* Voir aussi une conférence prononcée à l'occasion du 40^e anniversaire de The International Aluminium Institute (IAI), intitulée *The Global Aluminum Industry 40 years from 1972. op. cit.*

⁴ *Crise du conseil international de l'étain et insolvabilité d'une organisation intergouvernementale*, Pierre Michel Eisemann, In: *Annuaire français de droit international*, volume 31, 1985. pp. 730-746.

En revenant à l'aluminium, d'abord des chiffres globaux¹ illustrent les variations de sa consommation depuis cinquante ans. Dans le monde occidental, la moyenne annuelle de la consommation a évolué ainsi : « Années 1950-1960 : + 9,2 % ; Années 1960-1970 : + 9,3 % ; Années 1970-1980 : + 4,2 % ; Années 1980-1985 : + 1,1 %. Cela caractérise une matière première arrivée à maturité. Le ralentissement de la croissance peut être le signe d'une stagnation (ou même d'une décroissance) à venir² ». Les variations annuelles ont été tout sauf régulières, ce qui exclut l'extrapolation et interroge sur les causes. De surcroît, la consommation n'était pas homogène : la consommation par habitant variait d'une zone géographique à l'autre et sa répartition différait suivant le pays considéré. Le tableau ci-dessous, pour le Japon, l'Europe et les États-Unis³ en 1984, montre la force de l'aluminium dans les transports et la construction ; il illustre aussi l'aspect national des préférences.

Consommation en 1984		Répartition en %				
	kg/hab	Transport	Emballage	Construction	Électrique	Autre
Japon	20,3	28	8	28	9	29
Europe	13,2	26	13	20	11	30
États-Unis	27,5	21	28	20	10	21

Source : Lesourne.

Considérant que le Japon réexporte, sous forme d'automobiles, de l'aluminium employé dans le secteur des transports, c'est la construction qui y constitue le premier poste de consommation. En Europe, c'est le transport et aux États-Unis l'emballage. Chaque région du monde a donc ses spécificités : un fort usage électrique correspond à l'équipement de distribution du courant dans les pays en développement et le poste « autre » indique l'importance relative de la multiplicité des usages.

« L'analyse structurelle » de Lesourne porte en particulier sur les variables de demande qu'il classe⁴ en « variables assez dépendantes⁵ : les marchés de grande consommation (emballage, bâtiment, transports terrestres) et variables quasi indépendantes du système considéré : les marchés professionnels (aéronautique, énergie, électronique). Ce qui signifierait qu'une partie de la demande d'aluminium échappe à l'influence des producteurs ». Apparaît ainsi un nouvel aspect concret de la diminution du pouvoir de marché des producteurs, le fait que les clients finaux peuvent choisir le matériau qu'ils désirent pour une situation donnée. Ils disposent effectivement d'outils de calcul et de simulation qui leur permettent, à tout moment et pour une gamme de prix désormais connue sur plusieurs mois, de connaître les prix et d'identifier la meilleure solution. Les producteurs ne peuvent alors que subir, tant la concurrence des autres producteurs que celle des produits substituables ! Pour atténuer les effets de la situation, l'auteur va jusqu'à suggérer « l'alliance objective entre les grands producteurs... au profit d'un effort collectif d'extension, par l'innovation technique et commerciale, du marché mondial de l'aluminium ». Apparemment, il n'a pas été écouté, du moins en

¹ Le sous-chapitre vii présente également des données chiffrées et la partie consacrée à l'économétrie aussi.

² Source : Lesourne et alii, septembre 1986. *op. cit.*

³ Source : Lesourne, déjà cité.

⁴ Sous la signature de P-N. Giraud, déjà cité.

⁵ Les variables sont dites motrices si elles font évoluer le système productif et dépendantes si elles sont sensibles à sa modification.

matière d'innovation, ce qui semblait pourtant acceptable au regard de la loi américaine sur la concurrence et la recherche.

vi. Les prix, leur base

« Un économiste sans mécanisme des prix est comme un prêtre sans Dieu... Nous avons passé nos vies à apprendre et à enseigner comment les prix augmentent afin d'encourager la production de ce qui est nécessaire, comment ils diminuent afin de décourager la production de ce qui est inutile... Le projet de Baruch¹ nous semblait inadmissible », écrit Galbraith² dans son Autobiographie. Il s'est ainsi opposé de front à la proposition « de plafonner la structure des prix dans son ensemble » émise peu avant qu'il soit nommé contrôleur des prix au nom du Gouvernement des États-Unis pendant la Seconde Guerre. Sur le sujet des prix, alors que l'inflation se faisait déjà sentir, vingt ans après la Grande Guerre, mais surtout dix ans après la Grande Dépression, les économistes n'étaient toujours pas d'accord entre eux.

Pour parler des prix, le chemin passe par deux points qui, dès le début de l'étude ont été l'objet de fortes préoccupations, à savoir les périodes de guerre et l'administration réglementaire des prix. Les périodes de guerre parce que leur effet multiplicateur des tonnes a orienté l'avenir du métal — dans le transport, aérien notamment — tout en faisant l'objet de peu d'études, et l'administration des prix par l'État parce que les grandes entreprises ont toujours préféré en effectuer elles-mêmes le contrôle³, au travers du prix producteur. Mais, comme le souligne l'article de Stéphanie Laguërodie et Francisco Vergara, l'administration des prix que Galbraith a organisée n'avait rien à voir, ni avec un contrôle tatillon, ni avec un blocage généralisé. La conclusion prophétique de la réflexion, c'est que l'éventualité du contrôle des prix est récurrente et que la question se « posera de nouveau, dans des circonstances nouvelles ».

Caves évoque le rôle de l'État dans le domaine des prix à la toute fin de son livre⁴. À la recherche d'un moyen pour corriger les inefficacités, identifiées, des forces de marché qui se manifestent par des dépenses ou des gênes excessives du consommateur, il liste les solutions possibles et évalue les effets négatifs de la régulation du « Business », expérimentée au cours des dernières décennies. Parmi les problèmes liés à la fixation des « justes⁵ » prix par une autorité de tutelle régulant sur la base du taux de retour du capital, il identifie l'effet pernicieux d'un capital engagé à un niveau supérieur aux besoins réels qui serait rémunéré au même taux que le capital strictement nécessaire⁶. Pour des industries aussi techniques et capitalistiques que celles étudiées, l'hypothèse théorique semble à la fois plausible et dissuasive. Après avoir présenté la législation antitrust dont l'application la plus significative, à l'époque du livre, concernait Alcoa, il traite notamment de deux domaines, l'électricité et la régulation dite « sociale » des années 1960. L'électricité a fait l'objet de considérations détaillées et l'avis de Marcel Boiteux sur les récentes orientations européennes

¹ Bernard Baruch avait présidé le *War Industries Board* pendant la Première Guerre mondiale. Source : *La théorie du contrôle des prix* (Pigou, Keynes, Kalecki, Galbraith, Samuelson, etc.), par Stéphanie Laguërodie et Francisco Vergara, dans *Review of Political Economy* (octobre 2008), numéro commémorant le centième anniversaire de la naissance de John Kenneth Galbraith.

² Son expérience du pouvoir pendant la guerre est reprise dans *Une théorie du contrôle des prix*, 1952. Dito.

³ « Là où un petit nombre de grandes entreprises dominant un branche, comme dans l'acier, l'aluminium, le pétrole, la chimie, l'industrie pharmaceutique ainsi que dans beaucoup d'autres, les prix sont déjà contrôlés... ces marchés se prêtent beaucoup plus à la réglementation des prix que ce qu'on avait précédemment pensé » dans J. K. Galbraith *A Theory of Price Control* (Harvard University Press, 1952), cité dans le même article.

⁴ Voir 2^e partie § 1. II. iv.

⁵ 'Fair' dans le texte original.

⁶ Effet dit "Averch-Johnson", à l'origine d'inefficacités de la régulation ; Caves, p 111

rappelé Cf. B § b III. Quant à la régulation sociale, elle a fait son apparition aux États-Unis via nombre d'Agences Fédérales — dont *The Environmental Protection Agency*¹ (EPA) — pour s'opposer aux dé-s-économies externes. Cette même EPA s'est trouvée à l'origine de l'obligation faite, dans les années 1970, aux producteurs d'aluminium, de remédier à la pollution par les effluents fluorés. L'élaboration de la solution a conduit à une importante modification du procédé qui a, dix ans plus tard, ouvert la porte à une forte augmentation de l'intensité du courant d'électrolyse²... La conséquence, peu prévisible, va dans le sens général des actions de lutte contre la pollution : elle est intensive en capital et valorise les économies d'échelle ! Pour la régulation des prix, pratique ancienne, Caves estime que les Agences, obligées d'être procédurières pour instruire leurs décisions, se sont souvent trouvées dans l'impossibilité de « décider parce qu'elles ne disposaient pas de moyens suffisants pour traiter les données, voire parce que les données elles-mêmes n'existaient pas sous une forme adaptée³ ». Il développe l'exemple des producteurs d'électricité américains — soumis à « Régulation » — qui, grâce au rapide progrès technique des années 1960, ont profité d'importants gains de productivité et de profits croissants. Au retour de l'inflation, à la fin de la décennie, ils se sont précipités pour demander des augmentations de leurs tarifs qu'ils n'obtenaient pas ou qui tardaient beaucoup parce que l'Agence devait aussi jouer une carte politique en ménageant le soutien des consommateurs, et ils ont perdu de l'argent.

L'importance du sujet incite à continuer l'analyse en termes de performance du marché, par une traduction résumée⁴. Les producteurs d'électricité « ont été très près de réunir les critères structurels du monopole naturel et on pouvait s'attendre à ce que leur performance soit améliorée par la réglementation, plus que toute autre... Des comparaisons ont été faites entre des États qui régulaient et ceux qui ne régulaient pas au même moment²... Certaines études — pas toutes — montrent que la régulation conduisait à des prix et des profits plus bas, avant la fin des années 1960. Depuis, les chiffres font penser que la régulation a poussé les prix au-dessous des coûts, en raison de l'inflation et des retards administratifs dans les procédures. Les producteurs gagnaient environ 4 % quand le coût réel des fonds propres (*equity capital*) était proche de 7 % ; ils étaient contraints de retarder des investissements destinés à réduire les coûts et à satisfaire la demande future d'électricité. Dans les années 1980, les producteurs ont cherché à sortir de cette situation. Ils ont acheté du courant à des producteurs indépendants et ont obtenu de leur Régulateur la possibilité de tromper leurs gros consommateurs afin de faire des investissements qui économisaient l'énergie. À l'évidence, les affectations résultantes n'étaient pas efficaces ».

La question se pose alors de déréguler, mais comment ? Localement, la distribution est un incontournable monopole naturel. Faut-il placer plusieurs producteurs en face des réseaux de distributeurs avec l'espoir que les consommateurs tireront les marrons du feu ? « Le courant est produit pour être immédiatement consommé et il n'est pas certain que les signaux du marché permettront de satisfaire à tout moment la demande à partir de la configuration la plus efficace de fournisseurs⁵ ». Faut-il alors nationaliser ? Caves accorde de « bonnes notes » à EDF⁶ pour la qualité technique de ses solutions et sa méthode de fixation des prix. Mais sa suggestion ne va pas dans le

¹ Et aussi the Department of Transportation (Caves)

² Information due à Maurice Laparra, ancien Directeur Général d'Aluminium Pechiney. Le sujet a été développé dans la partie A. Il trouve ici sa place dans un autre contexte.

³ Caves, *op. cit.* p. 113, traduction libre.

⁴ Caves, *op. cit.* pp. 113-114.

⁵ D'après Joskow et Schmalensee, dans Caves p. 114, *op. cit.*

⁶ Caves, *op. cit.* p. 120.

sens de l'histoire. Il admet finalement que définir la bonne solution relève du cas par cas, et que le faire scientifiquement à partir de la structure du marché appartient au futur.

Pierre-Noël Giraud¹, dans une intéressante synthèse, aborde la question de « la formation des prix des matières premières », et la généralité de son propos doit être progressivement adaptée au cas particulier. En dépit de la mondialisation, il n'existe pas un prix à un instant donné mais des prix², en des lieux bien définis ; des prix producteurs qui sont devenus un jour des prix de marchés libres, des prix spot et des prix de contrat, des prix au comptant et des prix à échéances diverses. Il existe aussi des primes pour une qualité supérieure ou pour une forme et des dimensions précises, sans pour autant que les transactions s'effectuent aux prix officiels... Le tonnage commandé et la fréquence des livraisons influent sur le prix payé. Le troc international se pratique et des conditions de financement particulières peuvent être incitatives. Il existe pourtant un prix de référence que le monde entier observe et, pour l'aluminium, c'est le prix quotidien d'un contrat (de 25 t) à la Bourse des métaux de Londres (LME³), au comptant ou à terme. Le marché à terme sert au producteur, au négociant et à l'utilisateur pour gérer son stock et, en même temps, fluidifie le marché. Il peut exister, entre le prix au comptant et le prix à terme, un déport — *backwardation* — qui traduit une pénurie temporaire, ou un report — *contango* — dans le cas contraire. Le marché à terme sert également à limiter le risque de prix pour les opérateurs sur le métal physique qui « se couvrent en effectuant sur le terme les opérations strictement inverses de celles faites sur le physique ».

Après la formation des prix viennent, toujours sous la plume de Giraud, l'évolution des prix et le tournant des années 1980 — amorce d'une longue période de baisse des métaux — qui aident à comprendre des phénomènes très importants pour l'aluminium. De manière générale, les prix des matières premières sont volatils, ce qui ne facilite la vie de personne, pas même celle des spéculateurs, affirme-t-il. Les fluctuations des prix des minéraux sont moins fortes et moins brutales que celles des produits agricoles, bien que parmi les premiers se trouvent le pétrole et le charbon. Les indices des prix moyens annuels du pétrole (Libye), du charbon (Australie), du minerai de fer (Brésil), du cuivre et de l'aluminium à Londres, sont représentés, de 1960 à 1987 en dollar constant, par rapport à une base 100 égale à la moyenne des prix entre 1965 et 1970 (voir ci-après). La tendance du prix du fer est clairement décroissante, celles du cuivre et de l'aluminium sont plus indécises, ce dernier remontant de 1973 à 1980, avant de chuter en plusieurs fois.

Les prix de l'aluminium et du cuivre, de 1989 à 2014, sont représentés plus loin et sur un même graphique⁴, en dollars courants par tonne et à haute fréquence de mesure. Les étendues des variations des prix vont de 1 000 à 3 000 pour l'aluminium et de 1 500 à 10 000 pour le cuivre, les maxima étant atteints en même temps. Les pics de l'aluminium paraissent plus pointus et les moyennes annuelles ne sont peut-être pas assez représentatives des variations pour établir des corrélations significatives avec les quantités produites⁵. Les deux courbes, malgré leurs échelles décalées, ont l'air « parallèles » jusqu'en 2004 quand le cuivre connaît une période de hausse inouïe et, pour l'instant, inexpliquée. La chute de fin 2008 a été terrible. Le BRGM (Bureau de Recherches

¹ Giraud, *op. cit.*

² Des exemples chiffrés se trouvent dans le sous-paragraphe vii du présent § B.

³ Le LME fait l'objet d'une étude en 2^e partie § 3.

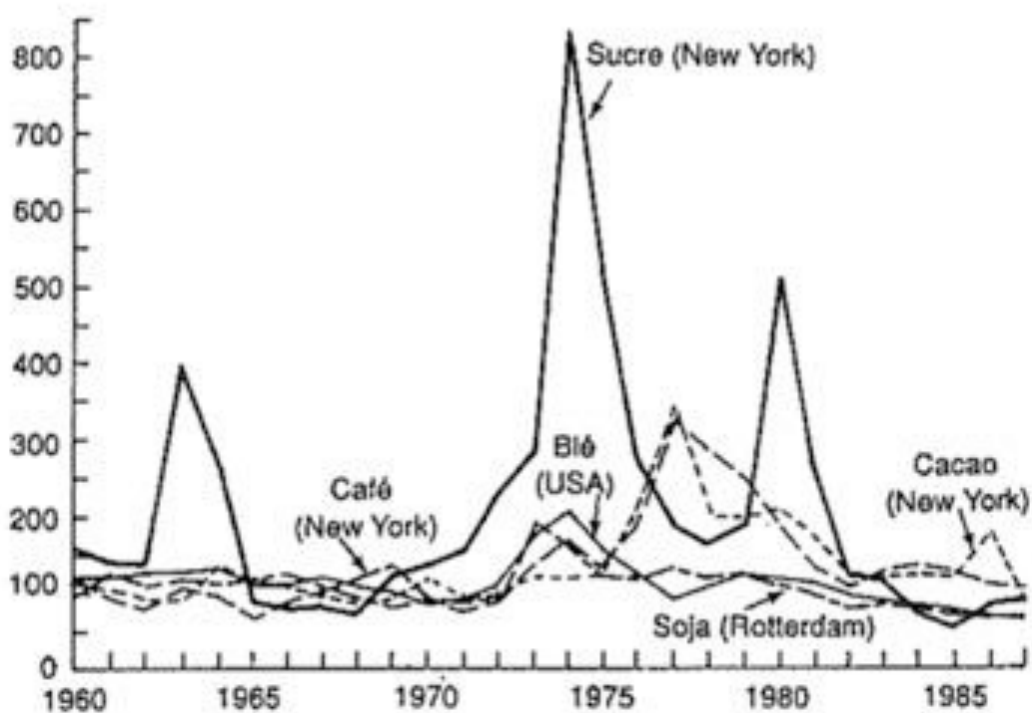
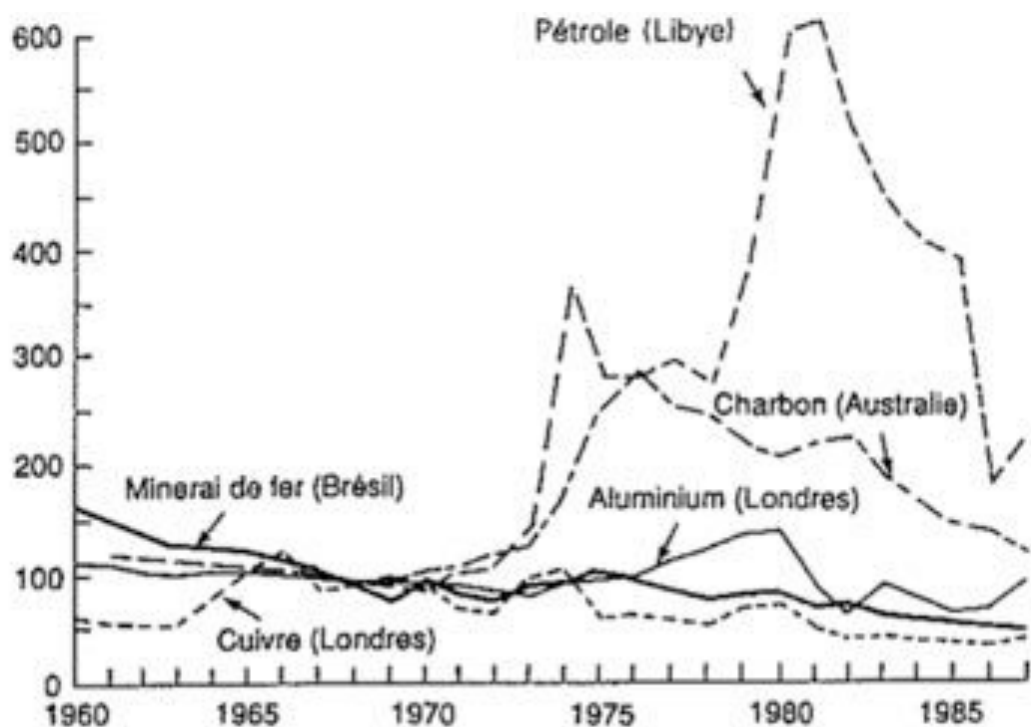
⁴ À la différence de l'aluminium, il existe deux procédés de traitement du cuivre, un par hydrométallurgie, l'autre par extraction chimique. Les deux produits sont considérés comme identiques et fournissent le cuivre primaire (15,4 millions de tonnes en 2009, 17 millions estimés en 2013). Il existe aussi un recyclage qui, à partir de déchets, « neufs » ou « vieux », conduit au cuivre secondaire soit 16 % du cuivre primaire en 2009. Source: The World Copper Fact book 2010 et 2013, The International Copper Study Group.

⁵ Cf. l'étude économétrique.

Géologiques et Minières) qui raisonne sur les coûts d'extraction du cuivre dont les gisements sont notoirement de plus en plus pauvres, estime que la situation de baisse des stocks et de crainte de pénurie pourrait justifier les hausses de prix. En revanche, la bauxite reste abondante et sa rareté n'est pas à l'ordre du jour. La courbe des prix du cuivre met en évidence une forte cassure fin 2003, début 2004. L'époque où le prix de l'aluminium devait être inférieur à la moitié du prix du cuivre pour être compétitif est bien lointaine, actuellement il stagne à 0,25.

Indice des prix moyens annuels en dollar constant

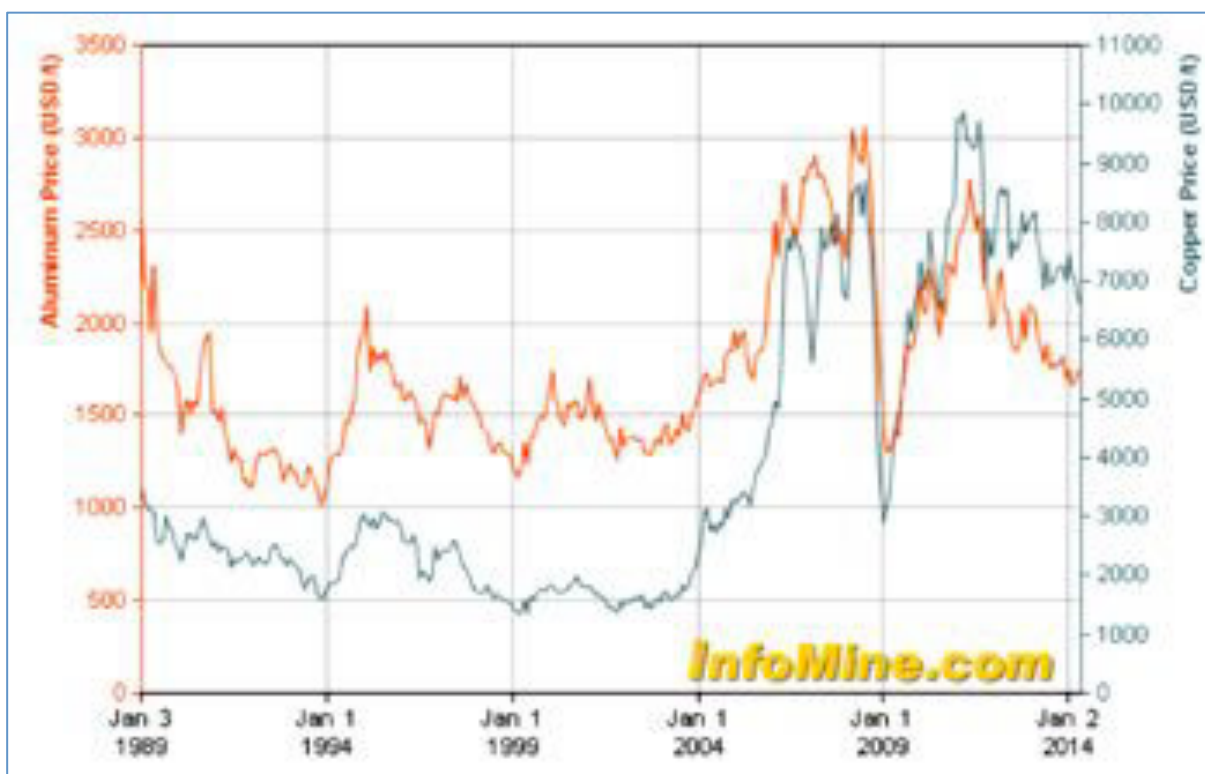
(100 = moyenne 1965-1970)



Source : P. N. Giraud.

Prix de l'aluminium et du cuivre

3 janvier 1989 – 1^{er} mai 2014



Origine : <http://www.infomine.com/investment/metal-prices/aluminum/all/>

Source des données : LME

L'élasticité des prix a été évoquée en même temps que l'offre et la demande, et il est vrai qu'à la baisse, le producteur a tendance à continuer à produire même quand il ne couvre plus ses coûts directs. Cela s'explique par la facilité du stockage de l'aluminium bien sûr, mais surtout par les dépenses supplémentaires d'exploitation qui accompagnent toute réduction temporaire de production. L'exemple du garnissage des hauts-fourneaux et de son coût de réfection est bien connu, et les cuves d'électrolyse connaissent la même situation, à savoir un procédé à haute température (960 °C) qui nécessite une forte protection thermique, sensible qu'il est à la température de l'air ambiant. Un arbitrage est donc à faire entre les coûts de stockage imputables à la durée de l'arrêt et les coûts de réfection à supporter avant le redémarrage des unités de production arrêtées ; cela sans compter les effets sociaux d'une telle situation.

Giraud corrobore les conséquences — évoquées plus haut dans une autre perspective — de la concurrence sur les prix : « ... les fluctuations des prix des matières premières sont un puissant stimulant des gains de productivité. Les périodes de cours très déprimés non seulement finissent par éliminer les producteurs marginaux à coûts élevés, accélérant ainsi le déplacement de la production vers les zones à bas coût, mais encore forcent ces dernières, pour survivre, à des efforts de productivité presque inhumains !... entre 1982 et 1985, l'industrie minière nord-américaine, pourtant extrêmement mécanisée, a réussi à réduire ses coûts de production de 30 à 50 %, seul moyen pour elle de survivre à une crise qui mettait son existence même en danger. Les fluctuations monétaires ont désormais le même effet, contraignant les zones à monnaie forte à de violents efforts de réduction des coûts ». Plus loin, il ajoute : « ... les rentes différentielles... introduisent un élément géopolitique dans l'évolution à long terme des prix des matières premières. Il est... possible de

pousser la production dans les zones à bas coût à un rythme supérieur à celui de l'augmentation de la consommation et d'éliminer ainsi plus rapidement les producteurs marginaux ». Ce mécanisme s'est mis en route dans l'aluminium et il a beaucoup affaibli certains anciens majors. Trois exemples viennent à l'appui de l'affirmation ci-dessus, le pétrole du Moyen-Orient et les accords de Achnacarry de 1928, l'agriculture et... la bauxite. La bauxite n'a pas eu l'importance géopolitique du pétrole, mais l'un comme l'autre sont passés par une époque de cartels et de grandes turbulences — IBA¹ pour la première, OPEP pour le second. L'Australie a contribué à mettre fin à l'IBA et a sorti les producteurs d'aluminium d'un très mauvais pas.

vii. Application à l'industrie de l'aluminium en 2012-2013

Les chiffres et informations relatives à l'industrie de l'aluminium se trouvent dans les rapports annuels² de l'USGS, aujourd'hui sous la plume de E. Lee Bray, spécialiste du domaine³. Synthèse de la situation récente, ils mêlent différentes grandeurs et il semble opportun d'en présenter les valeurs 2012-2013, aux États-Unis et dans le monde.

❖ USA : La production primaire de 2012 des États-Unis s'est faite dans 10 usines appartenant à 5 compagnies. Au prix public du marché, elle est valorisée 4,3 milliards de dollars. Sa transformation s'effectue principalement dans la région du centre-est, localisation ancienne. Le premier poste de consommation est le transport (34 %), suivi de l'emballage (26 %), la construction (12 %), l'électricité (9 %), l'équipement (8 %), les produits de consommation durable (7 %) et d'autres (4 %).

La production de 2008 à 2012 montre que la reprise de l'électrolyse de 2011 a fait long feu, 2012 est en léger recul. En revanche, la production secondaire — déchets « vieux » — continue à remonter. L'aluminium ainsi récupéré était équivalent à 35 % de la consommation apparente. Les importations⁴ sont venues du Canada (62 %), de Russie (7 %), de Chine (5 %), du Mexique (4 %) et du reste du monde (22 %). Les importations pour consommation⁵ et la consommation apparente sont en forte hausse, tout comme l'emploi qui se rapproche de son niveau de 2008.

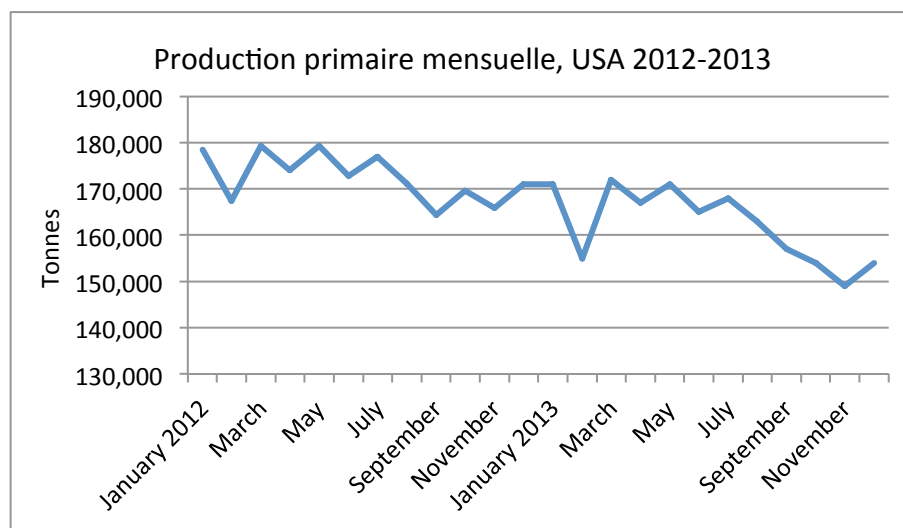
¹ « Au début de l'année 1974, les trois principaux producteurs de bauxite des Caraïbes, la Jamaïque, le Surinam et le Guyana, associés à la Guinée, l'Australie, le Sierra Leone et la Yougoslavie ont formé l'International Bauxite Association pour renforcer leur pouvoir de négociation devant les producteurs d'aluminium. Plus tard la République dominicaine, Haïti, le Ghana et l'Indonésie ont rejoint l'association. En 1975, l'IBA représentait 73 % de la production mondiale de bauxite... » Cf. United States Dependence on Caribbean Bauxite and the Formation of the International Bauxite Association, Michael Deal, Maryland Journal of International Law, Vol. 4, Issue 1, art. 16, 1978.

² Il en existe plusieurs, d'envergure différente, dont une synthèse en 2 pages. Les chiffres de 2013 constituent des estimations. Les séries temporelles qui seront étudiées proviennent de cette source.

³ Et aussi répondant efficace et attentionné.

⁴ Valeur 2008-2011. En 2012, les Émirats Arabes Unis se sont substitués à la Chine.

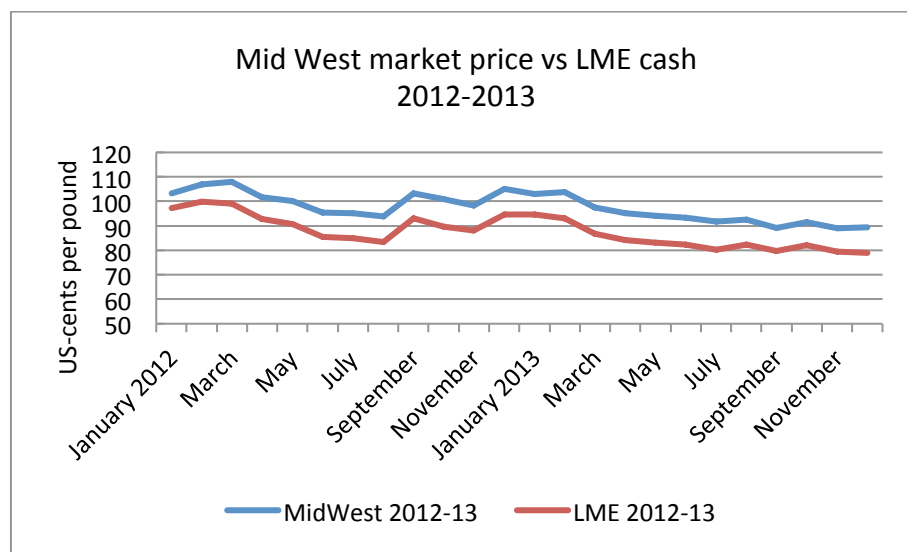
⁵ Par opposition aux importations pour transformation ou « *tolling* ».



Source : USGS

Le prix US moyen annuel, 98,0 cents/lb, continue à osciller entre le maximum relatif de 2008, 120,5 cents/lb et le minimum relatif de 2009, 79,4 cents/lb. Les deux prix mensuels principaux — Mid-West Market price et LME cash price Grade A — des deux années sont disponibles et représentés graphiquement ci-dessous. La tendance baissière et la forte corrélation entre les deux prix sont nettes, le signe et l'ordre de grandeur de l'écart aussi.

Au cours de l'année 2012, les annonces de grosses difficultés se sont multipliées. Le premier producteur américain a annoncé que l'usine d'électrolyse d'Alcoa (Tennessee), arrêtée en 2009, ne serait pas redémarrée et que deux séries de Rockdale (Texas) seraient aussi définitivement arrêtées. L'impossibilité d'obtenir des contrats d'énergie satisfaisants a été citée comme explication. Trois autres producteurs négociaient en même temps pour réduire leurs coûts¹ et annonçaient des réductions de capacité en cas d'échec des négociations. En revanche, d'autres négociaient en vue de redémarrer des unités arrêtées temporairement en 2009. Enfin, des — petites et sans doute très rentables — extensions de 16 et 24 000 tonnes/an étaient en cours d'achèvement.



Source : USGS, moyennes corrigées du nombre de jours des mois.

¹ Les usines d'Hannibal (Ohio), Hawesville (Kentucky) et Mount Holly (Caroline du Sud).

Les exportations ont augmenté de 5 % en 2012 et les importations d'aluminium brut et de semi-produits ont augmenté de 21 % par rapport à 2011. La Chine, le Canada, le Mexique et la République de Corée, par ordre décroissant, ont reçu environ 85 % du total des exportations américaines. Les ventes de déchets en Chine ont représenté 40 % des exportations américaines d'aluminium. Au total, les États-Unis ont été dépendants des importations à hauteur de 20 % de leur consommation apparente.

❖ *Monde* : La production mondiale d'aluminium primaire a peu augmenté en 2012, 44,9 millions de tonnes contre 44,4 en 2011. D'un côté, de nouvelles capacités et des redémarrages ont contribué à la hausse, et de l'autre, des arrêts de deuxième semestre liés à la baisse des prix ont presque annulé leurs effets. Les autres raisons invoquées pour l'arrêt ont été des variations de change, des conflits du travail, des augmentations de prix et des manques de courant. Elles ont concerné l'Australie, le Canada, les Pays-Bas, l'Afrique du Sud, le Royaume-Uni, les États-Unis et le Venezuela. Les stocks sont restés constants, environ 2,4 millions de tonnes chez les producteurs et 5 millions de tonnes au LME.

Des recherches sont menées au Canada pour trouver un substitut à la bauxite, même si les réserves mondiales de bauxite sont jugées suffisantes pour un futur prévisible.

Enfin, les substituts en vogue actuellement sont identifiés : des composites pour les fuselages et les ailes d'avion ; du verre, du papier, des plastiques et de l'acier pour l'emballage ; du magnésium, de l'acier et du titane pour le transport au sol et les structures ; des composites, de l'acier, du vinyle et du bois pour la construction ; enfin, du cuivre pour les applications électriques.

En conclusion, il n'y a pas eu de changement significatif dans l'aluminium au niveau des chiffres d'ensemble des dernières années. Chacun poursuit son travail sur sa trajectoire anticipée. Pour obtenir une évolution jugée souhaitable par beaucoup, il faudra attendre un consensus sur l'environnement qui ne semble pas imminent ou un événement extérieur brutal. Cela ne veut cependant pas dire que rien ne bouge, en particulier dans l'énergie, aux USA dans les énergies renouvelables et en Chine avec la hausse annoncée du prix du courant. Les grands producteurs ne sont pas inactifs, l'exemple d'Alcoa l'a montré. Les prochains paragraphes traitent d'un sujet fondamental, jusqu'à présent seulement évoqué, la finance internationale et son irruption dans le domaine.



3.

Le London Metal Exchange (LME) et la finance internationale

Après l'étude, dans leur généralité, plus haut dans la présente partie B¹, de la structure des entreprises — surtout américaines² — avec Galbraith, et du fonctionnement du marché avec Caves, il est apparu opportun d'appliquer leurs analyses à une perturbation majeure survenue dans le monde de l'aluminium. D'abord, l'évaluation des approches respectives de Galbraith et de Caves avait conclu que l'une ne pouvait pas exister sans l'autre. Leur complémentarité a aidé à décrypter le fonctionnement de l'ensemble *structure + marché* et les rôles respectifs de ses deux parties. Le changement évoqué à l'instant a touché autant les entreprises que leur marché. Il s'agit de la perte en quelques années, du pouvoir que certains auraient cru légitime³, des producteurs de fixer leurs prix de vente à un niveau qui assure leur rentabilité et donc leur avenir. Elle a affaibli les producteurs et abouti à la cotation de l'aluminium au LME en 1978, situation banale au regard des autres métaux non ferreux cotés depuis longtemps, mais d'un effet considérable dans une industrie récente et déjà structurée à l'échelle mondiale. Évoquée comme le fruit de multiples causes, elle suscite plusieurs interrogations : le changement a-t-il trouvé sa source à l'extérieur ou à l'intérieur de l'ensemble ? À quel besoin répondait-il ? Enfin, et c'est l'essentiel, que sont devenus l'ensemble et ses parties ?

Trente-cinq ans plus tard, les conséquences du changement ont été tirées. Le recul du temps oblige à accepter l'émergence d'une tierce partie, autonome et forte, venue s'adjoindre aux deux premières pour constituer un nouvel ensemble, nécessairement plus performant, et nommé ici *structure + LME + marché*. Il importe de décrire les conditions de mise en place et le fonctionnement de cet ensemble, plus complexe par construction. Défini comme « l'interpénétration de la sphère réelle et de la sphère financière⁴ », il ouvrait grand la porte à une nouvelle dimension, la finance. Celle-ci, qualifiée⁵ de « largement liée à la collecte et au traitement de l'information », trouve donc sa place dans les marchés de commodités, alors que les risques associés à l'asymétrie d'information dans la fixation des prix étaient déjà apparus comme des réalités dès les premières années de fonctionnement du LME⁶, au XIX^e siècle. De nombreuses études économiques ont porté sur la recherche de justifications au développement des marchés de commodités, et sur la relation entre le stockage et la vente de contrats à terme⁷. En revanche, les outils de l'information instantanée ou presque et les méthodes mathématiques associées ont été développés seulement une vingtaine d'années plus tard. Des informations sur la finance sont réunies dans le point III du présent

¹ Plus précisément en 2^e partie § 1. II. iii.

² Le rôle de modèle de l'entreprise américaine et du marché pour le monde occidental, et en particulier pour les autres producteurs d'aluminium, a été justifié.

³ En l'absence de tout soupçon d'entente illégitime.

⁴ *Le London Metal Exchange, Spécificités et perspectives stratégiques*, Yannick Marquet et Pierre Esquerre, Les Éditions de l'Industrie, Paris 2001, rapport final, Ministère de l'Économie des Finances et de l'Industrie, Direction des Matières Premières et des Hydrocarbures, Observatoire des Matières Premières.

⁵ Dans *Deux décennies de mondialisation financière*, Pierre Jacquet, Politique étrangère, Année 1999, Volume 64 Numéro 3, pp. 645-661.

⁶ Voir *The London Metal Exchange, a commodity market*, R. Gibson-Jarvie, Woodhead-Faulkner Ltd. 1976.

⁷ Dans *Comportements microéconomiques de stockage et de vente à terme : état de l'analyse économique*, Sébastien Mittraillle développe certains aspects de sa thèse (2001) et propose une abondante bibliographie ; Dalloz Revue d'économie politique 2003/5 - Vol. 113, pp. 649-669. Ainsi rapporte-t-il que, dès 1949, Holbrook Working publiait *"The Theory of Price of Storage"* appliquée aux produits agricoles.

paragraphe, afin de clarifier les rôles respectifs¹, et une appréciation actualisée des conséquences sera ébauchée dans le point IV.

La nécessité de simplifier incite à effectuer une comparaison avec la situation antérieure. D'abord s'impose la présentation du nouveau venu, le LME, et de sa relation à l'aluminium. Ses spécificités ont fait naître, simultanément, le besoin de protection contre le risque et la spéculation. Ensuite viendra l'examen du fonctionnement des interfaces techniques, commerciales et financières entre les parties du nouvel ensemble. Enfin, un éclairage sera porté sur la finance internationale et sur ses outils relatifs aux matières premières, et les derniers mots de cette partie B porteront sur les perspectives industrielles des produits et de leurs marchés.

En raison de la portée de l'événement à l'époque et des interrogations qu'il suscite encore, l'accent est mis sur le LME. Cependant, depuis une quinzaine d'années, la production et la consommation d'aluminium se sont considérablement développées en Asie, et des transactions ont lieu sur les marchés à terme d'Osaka, de Tokyo et de Shanghai². Il convient d'évoquer aussi la situation de cet ensemble, ne serait-ce que pour constater que la bourse occidentale des métaux a déjà perdu son monopole d'influence. Les informations sur ces entités ne sont pas d'un accès facile et le livre de Simon et Lautier³ éclaire sur leur situation et leur activité. Cette situation ne plaide certainement pas en faveur du retour à des prix-producteurs concurrentiels. En revanche, la force de la Chine et la tentation hégémonique pourraient assez vite poser un beaucoup plus grave problème de concurrence⁴.

I. Le LME, marché de commodités, généralités

Le cheminement d'une matière première minérale, de son origine naturelle jusqu'à son utilisateur, dépend de nombreux paramètres et la dénomination commune de commodité cache une foule de cas particuliers qui alimentent de temps à autre la chronique, comme les terres rares en 2012. D'après Giraud⁵, « en pratique, on appelle matière première la première forme sous laquelle un produit issu de l'exploitation d'une ressource naturelle peut voyager pour entrer dans sa phase suivante de transformation ». Pour l'aluminium, la définition ci-dessus cache bien des difficultés⁶. Pourquoi considérer l'aluminium comme une matière première, alors que tant d'opérations le séparent de son minerai ? Giraud, encore, répond ainsi : « plutôt que de rechercher une classification de nature technique... mieux vaut s'intéresser à la nature de la relation qui s'établit, à l'occasion d'un échange de marchandises, entre un fournisseur et un client. Cela nous permettra d'introduire la notion de *commodité* ». Plusieurs thèmes vont être successivement étudiés.

¹ Jacquet, déjà cité, répond à certaines interrogations précédentes quand il écrit : « Les décisions sont importantes, mais elles traduisent souvent des réactions aux évolutions, plutôt que des démarches volontaristes pour façonner ces évolutions ».

² Les conditions de production de l'aluminium en Chine et en Inde ont été évoquées plus haut. Une vue de l'ensemble *structure + bourse + marché* en Orient semble pour l'instant très difficile à construire depuis l'Europe. De plus la situation évolue rapidement !

³ *Marchés Dérivés de Matières Premières*, Yves Simon et Delphine Lautier, Ed. ECONOMICA, 3^e édition, 2006. Le Tokyo Commodity Exchange a ouvert en 1984, l'Osaka Mercantile Exchange a été créé en 1997 et le Shanghai Metal Exchange est devenu en 1999 le Shanghai Futures Exchange. Tous trois traitent l'aluminium à terme.

⁴ Voir notamment : *La surproduction chinoise mine l'aluminium*, le 13 avril 2012 et *Toujours plus d'aluminium chinois*, le 22 mars 2012 par Daniel Krajka dans l'Usine Nouvelle.

⁵ Déjà cité.

⁶ Voir Partie A I, l'Industrie de l'aluminium.

i. Bibliographie

Dans sa généralité d'institution britannique centenaire, le LME a fait l'objet d'une grande attention et d'un nombre élevé de publications. En rapport étroit avec un livre contemporain de Gibson-Jarvie¹, une synthèse de la période 1970-1985 consacrée à l'aluminium, a été présentée dans un mémoire de Master à l'Université de Pau². La troisième édition du livre de Gibson-Jarvie³ approfondit la description du fonctionnement du marché qui s'est enrichi de nouveaux outils⁴ de gestion interne et aussi de gestion du risque. De son côté, Yannick Marquet a établi des textes de référence en français⁵ et, en collaboration avec Pierre Esquerre, une analyse technique approfondie et globale du LME, qualifié à l'époque de « marché de référence incontesté des grands métaux non ferreux⁶ », publiée par le Ministère des Finances⁷. Après avoir présenté les principes de base, comparé les prix-producteurs et les prix du marché libre, et exprimé des critiques au regard des besoins des entreprises, les auteurs posent la question de l'éventuel retour au prix-producteur, non pas dans l'idée d'une simple marche arrière — la solution ne serait pas efficace — mais parce que d'éventuelles manipulations des stocks pourraient jouer sur la structure des prix à terme, d'une manière insupportable pour les producteurs. En conséquence, ils proposent une évolution vers un marché d'échéances. Autour d'un LME qui change, en 2000 il est devenu une société privée, The London Metal Exchange Limited, et qui offre toujours une référence de prix incontournable⁸, bien des choses ont bougé dans le fonctionnement des entreprises et de leur marché. Elles pourraient faciliter l'identification *ex post* des causes originelles recherchées et de leur enchaînement. De plus, un autre changement, plus récent et sans doute plus important encore, est à l'œuvre, il s'agit du développement rapide et fructueux des outils de la finance⁹. Des publications récentes du BRGM¹⁰ témoignent aussi de cette évolution.

ii. Orientations

Dans un tel contexte, à la fois connu et changeant, seules quelques caractéristiques du LME seront énoncées et uniquement dans leur rapport à l'aluminium. En revanche, ce qui a été nommé plus haut comme les interfaces entre les parties du nouvel ensemble mérite davantage de commentaires, car il engage l'avenir et fera l'objet du point § C 2. Ce partage, un peu formel, tend à répondre à de lancinantes questions de fond : dans quelle mesure le LME a-t-il empiété sur des domaines propres aux deux autres entités ? Y a-t-il eu évolution de la concurrence vers la complémentarité ? Enfin : peut-on estimer le résultat actuel en termes de bien-être pour la société et quelle forme pourrait prendre un retour en arrière favorable ?

¹ *The London Metal Exchange, a commodity market*, R. Gibson-Jarvie, Woodhead-Faulkner Ltd. 1976.

² *Commentaires sur l'introduction de l'aluminium au London Metal Exchange*, Thierry Brault-Vattier, Master-2 d'Économie internationale, UPPA, 2007.

³ *The London Metal Exchange, a commodity market*, Robert Gibson-Jarvie, Third Edition Woodhead-Faulkner Ltd. 1988. Cette édition est présentée avec humour comme la description du "nouveau LME", l'ancien ayant disparu à la suite des Rapports Gower — liés à la crise de l'étain de 1985 - et du *Financial Services Act* de 1986. Des Règles de gestion, strictes et imbriquées, s'appliquant à tous les marchés de futures de commodités de Londres, ont contraint le LME à changer pour un marché mieux gouverné et doté d'une structure plus rigide.

⁴ Le LME a aussi étendu son domaine en intégrant le plomb et le zinc, puis à la fin des années 1980 le nickel.

⁵ *Les marchés d'options négociables sur contrat à terme*, Yannick Marquet, Ed. Economica, 1988.

⁶ Outre l'aluminium pur et allié, il traite du cuivre, de l'étain, du plomb, du zinc et enfin du nickel.

⁷ *Op. cit.*

⁸ Dans le monde occidental. L'aluminium est coté à Shanghai à un niveau de prix inférieur à celui du LME. Source : *L'aluminium, une affaire chinoise*, Daniel Krajka, dans L'Usine Nouvelle, le 12 septembre 2011.

⁹ Cf. les multiples éditions du livre de Simon et Lautier, *Finance internationale*, Ed Economica, 2009 (avec C. Morel, 10^e édition).

¹⁰ BRGM = Bureau de Recherches Géologiques et Minières, notamment publications de Christian Hocquard.

iii. Forward Terminal Market (FTM)

Le LME (FTM) a été fondé en 1877, pour traiter des disponibilités immédiates ou attendues en matière de minerais de cuivre et d'étain dont l'industrie nationale faisait un usage important et qui, une fois les gisements proches épuisés, mettaient trois mois pour venir. Sa fonction était double, vendre ou fixer les prix et faciliter, en fonction de la date réelle d'arrivée des bateaux, la gestion des stocks des négociants et des utilisateurs. Ces derniers devaient pouvoir emprunter du métal en cas de retard, ou en prêter dans le cas contraire. Les brokers traitaient librement toutes les échéances intermédiaires, mais les prix n'étaient pas officiellement publiés. La cotation portait exclusivement sur le comptant ou sur une échéance à trois mois, et 80 % des transactions étaient effectués dans ces conditions. Le contrat à terme — *forward* — a trouvé sa place quand la gestion du temps de transport a pu être affinée, donnant lieu à un marché de dates, traitant à la fois le papier et le physique. À l'opposé se situe le marché d'échéances qui concerne tous les autres marchés à terme commerciaux.

iv. Les 3 fonctions du LME

Le LME s'est attribué trois fonctions, une fonction de référence de prix pour le commerce des métaux qu'il cote, une fonction de marché physique de dernier recours pour le client par rapport à son fournisseur et, enfin, une fonction de couverture, très technique et très importante à maîtriser par les intéressés, producteurs, utilisateurs ou spéculateurs. Le LME se définissait encore en 1978 comme FTM, à travers sa double caractéristique de marché papier — c'est-à-dire de marché de « hedge » — et de marché physique permettant une gestion fine des disponibilités. En cela, il différait d'un marché de « futures » qui ne remplit que la première fonction malgré une possibilité de livraison. Les opérations « cash » y jouent un rôle essentiel et les opérations à terme portent sur des délais fixes et donc sur des échéances variables.

v. Évolution

Les principes de base ont peu changé depuis la création du marché et seules les conditions de leur mise en œuvre ont dû être précisées en plusieurs occasions. Une évolution vers le plus long terme s'est produite sous l'effet de deux forces¹ : 1) les bailleurs de fonds dont l'appui est indispensable pour gérer la trésorerie des mineurs², ont demandé à connaître la valeur moyenne des produits pour évaluer leurs risques à partir de données visibles : le prix ne pouvait donc plus être fixé par les contrats — opaques — mais sur le LME dans la transparence ; 2) parce que la durée du développement d'un procédé d'enrichissement d'un minerai depuis la mine s'étale sur environ 6 ans, une bonne visibilité des prix à long terme était indispensable pour lancer l'exploitation. Le LME a allongé les échéances jusqu'à 27 mois et le marché OTC³ est resté relativement liquide. Plus tard, il est devenu un marché de gestion des risques, de couverture plus que de livraison. À la suite de deux graves incidents de parcours — la crise de l'étain (1985)⁴ et l'affaire Sumitomo⁵ (1995) — des réformes ont été introduites afin d'améliorer la sécurité des opérations. Avec la mise en fonction en mai 1987 d'une chambre de compensation, le LME est devenu un marché à terme, tout en gardant son mode de fonctionnement particulier.

¹ D'après Yannick Marquet, communication personnelle.

² Les fournisseurs de matière première minérale, en général.

³ OTC = *Over the Counter*, de gré à gré.

⁴ Voir plus haut, une note sur la troisième édition du livre de Gibson-Jarvie, et Simon et Lautier, pp. 441 sq.

⁵ Sumitomo Corporation, en mars 1995, a perdu 1,8 milliards de dollars sur des futures sur le marché du cuivre. Source : *Deux décennies de mondialisation financière*, Pierre Jacquet, août 1999.

vi. Le contrat

Le premier savoir-faire du LME se trouve dans le contrat « standard », rédigé dès les origines pour faciliter les transactions, satisfaire et protéger les clients, réduire les causes de litige, bref, économiser le temps de transaction¹. Il s'est substitué aux discussions entre fournisseurs et utilisateurs, inutilement répétitives pour une matière première aux propriétés bien définies et stables. Au plan pratique, toute opération contractuelle d'achat ou de vente *cash* s'effectue contre remise ou restitution d'un warrant pour un lot de 25 tonnes d'aluminium ou de 20 tonnes d'alliage. Un tel warrant est parfaitement fongible et peut être échangé autant de fois qu'il plaît à ses propriétaires successifs. Le premier contrat établi pour l'aluminium a fait ultérieurement l'objet de diversifications de forme et de composition du métal. Le LME fournit en ligne² la liste de ces contrats — de fait, ses produits — et la plus récente date de modification de chacun d'eux, pour référence. Il apparaît ainsi qu'en 2012 l'aluminium pur ou allié pouvait faire l'objet de dix contrats différents qui impliquent un découpage strict du marché et une cohérence minimale des prix. Pour l'aluminium recyclé ou allié, il existe un contrat propre aux USA : the North American Special Aluminum Alloy Contract³ qui démontre l'adaptabilité du LME et son souci de garder « un pouvoir de marché ». Il pourrait se poser un jour un problème de concurrence, car le recyclage s'oriente naturellement vers des produits particuliers — comme la boîte-boisson, d'identification instantanée — qui deviennent alors des substituts directs de l'aluminium primaire, alors que leur coût de récupération et de refusion est peu élevé.

vii. L'Aluminium et son prix

Depuis le début de cette étude, le sujet du prix de l'aluminium a été abordé plusieurs fois, sous des angles différents. Ici, le prix est l'un des prix publiés par le LME, le prix spot. Il est représenté en deux parties pour des raisons d'acquisition de données. L'une de janvier 1979 à mars 2007, et l'autre de janvier 2005 au 30 septembre 2014, pour chaque jour de cotation. La fréquence de mesure montre la rapidité des variations. Des moyennes mensuelles peuvent être utilisées pour comparaison à des valeurs d'autres sources. Les spécificités de l'aluminium le distinguent de beaucoup d'autres minerais cotés. D'abord, les caractéristiques physiques de l'aluminium sont mesurables sur des échantillons représentatifs et, à la différence des minerais aux teneurs variables, il ne subsiste aucune incertitude sur la pureté du métal. Ensuite, le capital nécessaire à sa fabrication et son fort contenu énergétique en font un produit à forte valeur ajoutée par rapport à la bauxite et à l'alumine. En conséquence, les variations de son prix devraient plutôt refléter celles des coûts du capital et de l'électricité, éventuellement corrigées des variations des taux de change puisqu'il s'agit d'un prix mondial. Cette hypothèse logique a été testée⁴ mais les résultats ne sont pas publics. En fait le prix, fixé chaque jour suivant des règles complexes qui mêlent les taux de change du dollar et du sterling, se révèle surtout sensible au niveau du stock d'aluminium dans les hangars du LME — sa base réelle⁵ — et varie entre *backwardation* et *contango*¹. En tout cas, il ne reflète pas les contraintes et

¹ La durée des opérations à la criée pour chaque métal est extrêmement courte. Mais il existe aussi les transactions à la corbeille, plus longues, qui concernent tous les métaux en même temps. Cf. Gibson-Jarvie.

² Historique des cotations http://www.metalprices.com/introduction/metal_index.asp

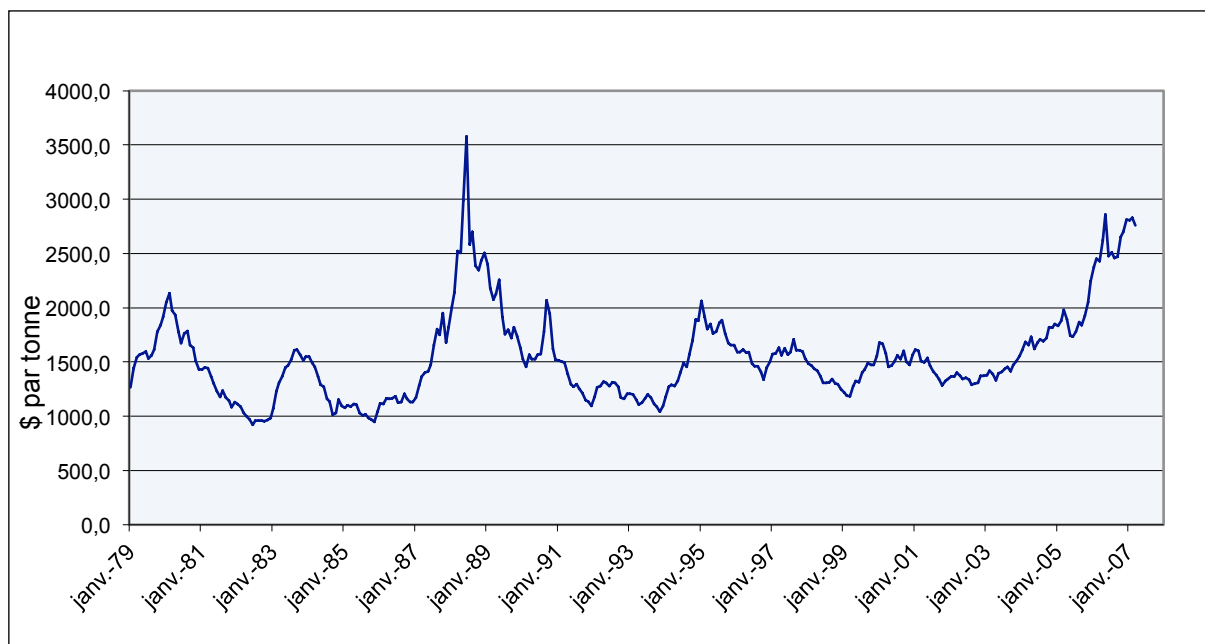
³ Il s'agit du premier contrat développé spécifiquement par le LME pour des applications concernant une région du monde. Il traduit une des difficultés associées au recyclage de l'aluminium, la variation de sa composition chimique suivant ses usages. Il semble poser des problèmes aux affineurs qui l'emploient.

⁴ *Évolution en phase des stocks d'Al au LME et du prix spot*, Étude Blackrock – source DataStream, citée par Hocquard, BRGM, 2011.

⁵ La fiabilité des chiffres annoncés n'est pas assurée d'après Marquet et Esquerre, et elle laisse place à la manipulation.

les besoins des producteurs qui doivent désormais raisonner à l'envers de leurs vieilles habitudes. Ils fixent leur production et sa localisation en fonction du prix publié, « à prendre ou à laisser² », ce qui implique pour eux de produire ou d'arrêter, puisqu'ils n'ont plus les moyens financiers nécessaires pour stocker et reprendre du pouvoir sur le marché. Là se trouve sans doute l'explication des variations des cours des métaux depuis des années : elles doivent beaucoup à des spéculations. Une comparaison avec le cuivre de 1989 à 2014 qui illustre la folle hausse de 2002 à 2008 et les effets de la crise en 2009, a été présentée en § B vi. L'aluminium est, lui, revenu à ses niveaux anciens — environ 1 700 \$/tonne — alors que le cuivre est resté à 7 000 !

Prix spot de l'aluminium au LME



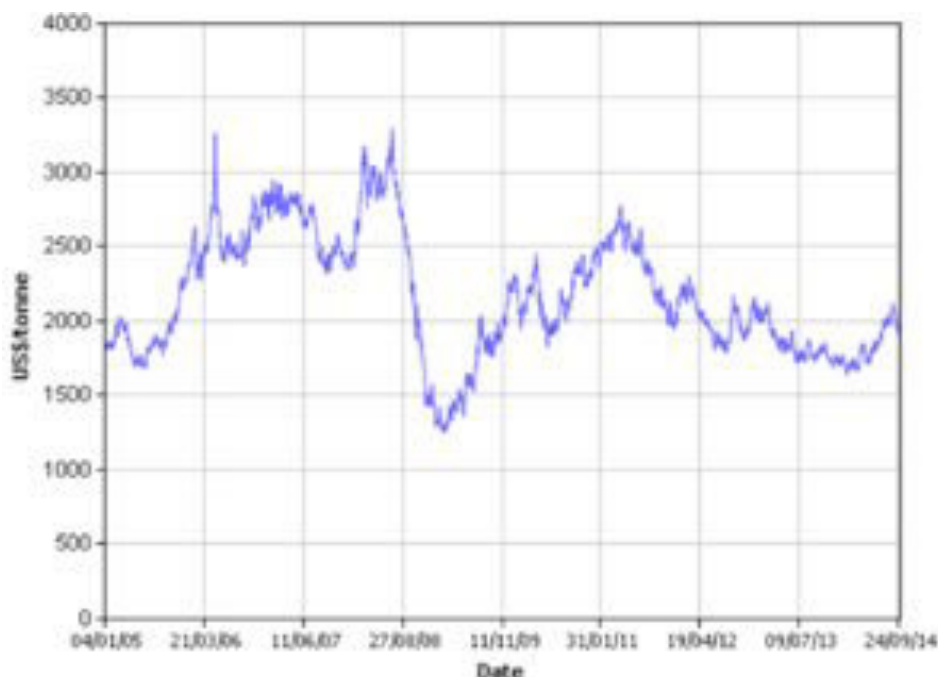
Source : LME, valeurs quotidiennes.

Une récente étude de Martin Stürmer, intitulée *150 Years of Boom and Bust: What Drives Mineral Commodity Prices*³ ? datée de novembre 2013 été diffusée sur le net. L'auteur vante la longue durée d'accumulation de ses données de prix et de production, de 1840 à 2010, qui concernent le cuivre, le plomb, l'étain, le zinc et le pétrole brut. Évidemment, l'aluminium ne remplit pas les conditions. L'auteur conclut que les fluctuations de prix résultent davantage de chocs de demande que de chocs d'offre. L'effet des premiers sur les prix se ressent parfois pendant quinze ans, alors que celui des derniers disparaît en moins de cinq ans. Il trouve que les hausses de prix provoquées par une industrialisation rapide sont chose fréquente et que les prix des commodités minérales retrouvent leur tendance décroissante ou stable à long terme. Dans le cas de l'aluminium, il semblerait plutôt que les chocs d'offre causés par un excès d'investissements soient à l'origine d'une chute du prix dont l'effet dure moins de cinq ans.

¹ Sur le marché des contrats à terme, on parle de *contango* ou report quand le prix présent est inférieur au prix futur coté, dans le cas contraire, on parle de *backwardation* ou déport.

² En théorie, il devrait correspondre à leur coût marginal. Mais le coût de production — élevé — et le délai — trop long — rendent matériellement impossible un redémarrage quand le prix LME remonte, comme par exemple en 1988.

³ Job Market Papers; <http://econpapers.repec.org/paper/jmpjm2013/pst529.htm>

Prix aluminium acheteur cash depuis 2005

Source LME en ligne, https://secure.lme.com/Data/community/Dataprices_pricegraphs.aspx

viii. Sur-marge

La réussite de l'introduction du contrat sur l'aluminium en 1978 peut être expliquée par l'implantation, à la même époque, de concurrents, moins contraints et donc plus performants¹, qui ont battu en brèche la stratégie d'intégration des « anciens » producteurs. Marquet et Esquerre expliquent leur succès par la structure du marché, de type oligopolistique dans les années 1970. Le prix-producteur était défini — c'est un rappel — par Alcan. En théorie au moins, il intégrait une sur-marge et les « majors » s'alignaient avec quelques menues différences, dans une stratégie d'équilibre coopératif qui laissait une place à des concurrents moins puissants et moins performants. Le prix changeait peu souvent et la régulation portait sur les quantités, chacun prenant plus ou moins sa part, sans contrôle particulier puisque les nouvelles implantations étaient — depuis la fin des cartels — acquises aux décideurs les plus rapides. Sur une certaine durée², ce système de prix permettait de couvrir impérativement les coûts de production, les charges d'ajustement des capacités à la demande, la croissance de la capacité de production et de transformation, et enfin la rémunération attendue du capital. Par ailleurs, il est notoire que la structure intégrée portait à l'origine sur la bauxite, l'alumine, l'aluminium³ et l'électricité⁴. Son démantèlement, plus ou moins étalé dans le temps, a mis chaque produit sur un marché particulier dit libre, ce qui implique qu'il n'a plus été soutenu aux plans technique, marketing et développement de nouvelles applications. Le marché n'a pris qu'une partie seulement de la place laissée libre par la structure. Mais comme il « régule » par les prix et que leurs mouvements sont devenus importants, les outils nécessaires à la

¹ Le sens de cette causalité n'apparaissait pas du tout évident à l'époque.

² Durée du cycle d'après Marquet, ou durée d'amortissement de l'unité de production, ou... ? Elle semble liée à la vitesse du progrès technique, voir plus haut.

³ La transformation en produits commercialisables, grand public ou installateurs, ne fait pas partie de l'étude.

⁴ Même si les décisions et la gestion se trouvaient déléguées à d'autres entités.

gestion du risque sont apparus sur les marchés à terme. Seule et petite contrepartie, il arrive que des accords de développement soient conclus entre un producteur et un gros utilisateur, par exemple Alcoa avec Boeing, ou avec Audi. Il peut aussi exister des contrats confidentiels de fourniture à long terme qui, s'ils étaient connus, viendraient enrichir le paragraphe relatif aux prix.

ix. *Les options*

Elles représentent la première étape, dans le temps, entre les contrats à terme et les marchés dérivés. Plus que les détails relatifs à l'outil et à ses conditions d'utilisation, ce qui est intéressant pour l'étude en cours, c'est l'évolution et la datation des changements successifs pour comparaison à l'adaptation du LME. Très technique, l'ouvrage de Marquet¹ comprend une partie historique qui convient au besoin.

Les contrats à terme sont des « ... contrats commerciaux particuliers dont l'exécution, différée à l'échéance contractuelle, aboutira à la livraison ou la prise de livraison de la marchandise », tout comme les contrats « standards » du LME. Ceux-ci sont devenus compensables quand est apparue une chambre de compensation à Londres, c'est-à-dire à partir de mai 1987. Une fois le contrat dûment enregistré, le lien juridique initial entre vendeur et acheteur est rompu, il est remplacé par un double lien entre acheteur et chambre de compensation d'un côté et entre vendeur et chambre de compensation de l'autre. En conséquence, une seule et même contrepartie garantit — ou assure — la bonne fin financière des opérations. Le succès de ces contrats repose sur la possibilité de gérer le risque de prix associé à la transaction commerciale. En fait, ils possèdent trois sortes d'avantages : ils sont faciles à négocier en raison d'un volume d'activité important, les coûts de transaction sont faibles et les risques de défaut sont fortement réduits par un règlement quotidien des différences imposé aux opérateurs. Jusqu'aux années 1970, ces contrats étaient réservés aux matières premières. Quand ils ont été transposés aux actifs financiers et en particulier aux contrats de taux d'intérêt, ils ont connu un énorme succès sous le nom de *financial futures*.

Les premières options sur contrats à terme portant sur des matières premières physiques, à Chicago au XIX^e siècle, ont connu des péripéties, car elles ont été accusées par les *farmers* d'accroître la volatilité des cours. Ces « options traitées hors cote... ne bénéficient ni des garanties financières existant pour les opérations à terme, ni du contrôle des bourses ». Jusqu'au début des années 1970, existent « des options traitées séparément de l'actif sous-jacent et de gré à gré entre un acheteur et un vendeur. Elles concernent surtout des marchandises et en particulier des métaux non ferreux ». En quelques années, sous l'effet de l'innovation du marché et des progrès de la théorie de la finance, des options sur une liste réduite de valeurs mobilières vont apparaître, au Chicago Board of Trade² en 1973, puis à New York, Philadelphie et Amsterdam. Les opérations sur les options négociables sur contrat à terme ont débuté le 1^{er} octobre 1982 et celles de Chicago qui portaient sur des obligations du Trésor ont connu un essor considérable. « Avec la généralisation de ce type d'opérations et la création de marchés d'options négociables dans le monde entier, c'est un monde nouveau qui s'ouvre, bouleversant les habitudes et les techniques, et offrant des possibilités insoupçonnées ». Le lien théorique entre le prix de l'option et celui de l'actif sous-jacent est modélisé en 1973 par Black et Scholes, et il permet l'élaboration de stratégies financières de plus en plus complexes, faites d'arbitrages et de risques, en principe maîtrisés.

¹ *Les marchés d'options négociables sur contrat à terme*, Yannick Marquet, Coll. Gestion, Ed. Economica 1988. *op. cit.* Quatre citations entre guillemets.

² Au travers de sa filiale le Chicago Board Options Exchange.

x. *À Londres, plus des stocks*

Pour réaliser ses opérations, le LME dispose d'un immeuble à Londres et d'entrepôts de stockage dans le monde. À Londres, à heure fixe, deux fois par jour, il établit et publie les prix qui servent de base pour la grande majorité des contrats commerciaux, soit pour les contrats à prix ferme, soit comme référence de fixation pour les contrats en prix à fixer. En matière de stockage, il a agréé, dans 12 pays, 370 magasins qui administrent 460 marques de métal déposées dans 66 pays¹. Le niveau des stocks, publié chaque jour, fait l'objet d'un suivi attentif de la part des intervenants, car il existe entre le stock et le prix comptant (spot market) une corrélation négative². Toutefois, l'existence de stocks hors warrant rend possibles les « manipulations de la structure du marché » ce qui est « d'autant plus grave sur le LME que... les cotations cash et le report au jour le jour des positions jouent un rôle essentiel³. »

xi. *En 2000*

Au cours de l'année 2000⁴ prise comme exemple, les chiffres du LME relatifs à l'aluminium, révèlent une particularité de fonctionnement qui le rapproche déjà beaucoup des opérations financières : la production mondiale — chiffres IAI⁵ — s'est élevée à 23,985 millions de tonnes et le volume des transactions a atteint 714 millions de tonnes, soit un effet de foisonnement de 29,75⁶. Ce volume de transactions sur le métal primaire s'est réparti entre 90,44 % de contrats fermes, 8,66 % d'options et 0,89 % de TAPO⁷ pour un total de 28 132 743 contrats. Comme l'écrit Marquet, le LME « ... est devenu un marché de couverture plus que de livraison. » À titre d'ordre de grandeur, le chiffre d'affaires total de cette même année 2000⁸ a atteint 2 000 milliards de dollars !

xii. *Les critiques de Marquet*

Au moyen d'une enquête effectuée auprès d'entreprises clientes des services du LME, Marquet et Esquerre établissent un diagnostic qui reconnaît les aspects positifs des positions à court et à moyen terme, et de la couverture du risque de prix, mais recense les critiques. En résumé, celles-ci portent sur le blocage des prix à long terme, la complexité voire l'opacité pour les entreprises, le risque de manipulation des stocks et ses conséquences sur la structure des échéances et enfin sur le contrat sur l'aluminium allié jugé insatisfaisant. En raison de la gravité potentielle du problème, ils insistent sur cette caractéristique du LME d'être un marché de dates et non d'échéances, tout en reconnaissant l'avantage de l'organisation du LME en matière de liquidité. La solution parfaite ne semblant pas connue, des concurrents se présentent pour résoudre le problème et proposent déjà leur expérience, acquise sur les marchés des produits pétroliers. Ce sont de grandes banques qui développent des plates-formes OTC de négociation pour échanger des positions.

¹ Source des chiffres : Marquet et Esquerre, *op. cit.* 2001.

² Cf. La théorie du coût de stockage et la théorie du déport normal, dans Simon et Lautier.

³ Marquet (2 citations).

⁴ Source : Marquet, *op.cit.*

⁵ IAI = International Aluminium Institute, source officielle de publication des productions. L'USGS utilise leurs chiffres, parfois avec un esprit critique.

⁶ L'effet de foisonnement par rapport à la production mondiale est variable suivant les produits ; aluminium primaire : 30 fois ; cuivre : 34 fois ; zinc : 26 fois ; nickel : 41 fois ; et aluminium allié (recyclé) à peine 2 fois. Source : Marquet.

⁷ TAPO = Trade Average Price Options ; options asiatiques introduites en 1997 qui ne semblent pas avoir connu un grand succès immédiat.

⁸ Simon et Lautier donnent des chiffres pour 2005 (p. 449) et soulignent l'impressionnant développement du LME entre 1989 et 2005, le nombre de contrats a été multiplié par 7.

xiii. Transition

Le constat le plus facile consiste à reconnaître que le LME s'est imposé face aux producteurs traditionnels qui n'ont pas trouvé la parade. Les conséquences apparaissent peu favorables tant pour les producteurs que pour leurs clients, c'est l'accroissement des risques malgré — ou à cause de — la financiarisation croissante des grandes matières premières. La concurrence a changé de nature. En termes de primauté, le commerce l'a emporté jadis sur la technique, la finance l'emporte aujourd'hui sur le commerce. Il reste à savoir si la technique se remettra d'un tel abandon. Il n'est pas certain que l'analyse des interfaces entre les parties qui va être effectuée maintenant donne à cette question une réponse favorable.

xiv. Les changements récents, 2012-2014

En décembre 2012 s'est produit un changement majeur qui en appelle d'autres, le LME a été acheté par la Bourse de Hong Kong, le HKEx. Daniel Krajka¹ en a effectué l'analyse : « le HKEx envisage une cotation en doublon sur la base d'une part des cotations du LME et d'autre part de celles des trois principales bourses chinoises de commodités, Shanghai, Dalian et Zhengzhou, » a précisé Charles Li, le patron du HKEx, lors d'un entretien avec Reuters. L'objectif n'est pas seulement la Chine, mais toute l'Asie. Les doubles cotations devraient permettre d'augmenter les volumes traités et d'offrir de nouveaux outils de couverture aux utilisateurs ». Il cite aussi Christian Hocquard qui précise : « Il s'agit d'une rupture historique dans le trading des matières premières. Le basculement vers l'Asie et vers la Chine est définitivement acté ». Celui-ci s'attend à « une probable fusion du HKEx avec le Shanghai Future Exchange (SHFE), dès que la convertibilité du yuan sera effective ». La Bourse de Shanghai pourrait devenir à moyen terme « le nouveau référentiel mondial du cours des commodités. Les traders étrangers ne pourront alors plus intervenir sur ces marchés ni en détenir les entrepôts. Déjà plusieurs grandes banques comme JP Morgan et Goldman Sachs ont annoncé leur départ. Les industries consommatrices chinoises seront alors à l'abri des spéculateurs occidentaux qui ont alimenté une volatilité néfaste entre 2004 et 2008 puis en 2010-2011. La Chine sera alors en ordre de marche pour ne plus subir les prix des matières premières, mais les faire ».

Cette information, très importante, en intègre certainement une autre en provenance des États-Unis et relayée le 5 août 2013 par l'Agence France-Presse de Londres² :

« [Une] plainte contre le LME et Goldman Sachs a été déposée jeudi [1^{er} août 2013] auprès du tribunal fédéral du district est du Michigan (nord des États-Unis) par Superior Extrusion Inc. La première bourse mondiale des métaux, le London Metal Exchange (LME), et la banque américaine Goldman Sachs sont accusés d'entente illégale dans le stockage³ d'aluminium, dans une plainte en nom collectif déposée devant un tribunal fédéral américain, a indiqué la Bourse de Hong Kong (HKEx).

« Superior Extrusion accuse le LME et Goldman Sachs de s'être "entendus pour restreindre l'approvisionnement en aluminium dans l'entrepôt du LME de Detroit" la plus grande ville du

¹ Daniel Krajka, dans L'Usine Nouvelle, 6 décembre 2013.

² Publiée par le journal canadien La Presse ; voir notamment : <http://affaires.lapresse.ca/economie/energie-et-ressources/201308/05/01-4677150-le-lme-et-goldman-sachs-accuses-de-comportement-monopolistique.php>

³ « Ces dysfonctionnements — dérivés du fait que le stockage de métaux est devenu une activité hautement lucrative — provoquent une distorsion des prix sur le marché. Les consommateurs payent ainsi leur aluminium 10 % à 15 % plus cher que le prix du LME ». Source http://www.lantenne.com/Le-CME-lance-un-contrat-a-terme-sur-l-aluminium_a13367.html

Michigan, dans le but de “faire monter les prix”, des pratiques qui “ont continué” malgré “des plaintes répétées depuis début 2011”.

« La plainte les accuse d’avoir orchestré des inefficacités et retards de livraison atteignant 18 mois. Cela se traduit par des frais de stockage faramineux qui raréfient la disponibilité d’aluminium dans la région clé de Detroit et font flamber son prix réel pour les industriels, alors même que les cours sont déprimés sur les marchés financiers ».

La nouvelle est à relier avec celle diffusée par l’AFP¹ : « le Chicago Mercantile Exchange (CME) compte lancer prochainement un contrat à terme sur l’aluminium, concurrençant *de facto* celui du London Metal Exchange (LME), a annoncé mardi 8 octobre à Londres une responsable de l’opérateur boursier basé à Chicago ». Les valeurs respectives des prix Midwest et LME, pour 2012 et 2013, ont été indiquées en § B § vii, elles n’incluent pas les frais de stockage. De profonds changements sont à venir.

Cette situation nouvelle et explosive incite à insérer, sur la page suivante, un document de l’époque de source privée, MetalMiner, qui décrit les cheminements du métal aux États-Unis sur toute la filière, les principaux intervenants et les sources de profits.

¹ Source : l’antenne.com, *op. cit.*

Les cheminements du métal aux États-Unis

Aluminum Warehouse Scheme Explained



Credit: wry 37 at Flickr

2010 US primary production
2.1 million metric tons

Aluminum stored in US LME
warehouses approximately
2.3 million tons
of the 5.5 million tons held globally
in LME warehouses.



Credit: jvargas at Flickr



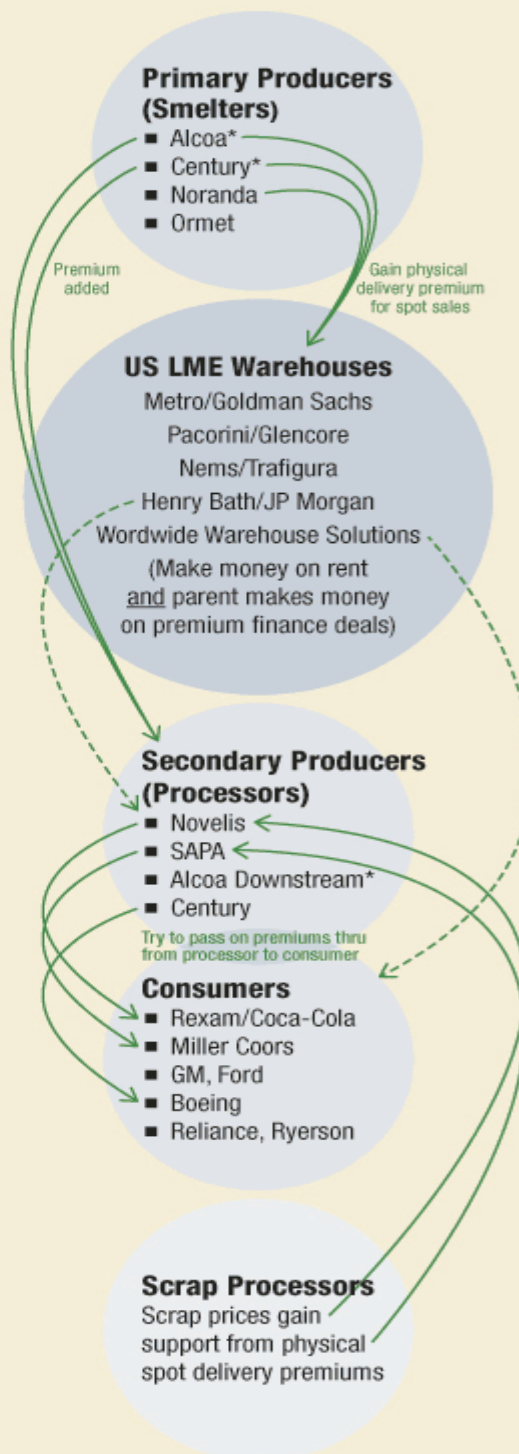
Credit: Stepan Mazurov at Flickr

More than 80%
of global non-ferrous business
is conducted on the LME
and the prices discovered are used
as the global benchmark



Credit: Steve Jurvetson at Flickr

LME warehouse load-out times
are now running approximately
19 months



* Denotes upstream and downstream production
--- Historically, it worked that way

MetalMiner™

© 2013 MetalMiner. All rights reserved.

773-525-9750
info@metalminer.com

II. Le marché, le LME et la technostructure

Quand plusieurs domaines importants se chevauchent, l'analyse se complique et c'est sans doute pourquoi Galbraith et Caves les ont séparés. À un moment donné, l'acteur d'un domaine peut disparaître pour certaines raisons. À l'inverse, pour des raisons différentes, d'autres y trouvent leur inspiration et réussissent leur entrée. Le tout s'effectue dans un incessant mouvement orienté en sens unique par le succès, à l'instar de la nature. De fait, la sélection fonctionne. Certains évoluent mieux que d'autres et il faut reconnaître à Alcoa¹ une longévité exceptionnelle. À quoi attribuer son succès² ? Plus largement, connaissant les turbulences du passé et se fondant sur les principes de base du LME, comment se présentent aujourd'hui les perspectives communes des trois composantes de l'ensemble *structure + LME + marché* ? Elles vont être décomposées entre le marché et les entreprises.

L'introduction du contrat sur l'aluminium au LME a constitué l'incontestable point de rupture d'une situation qui, malgré quelques épisodes durables de surproduction, donnait satisfaction depuis la Seconde Guerre. Le passage à la nouvelle situation n'a pas résulté seulement de la dynamique du nouvel arrivant, premier intéressé au changement ; par leurs évolutions propres, le marché et la technostructure ont finalement soutenu le changement, au moins jusqu'à maintenant.

La « perte de pouvoir de marché³ » des producteurs s'est traduite pour eux par l'impossibilité de continuer leurs anciennes pratiques de structures industrielles intégrées. Dès le début de leurs activités et par nécessité, ils avaient donné la priorité à la croissance de la consommation⁴ par la baisse des prix ; monopoles locaux, ils maîtrisaient leur marché. La géographie séparait les zones d'activité et la taille distinguait les entreprises. Aujourd'hui, ils subissent les changements qui vont être présentés en suivant les découpages familiers.

i. Le marché, avec LME

a) Backwardation ou contango

Un facteur intéressant — une surprise peut-être — est venu de « l'ennemi » lui-même, du moins tel que les producteurs traditionnels perçurent un moment le LME. En effet, celui-ci leur a procuré un outil de pilotage par ce simple fait qu'énoncent clairement Marquet et Esquerre : « vendre à prix ferme revient à anticiper une baisse des prix alors que retarder une vente s'interprète comme une anticipation à la hausse⁵ ». Autrement dit, ignorer le LME revenait pour le producteur — et

¹ On pourrait aussi penser à Alcan Inc., autre grand du domaine. Mais cette société canadienne a perdu son indépendance en 2007, lors de son rachat par Rio Tinto pour devenir Rio Tinto Alcan.

² Au plan industriel la réponse tient en quelques mots : contrôle du capital et des profits, contrôle sans faille de ses grands approvisionnements et, un temps, intégration de la filière amont-aval. La sortie de l'intégration puis la décroissance aux USA ont été réussies. Au plan social, l'entreprise a gardé une image conforme aux valeurs de ses débuts.

³ La pluralité de sens de l'expression peut être explicitée ici : elle caractérise l'incapacité du vendeur à fixer le prix de son produit et à le faire évoluer en agissant sur les quantités ; en conséquence, il doit renoncer à anticiper ses résultats et à prévoir ses investissements (c'est la règle générale du marché des produits de base, mais ce n'est pas une bonne règle pour une industrie de capital et de long terme) ; elle implique aussi l'abandon de toute recherche ordonnée sur le produit et ses usages, et par suite le renoncement à la grande innovation, coûteuse en R&D ; enfin, elle favorise une gestion fondée sur l'effet d'aubaine et l'opportunisme (notamment en matière d'électricité et d'environnement).

⁴ Une différence déterminante a été créée entre les premiers producteurs suivant qu'ils ont pu assurer plus longtemps leur approvisionnement en bauxite et en électricité dans les meilleures conditions.

⁵ Cette formule énonce clairement les définitions respectives de la *backwardation* et du *contango*. Les déterminants complexes du prix d'un contrat à terme relèvent de considérations théoriques qui appartiennent à la théorie du déport normal et à la théorie du stockage Cf. Simon et Lautier, *op. cit.*

pour le consommateur-transformateur — à se priver de recettes commerciales au moment précis où les revenus d'origine industrielle se faisaient plus incertains. Ils ont accepté du même coup la volatilité¹. Ils doivent maintenant suivre de près « l'évolution de la structure des cotations qui est un paramètre clé dans les stratégies de conciliation des conditions de fixation, donc de couvertures contre le risque de prix ». Par expérience, ils ont ainsi abouti à la conclusion que « dans ce contexte, le LME est d'évidence un instrument de gestion irremplaçable et son organisation est très directement adaptée aux besoins de couverture² ». Toutefois des difficultés subsistent, sa complexité en matière de gestion de position le rend coûteux pour les entreprises³, la volatilité du prix — voire son opacité — peut constituer un handicap, par exemple au moment où un important utilisateur choisit une solution technique, et enfin des insuffisances déjà mentionnées subsistent du côté du long terme au regard de la liquidité... Bien plus tard, et cela fixe les positions relatives du LME et de la finance, comme Simon et Lautier⁴ le précisent, les grandes évolutions sont intervenues. Les outils financiers n'ont été affinés qu'après 1978. Ainsi « sur le plan opérationnel, les décennies 1970 et 1980 sont associées à la révolution des produits dérivés financiers négociés sur les marchés boursiers : Chicago, Matif, etc. Les décennies 1980 et 1990 sont, elles, associées à la révolution des produits dérivés (option, ...) négociés sur les marchés de gré à gré. »

b) Amont/Aval

Les matières premières appartiennent désormais à qui les veut. Cela implique à une échéance peut-être lointaine mais inéluctable la question de l'approvisionnement en bauxite. Dans ce domaine, l'exemple vient de la Chine avec son implantation en Guinée, mais dans les pays riches en bauxite tout peut arriver, les Russes viennent d'en faire l'expérience... Les produits aussi appartiennent à leurs marchés, emballage, transport, construction, etc. qui optimisent entre matériaux. Cette saturation pourrait conduire à la baisse de la consommation d'aluminium — ou expliquer la tendance déjà constatée — en raison de la concurrence de l'acier, des composites et des matières plastiques. L'absence de leadership apparaît comme une faiblesse et entretient la méfiance.

c) Les produits

Depuis longtemps, le producteur tire parti du procédé d'électrolyse à haute température⁵ pour fabriquer à bon compte des produits de forme qui anticipent l'usage qui en sera fait : plaques de laminage, billettes de filage et fil machine pour câblage. Par rapport au produit commercial de base, lingot ou *sow*⁶, il empoche ainsi une prime qui fait partie de sa stratégie d'investissement et améliore sa rentabilité. Des produits utilisés en grandes quantités pour des applications importantes en tonnage — comme les billettes d'AGS⁷ (6 061 ou 6 063) — sont commercialisés par le LME. De même, la vente de métal liquide qui permet la même économie d'énergie thermique est utilisée depuis longtemps chez des clients géographiquement proches. Elle connaît un regain de faveur en Chine⁸.

¹ Mais, est-ce bien la volatilité qui est à craindre ou l'évolution du prix sur un, deux ou trois ans ? Voir plus loin.

² Trois citations de Marquet et Esquerre entre guillemets, *op. cit.*

³ Par le besoin de compétences internes à l'entreprise.

⁴ *Op. cit.*

⁵ Nettement supérieure à la température de fusion de l'aluminium, ce qui économise l'énergie de refusion.

⁶ Pour les différencier des gueuses de fonte, appelées *pigs*...

⁷ A pour aluminium, G pour magnésium et S pour silicium, en proportions variables suivant les usages et normes.

⁸ Cf. *Toujours plus d'aluminium chinois*, par Daniel Krajka dans l'Usine Nouvelle le 22 mars 2012.

d) Le temps

L'intérêt, parfois excessif, porté au prix « acheteur » et à ses variations, pourrait faire oublier que le prix concerne au premier chef le « vendeur », car il conditionne sa propre existence. Les anglais disent que sa fonction est « *to clear the market* », c'est-à-dire d'équilibrer prix et quantités à la satisfaction de tous les acteurs et pendant la durée¹ du marché. En fait, il devrait, comme Marshall le prescrivait, s'avérer capable « de réguler l'offre et de répercuter l'ensemble des coûts de production² ». Sans remonter à l'époque et aux contraintes de la marine à voile, autrefois le temps importait moins pour ce type d'opération. La négociation entre deux interlocuteurs, voire plus en cas de concurrence, pouvait se prolonger pendant plusieurs heures, la décision pouvait se faire attendre quelques jours. Les relations commerciales et techniques trouvaient encore cet espace de confiance qui a permis l'émergence d'un nouveau produit, l'aluminium, puis son développement. Aujourd'hui les transactions papier sont immatérielles, mais, parce qu'elles sont connues, elles influent sur les anticipations. Elles s'effectuent à un rythme accéléré qui n'a rien de commun, ni avec le temps long des producteurs, ni même avec le temps court des clients-transformateurs dans l'attente d'une livraison. En matière de temps, le LME facilite — en principe — la tâche de tous les opérateurs, producteurs, transformateurs ou spéculateurs³. Ils peuvent acheter ou vendre à tout moment. La connaissance du stock mondial permet de tenir toute date de livraison et le client se trouve libéré de toute pression de la part du fournisseur sur les prix et sur les quantités. En revanche, il subit les amples variations structurelles du prix et ne bénéficie plus d'aucune aide technique. Il doit rechercher ailleurs l'expertise ou l'expérience qui lui fait défaut. De cette manière, il porte encore la responsabilité du choix de la solution. Mais le choix du matériau lui échappe, au moins en partie, il revient à son expert technique, ce qui pose la question de l'asymétrie d'information et de l'aléa moral⁴.

e) Le lieu de livraison

Le nombre élevé de lieux de stockage agréés par le LME permet au client d'obtenir, au moment de son choix, le métal d'une origine définie (*Brand*) sur le lieu qui lui convient le mieux quelles que soient ses raisons. En l'occurrence, le LME introduit une souplesse qui peut aider à contourner un obstacle temporaire ou permanent. Le transport est naturellement à la charge de l'acheteur depuis le lieu de stockage.

f) Le prix

Il a constitué le « Cheval de Troie » qui a permis de passer outre l'opposition des producteurs. La transition du prix-producteur au prix de marché s'est effectuée sans trop de problèmes grâce au LME : « en tant que marché physique, il a rendu possibles certains ajustements, notamment à travers les mouvements de stocks, tout en fournissant aux intervenants un instrument efficace de gestion du risque de prix qui a contribué à imposer les cotations du LME comme prix de référence ». Son mode de détermination a fait l'objet de vives critiques⁵ au sein même du LME où l'on a parlé ouvertement de conflit d'intérêt. Pour mettre fin à la crise, la solution a été recherchée dans la transparence. Par ailleurs, bien que plus récent, le principal rôle du LME consiste à fournir des instruments financiers

¹ Deux fois 5 minutes par jour pour un seul métal, plus 2 heure 30 de transactions à la corbeille, et davantage, voire 24 h / 24, en comptant les transactions par internet. Simon et Lautier, p. 445.

² Marquet et Esquerre, p. 5. Ces coûts ont été énumérés ci-dessus.

³ *Comportements microéconomiques de stockage et de vente à terme, état de l'analyse économique* Sébastien Mitraillé, Dalloz Revue d'économie politique 2003/5 - Vol. 113 pages 649 à 669.

⁴ En effet, l'expert peut être tenté, sans le dire, de favoriser un matériau plutôt qu'un autre.

⁵ Notamment au début du XX^e siècle.

de couverture. Quelle que soit leur efficacité, il existe des limites et « si le LME leur permet de se protéger contre le risque de prix, les opérateurs supportent un risque irréductible sur l'évolution de la structure du marché¹ ». Dans le passé, ce risque était beaucoup plus faible, car les prix producteurs évoluaient lentement, tendanciellement à la baisse. Les chocs pétroliers ont inversé cette tendance, la hausse du pétrole s'est répercutée sur le prix de l'électricité et sur le prix de l'alumine calcinée pour électrolyse. L'extrapolation du passé a alors perdu toute signification et la courbe représentative des prix LME montre d'amples variations peu explicables.

ii. Les entreprises productrices, avec LME

a) Consommateurs

Au début des années 1980, les consommateurs ont dû choisir² entre le niveau plus élevé du prix du marché et le risque de pénurie que leurs fournisseurs traditionnels leur faisaient faire craindre s'ils s'approvisionnaient ailleurs. La question se pose encore de savoir pourquoi et comment le LME s'est introduit au cœur du métier des producteurs, parvenant à les séparer de clients plutôt fidèles jusque-là. Sans doute les choses ont-elles été perçues comme un changement jouable, assorti d'avantages et d'inconvénients.

b) Producteurs

L'impossibilité pour les producteurs de continuer à imposer leur prix peut être vue comme l'échec de leur perception du marché, au sens large, intervenants réels et potentiels compris. Intégrés depuis longtemps, ils avaient fait face à de nombreuses difficultés³ qui les avaient façonnés et auxquelles leurs nouveaux concurrents, arrivés à un bon moment, ont pu échapper en opérant sur des marchés libres. Performants⁴ et indépendants, ces derniers ont accepté des risques qui plaçaient leurs concurrents face à leurs difficultés majeures : usines et technologie anciennes, structure lourde, stockage coûteux et surtout prix de l'électricité instable avec une perspective de rareté. Devant cette situation, les premiers s'illusionnèrent d'abord sur la possibilité pour leurs nouveaux concurrents de s'approvisionner durablement en alumine à un prix correct. De fait, le marché de l'alumine connaissait, lui aussi, des progrès techniques et des turbulences qui se sont traduits par l'augmentation considérable de la taille critique des usines et la disparition de quatre des cinq principaux producteurs mondiaux⁵, mais qui n'ont pas eu l'effet destructeur attendu. Ensuite, ils manquèrent des ressources indispensables pour dépasser la simple menace verbale quand les prix du métal ont varié plus largement et plus vite que les « sages » prix-producteurs, sans pour autant créer d'effolement chez leurs clients. Leur organisation industrielle — leurs finances surtout — n'était plus en mesure d'accepter une baisse des prix, encore moins si sa durée et son niveau étaient imprévisibles. Effectivement ils perdirent de l'argent⁶ ! Le niveau et la forte variabilité des prix situaient alors l'alternative entre l'impossible vente à perte et le douloureux arrêt des usines non

¹ Marquet, *op. cit.*

² Voir plus loin la représentation des différents prix de l'époque. Source : statistiques USGS, chiffres de Mrs Plunkert. <http://minerals.er.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/aluminum/stat/tbl3.txt>

³ Par exemple la création du cartel de la bauxite nommé International Bauxite Association (IBA).

⁴ Grâce à une technologie moderne et à un prix du courant nécessairement « attractif » puisqu'il les a incités à venir.

⁵ Le survivant a été Alcoa et Rio Tinto a repris la place d'Alcan.

⁶ En 1982, en particulier, quand les prix du LME sont revenus au niveau des prix-producteurs de 1974. Ce fait, exceptionnel et gravissime, renvoie aux analyses de Galbraith sur les objectifs des entreprises et sur le passage au premier plan du court terme. Par ailleurs, la diversité des usines que chaque producteur traditionnel s'efforçait de faire durer — faute de pouvoir les moderniser — s'accompagnait d'importantes différences de coûts et désignait les plus faibles.

rentables, souvent les plus vieilles, épargnées jusque là par les habituels hauts et bas du marché. Le modèle ancien a dû être repensé, ce qui fut fait en plusieurs étapes mais de manière radicale. Le prochain défi risque de porter sur la protection de l'environnement et alors tous¹ seront égaux devant le problème posé.

c) Conséquences internes

Au sein de l'entreprise, le refus de toute baisse des profits, même si celle-ci pouvait être supposée limitée ou temporaire, s'est vite généralisé à toutes les strates et tous les éléments de la structure. À chaque fois que l'alternative de base, produire ou acheter ou sous-traiter, se présentait, l'entreprise naguère intégrée a été découpée en autant de sources de profit — parfois de perte — que possible. Le mode de gestion a complètement changé. L'individualisme et la nécessité d'un résultat immédiat ont amené à rejeter tout ce dont la rentabilité était jugée douteuse ou insuffisante, en particulier les activités de recherche et de développement², de marketing, de formation, comme par exemple celle des utilisateurs de nouveaux alliages. Au total, la structure, naguère organisée et solidaire, a éclaté en face de l'exigence de profits significatifs et immédiats. Le risque financier fait désormais l'objet de procédures de couverture et la politique sociale doit s'accommoder d'un surcroît de pression sur le personnel voire de licenciements individuels ou collectifs quand la performance est jugée insuffisante. La course au profit relève sans cesse le niveau de rentabilité recherchée et une référence est aujourd'hui fournie par les profits exceptionnellement élevés des compagnies minières³.

d) Production, Import et Export US

Au plan sensible et toujours privilégié des relations avec les clients⁴, lorsque le prix du marché dit libre est passé au-dessous du prix-moyen-producteur et a continué à descendre, les acheteurs ont logiquement emboîté le pas au marché, acceptant les risques de volatilité et de restrictions. Pour faire face, les producteurs américains ont *réduit la voilure*. La figure ci-dessous, issue des données de l'USGS⁵ pour les États-Unis entre 1970 et 1990, montre les allers-retours des producteurs américains qui, en 1974-1975 et à nouveau dans les années 1982-86⁶, ont cassé leur croissance. Les variations de production portaient sur des tonnages considérables, encore plus pour l'époque.

¹ Dans l'éventualité d'une la taxe carbone.

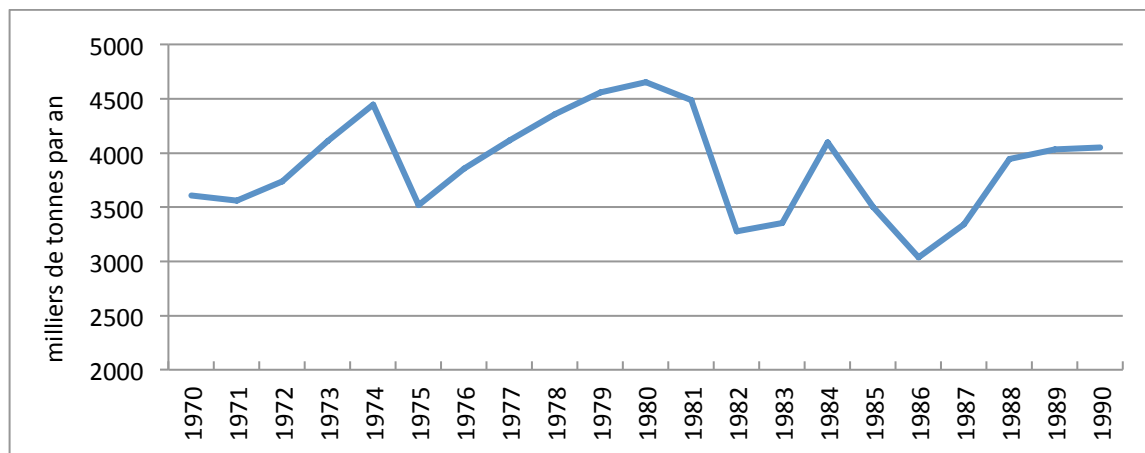
² À titre d'exemple, pour financer sa recherche sur les procédés, Pechiney a vendu sa technologie suivant le principe de la *Best Available Technology* (BAT) qui lui imposait de tenir ses licenciés au courant des derniers progrès accomplis dans le domaine. À l'opposé, Alcoa a réduit sa recherche sachant qu'il pourrait en cas de besoin acheter celle que Pechiney vendrait. L'histoire a été racontée, des années plus tard, par un dirigeant de Pechiney à qui son homologue d'Alcoa avait expliqué sa propre stratégie !

³ Voir les résultats réalisés par Rio Tinto en 2011.

⁴ Kaldor attache une grande importance à cet aspect « confiance » de la relation client-fournisseur, et les producteurs y veillaient.

⁵ Source : <http://minerals.er.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/aluminum/stat/tbl4.txt>. Des chiffres de la production primaire de 1993 à 2002 se trouvent dans une étude privée de Roskill, 2003, ils sont seulement représentés — avec de nombreuses informations complémentaires — dans *Prospective Study of the World Aluminum Industry* de Zheng Luo et Antonio Soria, JRC40221, European Communities, 2008.

⁶ En 1985, le prix de l'énergie était déjà revenu au tiers de la valeur du pic de 1980. Source : Merton J. Peck, *op. cit.* Les vitesses de réaction dans l'industrie de l'aluminium sont beaucoup moins rapides...

Production primaire aux USA

Source : USGS

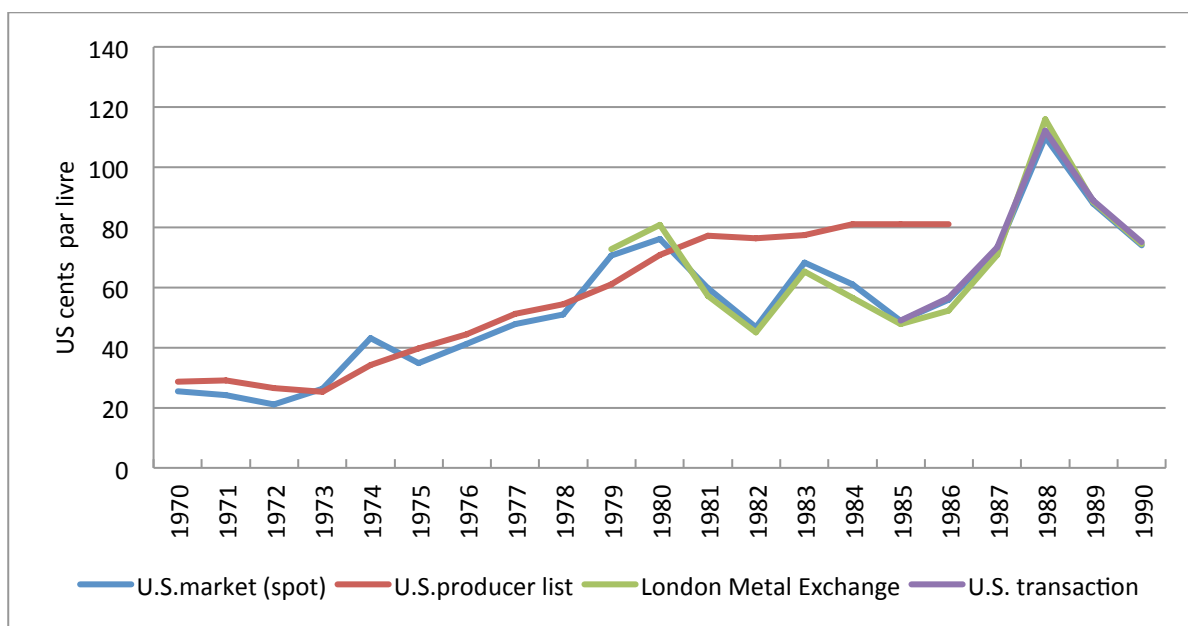
Les arrêts abaissaient mécaniquement le coût moyen pondéré, mais ne remettaient pas en cause la structure organisationnelle. Ils ne faisaient pas non plus remonter les prix qui n'ont recommencé à monter qu'en 1987. En quantité, les creux de production étaient en partie compensés par la forte hausse des importations et, globalement, si la tendance de la production primaire locale était baissière, la somme de la production et des importations était à la hausse. Les exportations aussi ont connu une hausse significative, passant de 14 % à 30 % de la somme production plus imports. Enfin, la hausse du recyclage était continue et forte. Entre 1970 et 1990, cette production subsidiaire a été multipliée par 2,64 et le taux de recyclage rapporté à la somme production primaire plus imports est passé de 22 % à 43 %. Les tonnages annuels recyclés, 2,4 Mt pour 4 Mt d'aluminium primaire, deviennent très importants. En conclusion pour cette période critique 1970-1990, le LME et d'autres facteurs exogènes ont effectivement provoqué la réduction — en tendance — de la capacité des producteurs primaires, mais ils n'ont pas empêché l'ensemble de l'industrie de l'aluminium de multiplier par 3 son chiffre d'affaires sur la période. Une analyse plus complète des tonnages sera effectuée dans la dernière partie.

e) Coûts et prix

Du côté des coûts, toujours dans les années 1980, l'association de la meilleure technologie et du plus bas prix de l'électricité permettait de produire à un coût inférieur à 1000 \$/t — 45 US \$/lb — alors que les vieilles usines, souvent associées à une coûteuse source de courant, ne faisaient guère mieux que 2 000 \$/t.

Les prix moyens de l'aluminium aux USA

1970-1990



Source des deux graphiques : Metals week, site usgs.

Et justement, les creux du LME voisinaient avec les 1000 \$/t, les bosses avec les 2000 \$/t et le passage de l'un à l'autre pouvait se faire — sur des valeurs quotidiennes — en moins d'un an ! Il était impossible de résister¹. Les effets des chocs pétroliers et les mouvements des prix de l'électricité ont eu raison des dernières hésitations. L'historique de quatre prix, de 1970 à 1990, représenté ci-dessus, est instructif².

Une première comparaison porte sur les prix moyens annuels³ : US Market (spot), prix-producteurs US, LME et prix US transaction. Les courbes correspondantes, voir ci-dessus, montrent les évolutions relatives malgré une période annuelle, trop longue, qui lisse les variations⁴. Au début des années 1970, le prix-producteur baissait doucement suivant sa tendance longue, il a connu un minimum en 1973 (25,3 US cents/lb) ; puis il a augmenté de 10 % entre 1975 et 1976, et doublé entre 1975 (39,8 US cents/lb) et 1980 (80,8 US cents/lb). Il a cessé d'être publié en 1987, après huit années pleines de coexistence avec le prix LME pendant lesquelles les écarts ont été importants, encore plus en valeurs ponctuelles. En 1979 et 1980, pour ses premières années de cotation, le prix LME en moyenne annuelle s'est situé au-dessus du même prix moyen-producteur. Il était « attractif ». En 1981, il a plongé de 29 % et a ensuite varié dans d'importantes proportions, mais toujours bien au-dessous du prix-producteur. En revanche il a atteint un surprenant pic en 1988 (115,9 US \$/lb) soit un an après la disparition du prix-producteur. À l'inverse, l'écart entre le prix LME et le prix US spot n'a jamais dépassé quelques pour cents en moyenne annuelle, au maximum 8 % en 1984, et 1 % en moyenne sur 12 ans, les deux indicateurs sont donc restés connectés, au-delà des apparences ponctuelles.

¹ Une stratégie gagnante des anciens producteurs aurait été de moderniser plus tôt - voire plusieurs fois de suite - leurs parcs d'usines vieillissantes, conservant ainsi l'efficacité des barrières à l'entrée. Pour ce faire il leur aurait fallu les capitaux correspondants plus des contrats d'électricité à long terme, une gageure !

² 1) Producer list: prix du lingot; en 1986, valeur sur 7 mois. 2) LME: en 1988, moyenne sur 11 mois et à partir de 1989, métal plus pur. 3) U.S. transaction: Metals Week a commencé à publier ses valeurs en 1985.

³ Pour les années de publication des prix.

⁴ Des valeurs mensuelles sur deux années consécutives sont représentées en 2^e partie § 2. vii.

f) Dans le reste du monde

Décroissance aux USA et en Europe, croissance ailleurs ; de nouveaux producteurs qui n'étaient intégrés ni en amont, ni en aval, ont fait leur place. Nouveaux venus, leur modèle était à l'opposé de celui des grands producteurs. Ils s'installèrent au Canada, en Australie ou dans les pays du Golfe pour bénéficier d'un coût de l'électricité, attractif et stable, et ils surent éviter les embûches de leur nouveau métier. Par nécessité, ils apprirent vite à vendre au LME, leur seul débouché, alors que leurs concurrents expérimentés le snobaient encore. Par ailleurs, grâce à l'Australie qui dispose de gros gisements de bauxite et qui a fait cavalier seul, ils évitèrent le piège tendu par l'International Bauxite Association (IBA), désireuse de copier à son profit le « modèle » de l'OPEP. Le prix de l'aluminium s'est de nouveau orienté à la baisse¹, après une période turbulente pendant laquelle les prix de l'alumine et de l'électricité étaient souvent fixés par rapport au prix du métal. Dans les années 2000, plusieurs usines européennes ont été arrêtées, comme celles de Foyers (Écosse), Lynemouth (nord-est de l'Angleterre), Auzat et Lannemezan (France).

g) Aujourd'hui

Les exemples donnés prouvent qu'après 1980 et bien plus encore en 2012 mais pour de nouvelles raisons, l'industrie ne fonctionne plus comme auparavant². La question de son devenir se pose différemment suivant les pays. Au titre des changements majeurs se trouvent, bien sûr, l'augmentation du nombre de producteurs et de l'offre³, mais surtout l'évolution de la répartition géographique de la production qui tend vers un nouveau partage du monde, non moins inégal que le précédent, entre ancien et nouveau. La montée en puissance des « jeunes pays producteurs » devenue significative dans les années 1990 et prépondérante depuis dix ans avec la Chine, malmène de plus en plus les producteurs de longue date et s'avère déterminante au milieu des années 2010. Elle ne semble pas encore avoir trop perturbé les conditions de fonctionnement du marché de Londres et les nouveaux organismes de marché orientaux agissent dans la discrétion. En revanche, les problèmes de rentabilité et de concurrence rencontrés par les producteurs du monde « ancien » laissent espérer un sursaut salutaire et, de préférence, un recentrage. La bataille est engagée, elle s'annonce déjà meurtrière. Des réponses, parfois incomplètes, ont été apportées. L'évaluation du bien-être est restée en suspens, pour deux raisons. La première veut que revenir en arrière soit impossible, suivant la formule d'Héraclite, *on ne se baigne jamais deux fois dans le même fleuve*. La seconde porte sur la répartition, certes inéquitable, des richesses. La forte croissance de leur

¹ Cette baisse ramenait à la tendance longue des matières premières. Il reste à savoir pourquoi le cuivre a fait exception à cette tendance. Son prix serait-il corrélé à la baisse « géologique » des teneurs en cuivre des gisements ? Cf. *Les marchés des matières premières minérales face à la financiarisation des commodités*, Christian Hocquard, BRGM, novembre 2011.

² Voici la politique de Rio Tinto Alcan en matière de prix, telle qu'elle apparaît dans son rapport annuel de 2008. Il n'a pas semblé utile de la traduire. « Commodity prices : The Group's normal policy is to sell its products at prevailing market prices. Exceptions to this rule are subject to strict limits laid down by the Rio Tinto board and to rigid internal controls. Rio Tinto's exposure to commodity prices is diversified by virtue of its broad commodity spread and the Group does not generally believe commodity price hedging would provide long term benefit to shareholders. The Group may hedge certain commitments with some of its customers or suppliers. Details of commodity derivatives held at 31 December 2008 are set out in note 34 to the 2008 Full financial statements. ... Many of the aluminum forward contracts and embedded derivatives were acquired with Alcan. Metals such as copper and aluminum are generally sold under contract, often long term, at prices determined by reference to prevailing market prices on terminal markets, such as the London Metal Exchange and COMEX in New York, usually at the time of delivery. Prices fluctuate widely in response to changing levels of supply and demand but, in the long run, prices are related to the marginal cost of supply. [...] Approximately 24 per cent of Rio Tinto's 2008 net earnings from operating businesses came from products whose prices were terminal market related and the remainder came from products priced by direct negotiation.

³ Cette dimension fait écho à la situation antérieure d'excédent de demande. Cf. 2^e partie § 1. II. iv.

production, depuis les années 1990, a permis à des millions d'hommes et de femmes de voir leurs conditions de vie améliorées.

h) Demain

Aux plans du marché et des entreprises, les choses semblent avoir atteint un équilibre, chacun a trouvé sa place et joue son jeu. La production d'aluminium prospère au Canada¹, en Russie, en Chine et dans quelques autres pays. Un élément s'avère déterminant aujourd'hui pour les producteurs d'aluminium, c'est le même qu'hier, la fourniture d'électricité. Malheureusement pour eux, elle se situe aujourd'hui au centre d'intérêts qui les dépassent largement et l'avenir est peu prévisible. Les regards se tournent maintenant vers l'Orient dans l'attente des intentions de deux grands producteurs, la Chine et l'Inde. Ailleurs, Alcoa se développe à l'aide du gaz naturel, aujourd'hui bon marché. L'heure de la refusion va peut-être sonner dans les pays devenus trop pauvres pour s'offrir de l'aluminium primaire.

III. La finance internationale

Un paragraphe sur la finance internationale a semblé indispensable pour élargir encore, côté LME surtout, les analyses de l'ensemble *structure + LME + marché*. Le temps a mis en évidence de nouvelles pratiques. Dans une perspective historique longue, au vu du contenu des livres d'enseignement de la Finance Internationale², de l'orientation des articles de Christian Hocquard³ et du déclencheur financier de la crise de 2008, une hypothèse demeure plausible : le LME a-t-il été introduit, entre les entreprises et leur marché, par des financiers à la recherche d'espace pour innover et de profits futurs ? Ou bien le délai entre le fait et le développement des marchés financiers est-il trop long pour qu'un tel lien soit plausible ? Même si la causalité s'avère impossible à prouver, il n'en demeure pas moins que l'obsession du profit maximum à court terme a changé la gestion des entreprises et en particulier les critères de choix des investissements, leur nature et leur rendement attendu⁴. Quant au LME, il faudra probablement attendre la publication d'archives pour savoir qui fut à l'origine de l'opération sur l'aluminium, combien elle a coûté et si un financement est venu de l'extérieur. En revanche, puisque les matières premières — principalement celles d'origine agricole — constituent un domaine ouvert à la spéculation depuis longtemps⁵, il doit être possible de dater quelques évolutions de la fin du XX^e siècle à la recherche de cette jonction des marchés dont parle Hocquard⁶ et aussi de décrire les grandes lignes de la situation actuelle. Ensuite, parce que la monnaie⁷ est le vecteur de la finance, des faits relatifs aux Systèmes monétaires seront rapportés, à

¹ Les producteurs québécois expriment leurs inquiétudes pour l'avenir, voir plus haut.

² *La Finance Internationale*, Henri Bourguinat, Collection Thémis Économie, Presses Universitaires de France, 1^{re} édition 1992, mise à jour en novembre 1995. *Finance Internationale*, 10^e édition, Simon, Lautier, Morel, Collection Finance, Ed. Economica 2009.

³ « Ce sont les marchés à terme aujourd'hui complètement intégrés qui rendent possible l'assimilation des marchés de matières premières à des marchés financiers », dans. Voir aussi *La financiarisation des marchés de commodités* Hocquard, BRGM. Source : http://www.ufg.asso.fr/tensionminerales/hocquard_05122011_ufg.pdf

⁴ Ici apparaît la difficulté de définir la notion « opérationnelle » de capital fixe ou, présenté différemment, le « bouclage » qui modifie en cours de route les hypothèses initiales d'un investissement de long terme. Ce bouclage oblige à revenir sur la notion de capital vue en partie B § b. Cela sera effectué en B § d, dans une vision prospective du marché et de l'entreprise.

⁵ À Chicago, Londres et Liverpool notamment. Voir Giraud, *op. cit.*, Simon et Lautier *op. cit.* et *Agricultural Prices and Commodity Market Analysis*, John N. Ferris, Michigan State University Press, 2005.

⁶ *Op. cit.*

⁷ « Une place financière doit posséder un marché monétaire efficace afin d'offrir aux banques la possibilité de se refinancer dans les meilleures conditions possibles. » in Lautier, Simon, Morel, *op. cit.*

dire d'experts. Enfin, la juxtaposition des dates permettra peut-être d'avancer, même si Jacquet¹ met en garde : « la dialectique réglementation/innovation, suivant laquelle l'innovation répond à la réglementation existante, la rend désuète et conduit à la «déréglementation» apparaît comme une constante dans l'évolution historique des marchés financiers. Elle rend difficile tout exercice qui consisterait à juger si les mouvements observés sont dus aux décisions des gouvernements ou à la dynamique des marchés. Les décisions sont importantes, mais elles traduisent souvent des réactions aux évolutions, plutôt que des démarches volontaristes pour façonner ces évolutions ». Il est vraisemblable que la créativité des individus est beaucoup plus rapide que les réactions institutionnelles si bien que celles-ci, laborieusement édictées, deviennent le nouvel obstacle à contourner. Cela contribue à l'accroissement de la complexité.

Pourtant, à propos de l'innovation² en matière financière, Jacquet écrit : « Il n'en reste pas moins que d'importantes décisions de déréglementation ont été prises dans les 20 dernières années. C'est aux États-Unis que le mouvement commence au début des années 80, avec un ensemble de mesures destinées à encourager la concurrence sur les marchés financiers, la poursuite de l'élimination des plafonds de taux d'intérêt engagée dès la seconde moitié des années 70, et, pour renforcer l'attrait du marché américain, l'élimination en 1984 de la retenue à la source de 30 % sur les intérêts d'obligations souscrites aux États-Unis par des étrangers. La place de Londres embraye en préparant dès 1983 le « Big Bang³ » d'octobre 1986 qui met fin aux commissions fixes sur les transactions financières et à la distinction entre les courtiers (brokers) et les contrepartistes (market makers), qui ouvre la Bourse à des participations extérieures et qui met en place un système informatisé de transactions en continu. Cette réforme bouleverse les conditions de concurrence sur les places financières et pousse les autres places à s'engager également dans un mouvement de déréglementation. » Cette autorisation voire cette incitation à mieux utiliser les capitaux disponibles pour accroître leur rendement et la compétitivité de la place financière, semble de nature à marginaliser progressivement les activités de l'industrie tout entière — incapable sauf exception de suivre le mouvement — et à encourager la prise de risques financiers.

L'importance donnée à Londres — à propos de l'aluminium — ne doit pas faire oublier que les outils de la finance autorisent aujourd'hui une délocalisation des activités sans déplacement des acteurs comme le montre l'exemple⁴ des transactions, à Londres et à Francfort, sur le marché dérivé des titres publics allemands dans les années 1997/1998. Et les auteurs de cette observation prévoient que « du fait des progrès enregistrés dans l'informatique et la transmission de l'information, il ne sera pas nécessaire de déplacer (ou très peu) le capital humain associé aux marchés financiers qui, eux, se déplaceront en fonction des coûts et des avantages relatifs associés à chaque place ou à chaque système informatisé ». L'avantage concurrentiel dont disposent de telles activités de services, en raison de leur expérience, paraît inattaquable au moins pour l'instant, et aux antipodes des difficultés rencontrées aujourd'hui par l'industrie pour sa localisation.

¹ *Op. cit.* Voir B § c.

² Dans *Financial Innovations in International Financial Markets*, Working Paper No. 2277, NBER June 1987, Richard M. Levich évalue l'effet de l'innovation dans le changement du « paysage financier » entre 1973 et 1986. A titre d'exemple pour montrer la vitesse de ce changement, la croissance des euros-dollars sur la période a été de 20 % par an, et celle des euro-bonds en dollars de 29 %. Dès 1981, la masse des dépôts en eurodollars est supérieure à la masse monétaire américaine (M2).

³ L'expression concerne le London Stock Exchange, elle est aussi reprise par Simon et al.

⁴ Voir Simon et al.

i. Finance et matières premières

Le pouvoir effectif de la finance est à l'origine de graves crises dans le monde que Boyer, Dehove et Plihon¹ analysent — avant la crise de 2008 — dans une étude approfondie. Il serait fructueux de l'adapter au domaine des matières premières, finalement peu évoqué, car jugé peu important² dans une analyse globale. De fait, l'utopie serait de tenter de construire le monde autour des matières premières... Plus synthétique, l'analyse de Jacquet³ énonce ainsi : « L'innovation financière connaît dans les années 80 un développement fulgurant, élargissant considérablement le menu d'instruments financiers à la disposition des acteurs, investisseurs, spéculateurs ou trésoriers d'entreprises » et ces outils ont été introduits à l'origine dans le monde des matières premières. Marquet l'affirme : « Les prix des matières premières sont analogues aux prix des actifs financiers ; ils agrègent des informations sur le futur, via le contango et la backwardation ; ils sont à cheval entre le réel et le financier⁴ ». Hocquard affirme la même chose et présente — voir ci-dessous — une courbe intitulée « les commodités, une nouvelle classe d'actifs pour les fonds d'investissements » qui concerne le cuivre. Pour appréhender les bases de la finance de l'époque et présenter les évolutions dans l'ordre chronologique, il convient de revenir à la fin des années soixante-dix. Les ouvrages de Gibson-Jarvie⁵ fournissent des informations⁶ sur le LME jusqu'en 1988. Au même moment, Marquet⁷ décrit les opérations relatives aux options négociables sur contrat qui, venant d'Amérique, sont apparues à Paris fin 1987-début 1988. Dans sa bibliographie, Mitraile⁸ qui étudie les conditions économiques du stockage, fait état d'une importante activité des économistes à la recherche d'une méthode de stabilisation du prix des matières premières dans les années 1980-1990, suite à la décision prise en 1976 par la CNUCED de stabiliser le prix de dix commodités⁹. Certaines études abordent la question de l'utilité sociale. Il cite Jerome L. Stein¹⁰ qui étudie le lien entre le prix des matières premières, les taux de change et le loyer de l'argent. En 2000, la formation des agents à la gestion du risque de prix sur les métaux donne lieu à l'édition par le LME d'un livre dirigé par Phillip Crowson¹¹. Enfin, en 2006, l'introduction à la troisième édition du livre de Simon et Lautier déjà cité présente les choses de cette manière : « Le risque de variation des prix des matières premières est inhérent à la vie économique... Les marchés dérivés offrent une protection efficace contre le risque de prix afférent aux matières premières ». Les principales étapes de l'évolution s'enchaînent donc ainsi : « en 1982, sont apparues les premières options négociées dans le cadre des marchés organisés... depuis 1989-1990, sur une grande échelle, de nouveaux instruments furent proposés dans le cadre du marché de gré à gré ». Enfin, la boucle se referme : « cette émergence des produits dérivés a bouleversé la finance, mais

¹ « ... quelle que soit leur nature, la plupart de ces crises restent difficiles à prévoir, et même leur interprétation après coup est sujette à débats », et plus loin « Ainsi, les innovations, tant financières que réelles, semblent avoir joué un rôle déterminant dans le déclenchement de processus conduisant aux crises financières qui ont été observées », in *Les crises financières* rapport Robert Boyer, Mario Dehove et Dominique Plihon, CAE, La Documentation française, Paris, 2004 (414 p.).

² Tout étant relatif, comme le montrent le chiffre d'affaires du LME et les grandes manœuvres en cours.

³ *Op. cit.*

⁴ Communication privée, 2010.

⁵ Voir références ci-dessus.

⁶ Homme du sérail, britannique valorisant l'humour, il fait peut-être preuve de mansuétude à l'égard des dysfonctionnements graves qui ont jalonné l'histoire de son marché.

⁷ *Les marchés d'options négociables sur contrat à terme*, *op. cit.*

⁸ *Op. cit.* 2^e partie § 3, note de bas de page.

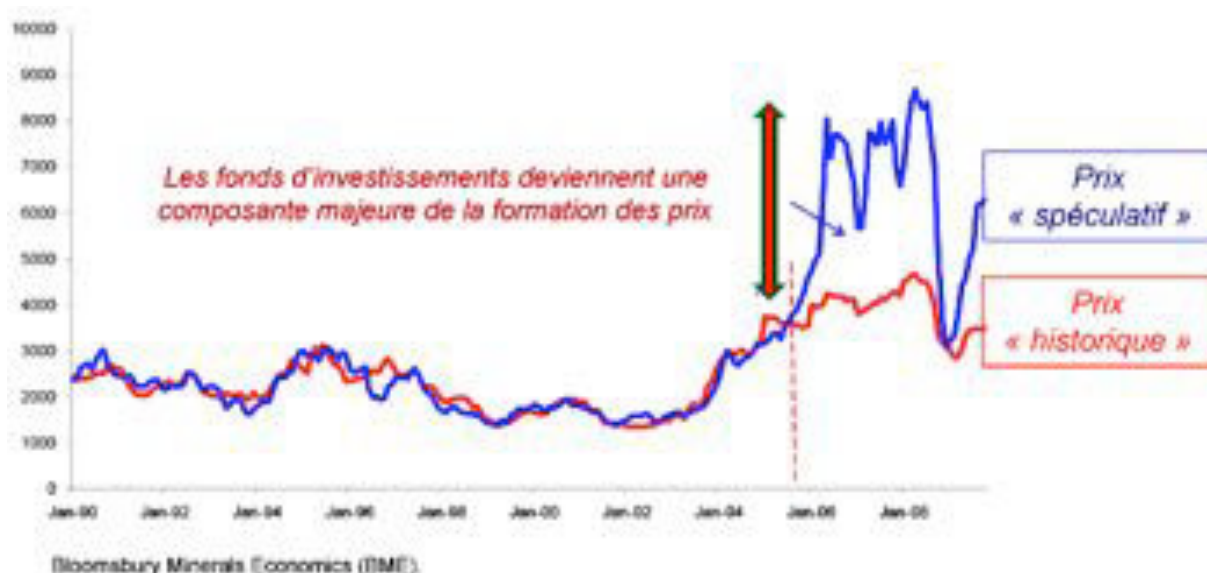
⁹ Le cuivre en faisait partie, mais pas l'aluminium. Dans *Optimal Commodity Stock-Piling Rules* par David M. G. Newbery and Joseph Stiglitz, Oxford Economic Papers, New Series, Vol. 34, No. 3 (Nov., 1982), pp. 403-427.

¹⁰ *The Simultaneous Determination of Spot and Futures Prices*, Jerome L. Stein, 1961, American Economic Review, vol. 51, n° 5, pp. 1012-1025.

¹¹ *Managing Metals Price Risk with the London Metal Exchange*, Edited by Phillip Crowson with Ray Sampson, 3rd Edition September 2005, The LME Limited.

cette révolution n'aurait pas été possible si, plus d'un siècle avant l'apparition des premiers *financial futures*, n'avaient été négociés des contrats à terme de matières premières ». Si bien que la conclusion va de soi, le LME a joué efficacement son rôle de marché avancé, il a placé son offensive sur l'aluminium à un moment où les circonstances lui étaient favorables et il a su s'adapter aux développements ultérieurs de la finance dans un processus long et difficile à anticiper. C'est une entreprise qui recherche le profit !

Un prix à la fois élevé et artificiel émerge



Source : Hocquard, BRGM

Les places de Chicago et de Londres furent des berceaux des marchés de matières premières¹. « Elles possèdent une gamme étendue de marchés dérivés commerciaux et déploient des efforts pour en créer de nouveaux. Les marchés dérivés ne sont devenus un rouage essentiel de toute place financière... qu'avec le développement des contrats adossés aux titres financiers à revenu fixe et aux indices boursiers² ». Les grandes lignes de partage sont tracées par Simon et al, et complètent ce qui a déjà été dit sur le sujet.

C'est à partir des contrats *forward* sur les bourses de commerce où étaient négociées les matières premières que se sont développés, beaucoup plus tard, « les marchés de contrats à terme réglementés, dénommés en anglais *futures markets* ». Ce sont des marchés financiers sur lesquels les intervenants traitent de produits qu'ils n'ont pas nécessairement et ne seront pas tenus d'avoir. En revanche, les achats et les ventes de produits physiques sur les bourses de commerce ont eu tendance à disparaître pour trois raisons : d'abord le développement des moyens de communication puis des systèmes d'information a permis aux acheteurs et aux vendeurs de disposer de l'information nécessaire sans se déplacer ; ensuite, « la concentration du commerce dans les mains de quelques sociétés réduit l'intérêt et l'utilité d'une confrontation des offreurs et des demandeurs » ; enfin et probablement surtout la publication par les bourses de commerce des « prix *forward* résultant de la négociation de contrats avec livraison différée relativement standardisés donne aux différentes parties intéressées l'information dont elles ont besoin pour effectuer leurs transactions de produits physiques en dehors des bourses de commerce ». Si bien que, dans le cas de l'aluminium, la situation

¹ Ce qui explique que la réaction à l'achat du LME en 2012 par the HKEx vienne de Chicago (voir plus haut).

² *Finance internationale*, op. cit. 4 citations entre guillemets.

logique apparaît aujourd'hui la suivante : ou bien les producteurs vendent, au comptant ou à terme, à des clients qu'ils connaissent, du métal qu'ils ont ou vont produire de telle sorte que le risque de défaut est à peu près nul et la vente s'effectue en direct au prix du LME plus les primes usuelles ; ou bien ils vendent à des traders et tout se passe comme s'ils vendaient au LME. Seule cette partie de leur production est susceptible d'alimenter le système des options et le foisonnement calculé précédemment pourrait être largement sous-estimé.

Une description récente de la situation se trouve dans le livre de Simon et al. Elle date de 2006 et traduit l'évolution des places suivant les produits qu'elles traitent. Les deux marchés de Chicago ont perdu de l'importance dans le domaine des matières premières, « mais il existe toujours des bourses importantes où ne sont négociées que des matières premières (New York Mercantile Exchange, London Metal Exchange, Tokyo Commodity Exchange, Shanghai Futures Exchange) ». L'aluminium est négocié à Londres, à Osaka, à Tokyo et à Shanghai, et les tableaux ci-dessous retracent l'évolution des marchés au cours des dernières années. Il faut noter que l'importance de la place de Londres pour l'aluminium est d'autant plus grande que le volume unitaire des contrats en Asie est beaucoup plus petit.

Les principaux marchés à terme d'aluminium

Matière première	Volume du contrat	Bourse de commerce	Volume des transactions en 2005	Montant de la position ouverte le 31/12/2005
Aluminium primaire	25 tonnes	LME	30 426 465	359 431
Aluminium secondaire	20 tonnes	LME	501 960	4 794
Aluminium secondaire Amérique du nord	20 tonnes	LME	1 001 412	17 045
Aluminium		Osaka Mercantile Exchange	459 244	4 496
Aluminium		Tokyo Commodity Exchange	219 694	6 186
Aluminium		Shanghai Futures Exchange	2 125 020	39 433

Unité : nombre de contrats ; **Source** : Futures Industry Association dans Simon et Lautier p. 400.

Volume des transactions sur les marchés à terme d'aluminium

Année	London Metal Exchange			Osaka Mercantile Exchange	Tokyo Commodity Exchange	Shanghai Futures Exchange
	Aluminium primaire	Aluminium secondaire	Al. second. US			
1988	723 280					
1989	3 036 892					
1990	4 355 720					
1992	9 256 740	2 394				
1995	14 060 243	210 787				
1998	20 091 765	498 839				
2000	25 443 980	643 659		1 695 737	543 015	455 206
2001	23 767 595	819 206		1 438 450	735 366	1 448 192
2002	22 330 491	895 726	173 127	1 285 419	513 892	2 355 796
2003	26 953 102	703 356	833 022	963 464	329 565	2 155 498
2004	29 232 921	429 459	1 192 100	1 101 198	321 131	6 829 499
2005	30 426 465	501 960	1 001 412	459 244	219 694	2 125 020

Unité : nombre de contrats ; **Source** : Futures Industry Association (FIA) dans Simon et Lautier p. 401.

Depuis, le rapport annuel 2013 de la FIA fait état d'une faible reprise d'activité après la forte chute de 2012. Les principales bourses d'échanges de métaux sont Shanghai, Bombay, New York et Londres. Dans les marchés des métaux, *Futures et options*, l'aluminium conserve son rang, au LME, où les contrats de 25 tonnes « High Grade Primary Aluminum Futures », sont passés de 59 123 583 en 2012 à 63 767 903 en 2013, soit une croissance de 7,9 %.

ii. Finance et marché des changes

« Pour se développer, une place financière doit bénéficier de la liberté des changes la plus large possible¹ », sur ce plan tout a été obtenu et comme « Londres occupe une position dominante sur le marché des changes » c'est sans doute en rapport avec son haut niveau d'activité d'ensemble. Les situations relatives sont présentées par Simon et al. dans l'introduction au marché des changes : « Le développement du marché des changes est considérable. Il est accéléré par les progrès technologiques... Pour l'essentiel, ce développement est le fait des produits dérivés du marché interbancaire. Beaucoup moins importantes, les transactions d'instruments négociés sur les marchés dotés d'une chambre de compensation ne peuvent plus, malgré tout, être passées sous silence ». Les ordres de grandeur sont connus : aux 2 000 milliards \$ du LME sur toute l'année 2000 correspondent les 1 200 milliards \$ quotidiens échangés en moyenne en avril 2001² sur les marchés des changes interbancaires de l'ensemble des places financières ! Clairement, en 2001, la finance internationale ne se préoccupe plus guère du LME. Toutefois, si les chiffres sont rapportés à la part de la

¹ Cela conforte le pronostic de convertibilité à terme du yuan pour développer les Bourses chinoises.

² Et 1 100 milliards \$ à Londres en avril 2007, loin devant New York (530 milliards) et Paris (95 milliards).

spéculation, évaluée par les mêmes auteurs à 10-15 % du montant ci-dessus, il apparaît que les montants mis en œuvre par la spéculation en 1992¹ semblent minuscules de nos jours et qu'en revanche les sommes actuellement engagées dans le système assurent le succès à toute anticipation rationnelle. Quelles étapes ont marqué cette évolution ?

Lors des Accords de Bretton-Woods — signés en 1944 par les 44 nations alliées — la mise en place de l'étalon de change-or a fait du système des changes un système de changes fixes et des États-Unis les banquiers du monde. Ils finançaient leur déficit grâce aux pays créanciers qui plaçaient leurs dollars à New York en Bons du Trésor. Ils s'engagèrent aussi à réduire le déficit de leur balance commerciale... En fait, l'accumulation² de balances dollars très supérieures aux réserves d'or a conduit à l'inconvertibilité du dollar que le président Nixon a annoncée en 1971. En réaction, presque tous les pays décidèrent de laisser flotter leurs monnaies, le régime de changes flottants commençait. Fin 1971, l'adoption des Accords du Smithsonian Institute a modifié la grille de parités et les marges de fluctuation. Les Accords de la Jamaïque, en 1976, ont entériné le flottement des monnaies et annoncé la réforme du Système Monétaire International, alors que le premier choc pétrolier avait déjà généré un flux considérable de pétrodollars vers New York et conforté la position monétaire américaine. Entre 1978 et 1992, le nombre de pays membres du FMI a beaucoup augmenté (de 138 à 178) et leurs régimes de change ont évolué de telle sorte qu'en 1992 ils se répartissaient en « au moins quatre grands types de régimes de change différents³ ». Dans le monde de 1978, la finance n'apparaissait pas encore en tant que discipline autonome et dans la littérature universitaire l'Économie internationale dominait. Elle se trouva placée en pleine lumière pour la première fois à l'occasion de la cessation de paiement du Mexique en août 1982. Et pourtant des faits plus anciens, relatifs aux changes et au Système Monétaire International, et aussi des études spécialisées indiquaient depuis longtemps l'origine et la nature des difficultés à venir.

Ainsi, Bourguinat met l'accent sur l'analyse des phénomènes fondamentaux effectuée par les grands économistes de l'époque (Triffin, Friedman, Grubel, Denizet, Krugman, Dornbusch, Frankel et l'auteur lui-même). Il prouve la quasi-impossibilité de construire un système monétaire équitable et durable alors que les États-Unis sont forts de leur puissance militaire⁴ et économique, et que d'autres monnaies, £, DM et Yen, commencent à peser lourd. Bien sûr, il ne répond pas exactement à la question à l'étude, mais il fournit des arguments qui seront repris un peu plus loin, car en cette même année 1992 un « exploit » a marqué les esprits ; il mérite d'être rappelé. Le 16 septembre 1992, George Soros estimant la Banque d'Angleterre en position de faiblesse sur sa monnaie⁵, a vendu à découvert 10 milliards de £, spéculant à outrance à la baisse. Il a forcé la Banque d'Angleterre à sortir sa devise du Système Monétaire Européen (SME). En quelques jours la valeur de la livre a chuté de plus de 10 % et Soros a gagné son premier milliard. Bien sûr, il s'agit d'une anecdote non d'une démonstration, mais elle a valu au financier une notoriété mondiale et il a

¹ Voir plus loin la spéculation contre le sterling.

² Bourguinat, *op. cit.*, rappelle (p. 489 & sq.) que Robert Triffin — dès 1960 — a mis l'accent sur le caractère « fondamentalement pervers » d'un système qui donnait le privilège, aux États-Unis, d'émettre de la monnaie sans solder les déficits de sa balance des paiements, devenus importants dès la fin des années cinquante ; il annonçait « ... une explosion des liquidités et une accélération de l'inflation mondiale si le déficit américain devait continuer... ». Jacques Rueff — en 1965 et 1971 — « devait encore prolonger l'analyse de Triffin en faisant apparaître le dédoublement des bases du crédit résultant de l'organisation des paiements ».

³ Bourguinat, pp. 479-480, et tableau de synthèse source FMI.

⁴ Mais affaiblis par le coût des Guerres de Corée et du Vietnam.

⁵ Le système de changes flottant entre deux bornes, induisait deux contraintes sévères pour la Grande-Bretagne, d'abord une valeur presque fixe de la livre par rapport aux autres monnaies européennes, et ensuite un niveau des taux d'intérêt aligné de fait sur celui de la Bundesbank qui ne convenait pas à ses besoins. C'est une illustration de l'incompatibilité des contraintes exprimée par le « Triangle de Mundell ».

certainement fait des émules. La spéculation avait trouvé un champion, quatorze ans tout de même après 1978 !

Ce même livre de finance internationale de 1992, a été réédité en 1995. Les choses avaient, en trois ans, beaucoup changé et il est écrit dans le nouvel avant-propos : « ... tout confirme en effet que la globalisation financière chaque jour s'approfondit... ». De plus, il est vraisemblable que la pratique, stimulée par la vive compétition entre professionnels soucieux de performance, ait été en avance sur les enseignements universitaires et donc que les méthodes employées sur les marchés aient été déjà très sophistiquées. Elles se sont encore perfectionnées depuis et rien ne dit que les producteurs et leurs clients n'en sont pas devenus familiers¹. Les généralités ci-dessous ont pour seul but de dater les étapes principales de l'évolution. Leur source est l'édition de 1995, et toutes les citations sont entre guillemets.

La première clé de lecture se trouve au début de l'introduction : « L'ampleur des mouvements de recyclage des capitaux qui sont intervenus au cours des années soixante-dix à l'occasion des deux chocs pétroliers et, presque simultanément, le passage à des changes flottants marqués par une forte instabilité à moyen terme et par une impressionnante volatilité des cours au jour le jour ont été les deux premières impulsions qui sont venues donner aux facteurs financiers une autonomie inconnue jusqu'alors ». Et un peu plus loin : « [La finance internationale] est faite aujourd'hui du réseau de plus en plus dense d'opérations d'achat-vente ou de prêt-emprunt, de couverture et de spéculation, qui transcendent les frontières nationales et au-dessus desquelles s'organise d'emblée un véritable méga-marché financier mondial ». Font partie de ce marché les « fonds prêtables à toutes les échéances, depuis les capitaux au jour le jour (*overnight*) jusqu'aux investissements de portefeuille et même aux investissements directs étrangers ». En parallèle lointain, se situe une forte accélération — déjà signalée — des opérations de fusion-acquisition ou de prise de contrôle, par exemple l'achat d'American Can par Pechiney, opération financière sophistiquée qui se termina par une coûteuse retraite. À la fin des années quatre-vingts, « l'investissement croît trois à quatre fois plus vite que le commerce international ».

Dans les années 1995, la finance internationale subit une double transformation dont certains effets se font sentir aujourd'hui au niveau des États : 1) les espaces financiers nationaux deviennent interdépendants parce qu'ils communiquent plus directement entre eux ; « ... l'interconnexion des bourses de valeur, la solidarité des taux d'intérêt², la prolifération des nouveaux instruments financiers... permettent de passer d'une monnaie à une autre au gré des opérateurs et de leurs anticipations » ; et enfin, ce qui est toujours vrai, le marché mondial devrait être analysé « comme un réseau ayant ses lois propres, ses prix directeurs, ses déterminants, ses acteurs » ; 2) « les conditions de fonctionnement de ce marché de la finance globale... rétroagissent sur les volumes et les prix auxquels les États-nations peuvent se financer ». Cette description, postérieure à l'introduction de l'aluminium au LME, mais en avance sur le problème actuel de financement de la dette des États, met en évidence la nature des changements et l'irrésistible force des mouvements en cours. Il semble donc possible de voir aussi dans ces transformations l'extension de l'irruption de la finance dans le monde de l'aluminium où elle n'a sans doute fait que passer.

« Le fait nouveau contemporain majeur tient à l'existence d'un espace financier mondial ». Son objet, multiple, « manifeste une mobilité naturelle sans commune mesure avec celle des

¹ Marquet et Esquerre exprimaient des doutes sur les compétences des utilisateurs moyens du LME. Ici, l'hypothèse concerne les plus importants producteurs mondiaux.

² Aujourd'hui il n'en va plus de même, la différenciation est à l'œuvre pour faire payer davantage les pauvres.

marchandises... Les coûts de transaction qui accompagnent les déplacements des capitaux, sont de plus en plus réduits au fur et à mesure que progressent les techniques de transmission de l'information... En réseau, les bourses, les marchés des changes, les marchés à terme d'instruments financiers fonctionnent pratiquement en continu... et font souvent l'objet de cotations automatiques simultanées¹ ». Dans cet espace, transaction et information s'effectuent en instantané, voire en boucle. « Les produits négociés [option, swap croisé ou contrat à terme en devises] se caractérisent... par une standardisation toujours plus poussée » qui facilite les opérations. Cette standardisation reproduit avec le même objectif de facilité et de gain de temps, celle que l'aluminium a connue au LME sous la forme d'un contrat commercial, et, plus généralement, les techniques du LME depuis sa création.

La condition nécessaire du produit se situe dans le capital, déjà traité au § B i de la présente partie. À l'opposé du capital industriel très peu mobile, rarement flexible et sujet à l'usure, animé qui plus est par des hommes de moins en moins adaptables et mobiles, le capital financier possède les caractéristiques idéales pour l'abstraction et la modélisation mathématique. Exprimé en devises, il se traite comme des nombres algébriques, sur lesquels toutes les opérations sont possibles, instantanément, quel que soit le nombre de chiffres. Il en résulte « une circulation de plus en plus aisée de l'épargne mondiale² et... une capacité de mobilisation en tout point du marché toujours plus poussée (on pense ici aux 3 400 milliards \$ d'opérations internationales de financement des banques recensés par la BRI à la fin de 1989 ou aux 1 000 milliards \$ traités quotidiennement sur le marché des changes) ». L'intégration du marché mondial résulte d'une communication incessante « entre les marchés monétaires et financiers d'une part et les marchés des changes, des options ou des instruments financiers à terme d'autre part ». Et la conséquence naturelle est que « l'investisseur arbitre systématiquement entre ces différents compartiments », il recherche le « montage qui procure le meilleur rapport coût-rendement ». Alors, « l'opérateur qui investit (ou emprunte)... passe systématiquement si nécessaire d'une devise à une autre... d'un procédé de couverture à un autre... et donc, d'un marché à un autre ». Élément du marché financier global, le LME est un lieu de transactions parmi d'autres. Il devient ainsi compréhensible que le marché de l'aluminium (déjà une quinzaine de millions de tonnes produites dans le monde en 1978) ait pu susciter un certain intérêt. D'ailleurs, il existe un exemple plus récent que celui de l'aluminium : le LME a commencé en 2008 à coter l'acier³, dans un contexte de crise peu favorable.

Dans ce domaine, d'autres repères historiques existent : en 1974, la suppression — destinée à faciliter le recyclage des pétrodollars — du *Interest Equalization Tax* institué aux USA en 1963 ; la suppression du contrôle des changes par la Grande-Bretagne en 1979 ; l'ouverture partielle du marché financier japonais de 1983-1984 et enfin la libéralisation des mouvements de capitaux prévue par l'Europe de l'Acte Unique. « Il s'agit de faire toujours davantage afin de permettre que les excès d'épargne formés en quelque endroit dans le monde, puissent s'investir en toute autre place où il y aurait pénurie ». Mobilité et substituabilité parfaites des outils du capital « participent toutes deux d'une même réalité : la tendance grandissante des opérateurs à optimiser le rendement de leurs opérations, en changeant soit de lieu de placement, soit de devises... en fonction de leurs anticipations sur les taux et les cours. En un mot, le marché financier mondial est de plus en plus

¹ Le NADASQ, National Dealers Automatic Share Quotation, traite en temps réel un grand nombre de titres à Londres et à New York.

² C'était plusieurs années avant le Quantitative Easing de la Banque Centrale américaine !

³ *Gestion du risque-prix de l'acier sur le plan international : Inventorier et qualifier les pratiques de gestion du risque-prix sur le marché mondial de l'acier*, P2011 Mutations économiques ME_11, projet à l'ECP, 2009.

traité comme un tout dont il convient... d'exploiter les opportunités, sur la base d'un calcul qui, d'emblée, embrasse l'ensemble des possibilités de placement¹ ».

Au total, les ordres de grandeur expriment l'ampleur considérable des changements. « Il existe, sur ce marché (des changes) une vaste panoplie d'opérations qui non seulement permettent les conversions mais encore autorisent la couverture des risques y afférents ». La Bourse de Tokyo, par exemple, « a vu son chiffre d'affaires multiplié par 2,3 entre 1986 et 1989, et traitait, au début de 1989, 115 milliards \$ par jour » au moment où le coût de construction d'une électrolyse moderne de 240 000 tonnes/an, comme celle de Bécancour (Canada) était de l'ordre d'un milliard de Can\$. Plus encore, « le volume des opérations traitées sur les seules trois plus grandes places (Londres, New York et Tokyo) paraît avoir atteint un niveau quotidien supérieur à plus de 400 milliards \$ en avril 1989 » auxquels il faudrait ajouter le chiffre non négligeable des autres places comme Zurich, Francfort, Singapour, Hong Kong, etc. « Ces chiffres représentaient non seulement plus de trente fois le montant du commerce extérieur des biens et des services mais encore un multiple impressionnant du volume des capitaux à long terme (59 fois pour la RFA en 1985) ». Pour en terminer avec les chiffres, il reste à montrer que les ratios sont du même ordre de grandeur que ceux du LME pour l'aluminium. En effet : « tout se passe, en matière de change, comme si toute opération *primaire*² et autonome (achat-vente de marchandises, investissement en capitaux, etc.) donnait lieu en réalité à toute une *chaîne* d'opérations *induites*, pouvant parfois aller jusqu'à atteindre et parfois dépasser la dizaine ».

Comme il fallait s'y attendre, il reste difficile de conclure à coup sûr. L'introduction de l'aluminium au LME en 1978 semble logique au plan financier en termes d'assurance contre le risque, bien que ce risque soit né du mode de cotation et que la chambre de compensation de même que les options soient arrivées plus tard. L'énorme vague financière des années 1980 a tout emporté pour fournir le plus grand nombre d'opportunités aux placements les plus rémunérateurs. Il semble vain d'espérer revenir au système antérieur. Cependant la généralisation de l'appréciation à court terme du retour sur investissement conduira fatalement à des corrections importantes de situations qui semblaient naguère encore solides. Semble en témoigner l'actuelle tentative de désengagement de Rio Tinto Alcan de l'aluminium³ parce que le taux de profit de ses activités minières est très supérieur, sans parler des incertitudes liées au coût de la protection de l'environnement et des incertitudes sur la situation en Chine.

Pour terminer cette longue partie économique, les effets de la crise de 2008 et les perspectives d'avenir des produits et des marchés vont être évoqués.

¹ À partir de 2012, il semblerait qu'Alcoa, s'appuyant sur sa taille et sa renommée, applique les mêmes principes au capital investi dans la production d'aluminium.

² En italique dans le texte.

³ Hors Canada où la rente électrique constitue un atout sans pareil.

4.

Marchés et perspectives industrielles

Après le changement des pratiques du marché et de son corollaire financier viennent, dans la logique de ce travail, les ultimes conséquences sur les activités industrielles et commerciales, dans une réalité dont les géologues-économistes se soucient depuis des années. Pour eux, les défis actuels ne trouveront leur solution que dans l'innovation technologique. Cette affirmation renvoie à la question de l'épuisement des matières premières minérales et il faut l'accepter comme un préalable. Sur ce sujet, le pétrole a été la matière première la plus importante pour la croissance au XX^e siècle et voici ce qu'en dit James Hamilton¹ : « Je montre qu'un trait majeur de la croissance de la production a été l'exploitation de nouvelles zones géographiques, bien plus que l'amélioration de la technologie appliquée aux sources existantes, et je suggère que la fin de ce système pourrait être proche. » Il établit aussi une liste d'événements relatifs au pétrole qui ont marqué la deuxième moitié du XX^e siècle et qui pourraient coïncider avec des accidents de la production ou du prix de l'aluminium².

Cette partie B, consacrée au parallèle entre la théorie économique et l'industrie de l'aluminium, s'achève donc sur les bases mêmes de son introduction, dans une incertitude complète. Jevons s'est trompé à propos du charbon anglais. Hocquard synthétise le progrès en écrivant : « Plus on utilise un matériau de manière efficiente et plus forte sera la demande » alors que l'OMC développe davantage : « toute amélioration de l'efficacité avec laquelle une ressource est employée entraîne une augmentation, et non une diminution, de la consommation de cette ressource, en raison de la baisse des prix, ce qui conduit en définitive à son épuisement ». Ces deux formulations s'appliquent parfaitement à l'électricité et à ses sources, plus qu'à l'aluminium, en raison des quantités disponibles. Hotelling³, dans un article célèbre, exprime un point de vue moderne et a anticipé l'évolution du prix du pétrole⁴ dont la décroissance s'est arrêtée dans les années 1970 pour devenir très fluctuante quand il a écrit : « que des spéculateurs rationnels, anticipant la pénurie future d'une ressource non renouvelable, conserveront ou stockeront cette ressource en attendant une hausse des prix. La hausse des prix provoquée par la décision des spéculateurs de constituer des réserves réduira la consommation et encouragera la recherche de substituts moins chers ». Enfin, William Nordhaus⁵ ne croit pas aux révisions des projections du Club de Rome et engage sa parole pour une cinquantaine d'années. Il justifie son ardeur par la durée et l'ampleur du progrès technique : « au cours des deux derniers siècles, la technologie a été le vainqueur incontestable dans la course contre l'épuisement des ressources et les rendements décroissants ». Pour l'instant, les avancées de la géologie et de la métallurgie ne lui ont pas donné tort.

¹ *Oil Prices, Exhaustible Resources, and Economic Growth* James D. Hamilton, Rev. Oct. 2012, Prepared for Handbook of Energy and Climate Change. http://dss.ucsd.edu/~jhamilton/handbook_climate.pdf

² Voir la partie économétrique.

³ *The Economics of Exhaustible Resources*, Harold Hotelling, Journal of Political Economy, 39, 2, Apr. 1931.

⁴ Cf.: *Price of oil in 2010 dollars per barrel, 1860-2010*. Data source: BP, Statistical Review of World Energy: 2010; et Historical Statistics of the United States.

⁵ *An Optimal Transition Path for Controlling Greenhouse Gases*, William Nordhaus, Science, Vol. 258, 20 Nov. 1992.

Des publications récentes expriment une vision partielle mais optimiste de la réalité, peut-être insuffisamment répandue^{1, 2}. Cependant, en dehors d'un cadre de secteur ou de filière, leur portée paraît limitée, car à la marge en terme d'utilité. En fait, deux voies d'analyse se présentent, la première, celle de Marquet est plus ancienne, la deuxième est récente.

Pour Marquet, dans le domaine minéral, une filière s'étend de la mine à l'utilisateur final. Elle exige une cohérence en matière de prix et une organisation qui intègre trois fonctions : 1) Une activité technico-commerciale qui traite de l'hétérogénéité du minerai et se préoccupe des répercussions en problèmes de qualité — notamment l'effet des impuretés — chez les différents utilisateurs ; 2) Une gestion cohérente des prix à chaque stade du procédé, amont ou aval, qui passe par un point central obligé — le prix du lingot d'aluminium — donnée exogène et arbitre général entre l'offre et la demande ; 3) Enfin, une gestion cohérente des quantités, aux différents stades, pour orienter les actions techniques et commerciales, impulser les corrections et diluer ou externaliser les risques par le « hedging ». Aujourd'hui, plus grave encore qu'hier, aucune entité n'est en charge de ces trois fonctions.

Pour Hocquard³, « les fondamentaux économiques classiques ne suffisent plus pour expliquer les cours des matières premières ». Aux variables traditionnelles de la demande et des stocks, s'ajoutent les résultats d'une « nouvelle normalité » qui comprend « la Chine *versus the Rest of the World*, la financiarisation (gestion indicielle, ETF, ETP⁴), les gisements de faible qualité, le protectionnisme et les contraintes sociales, la baisse du dollar et l'inflation, les nouvelles demandes (énergies vertes, high-tech, allègements, catalyse). » Il en résulte une complexité croissante et « les prix reflètent de plus en plus une confrontation entre fondamentaux physiques et financiers. Le monde minier va se développer à partir d'une matrice qui sera à la fois basée sur des ressources de plus en plus politisées et des cours de plus en plus financiarisés⁵ ». En Chine, un « Super cycle⁶ », bien plus important que celui des trente Glorieuses (1945-1974) tire une croissance mondiale dont la dissymétrie s'est inversée. Son centre de gravité a basculé vers l'Asie, changeant la pondération de la moyenne. Ainsi, la croissance en 2011 a été pour les pays de l'OCDE de 2,3 %, pour le Monde de 4,1 % et dans les Pays émergents de 6 à 10 %.

Enfin et au cœur du sujet, les grands producteurs comme Alcoa et Rio Tinto Alcan gardent, depuis longtemps, le secret absolu⁷ sur tout, sauf sur les tonnes produites et leur communication externe. Les seules certitudes sont que le prix du LME a supplanté tous les prix producteurs⁸ comme

¹ *La technologie au cœur du développement durable : mythe ou réalité ?* Diemer Arnaud déc. 2011.

² *La spécificité des Métaux Rares* - également appelés métaux mineurs (Minor Metals), métaux high-tech, métaux verts, petits métaux, métaux exotiques, métaux technologiques, métaux stratégiques, « vitamines »... La métallurgie devient une science prédictive, grâce à la conception numérique de matériaux virtuels *ab initio* qui débouche sur des matériaux « sur mesure ». Il en résulte des alliages complexes, incorporant de nouveaux éléments métalliques jusqu'ici peu utilisés. La simulation de la dynamique des microstructures permet d'en prédire le comportement, sous des sollicitations diverses. Hocquard, Québec Exploration 2011.

³ *Matières premières minérales : nouveaux enjeux et nouvelles contraintes*, UFG *Quel avenir pour les substances minérales ? 5 décembre 2011* Hocquard, BRGM.

⁴ Fonds indiciels cotés : ETF (*exchange traded funds*) et ETP (*exchange traded products*).

⁵ D'après Hocquard, la financiarisation des commodités est due à trois causes : la forte croissance des pays dits BRIC, les faibles taux d'intérêt en relation avec des liquidités abondantes et le développement des fonds indiciels.

⁶ « Un super cycle est une période prolongée de hausse des prix réels des matières premières, tirée par l'urbanisation et l'industrialisation d'une économie majeure : un stade de consommation intensive en matières premières », Hocquard, *op. cit.*

⁷ Déjà, en 1937, Donald H Wallace exprimait sa déception de ne pas avoir obtenu davantage d'informations de leur part. Cf. *Market Control in the Aluminum Industry*, Harvard University Press.

⁸ Les chiffres sont disponibles, notamment via USGS, et seront utilisés lors de la modélisation.

référence, et que les marchés américains (NYMEX ou COMEX), chinois comme Shanghai (SMM), et japonais comme Osaka, cotent l'aluminium à des prix différents. Les informations relatives aux tonnages physiques traités annuellement ont fait l'objet d'une analyse et des remarques sur l'évolution récente de la structure des entreprises ont été rapportées au fil de l'eau. À ce stade, il semble donc que seul le domaine de la finance recèle des facteurs nouveaux de compréhension.

La situation des producteurs d'aluminium et de leur marché a été décrite. Dans leurs tentatives pour suivre l'exemple initial d'Alcoa d'intégration amont et aval, les producteurs ont plus ou moins réussi. La structure capitaliste était lourde mais efficiente en termes de développement de marché. Les lois anti-trust ont contraint au partage du marché américain et induit des investissements directs à l'étranger qui ont momentanément conforté la position des leaders sous couvert de pluralité. Un double coup leur a été fatal, la vente de leur technologie et de leur savoir-faire à des producteurs non intégrés et surtout la fin de l'électricité bon marché, sauf exception. Les profits ont chuté ou parfois disparu, le coût de la structure est devenu trop lourd par rapport aux nouveaux standards. La course aux profits a rendu insupportable l'existence au sein d'une même entreprise d'unités aux coûts de production trop différents. Il a fallu fermer les usines peu, voire non rentables, et les remplacer par des usines « délocalisées », au Canada et dans les pays du Golfe. Apparemment hors de toute vision d'ensemble, la production augmente très vite depuis quinze ans en Chine.

Jacquet, déjà cité, formule une intéressante synthèse des difficultés du temps présent et des défis associés. Le premier défi résulte de la complexité. Parce que les risques financiers sont décomposés en éléments unitaires, répartis sur un grand nombre d'agents, la mesure du risque pris à petit niveau apparaît comme un exploit. Le second défi est associé au choix de l'organisation, entre une centralisation favorable à la collecte et à la circulation de l'information, et une décentralisation essentielle à la gestion de la complexité. Le troisième est relatif au niveau géographique de la réglementation et de la supervision : le territoire national n'apparaît plus comme l'horizon approprié, mais les organismes internationaux génèrent des comportements de refus collectif.

Face à l'accroissement de la complexité et de l'interdépendance, est-il possible d'entreprendre une action qui apparaisse comme une coordination nécessaire et utile, et non comme une barrière à l'initiative individuelle¹ ? Dans le cas de l'industrie de l'aluminium, cela semble difficile en raison de la nature concurrentielle de l'activité. Cependant, l'enjeu économique de l'innovation récente et pas seulement à venir, et son lien avec le bien-être social, dans une situation où toutes les inefficacités doivent être pourchassées, pourraient justifier une action de cette nature au sein de l'Union Européenne. L'enjeu n'est pas seulement technique et monétaire, il se situe aussi dans un cadre d'économies d'énergie, par une optimisation du partage entre la première et la seconde fusion, et de protection de l'environnement, par la limitation des gaz à effet de serre.

¹ Une solution est déjà mise en œuvre dans une « data base » de grande taille pour gérer les multiples financements de la recherche aux USA (Cf. Professeur Julia Lane, Institut américain pour la recherche). Elle prouve que la complexité peut être traitée de manière coopérative et productive et non le contraire. Source : Institut Cournot, Paris et <https://www.starmetrics.nih.gov/Star/About>

5.

Conclusion de la 2^e partie

Pour spécifier l'économie du siècle dernier, les concepts importants et leurs évolutions de Marshall à Krugman ont été présentés. Puis l'entreprise et le marché ont été décrits à partir de textes de Galbraith et de Caves. Enfin, l'apport du LME, devenu en 1979 un partenaire incontournable des entreprises et du marché, a été évalué, avec la montée en puissance de la finance internationale. Dans ces secteurs, la concurrence est vive.

Les caractéristiques de l'industrie de l'aluminium ont été décrites, au plus près de la ligne directrice d'ensemble. Depuis une quarantaine d'années, le monde de la production s'est tellement étendu qu'il a placé la description exhaustive hors de portée. Les restrictions géographiques indispensables ont été justifiées, en particulier la large place accordée à l'Amérique du Nord. Là-bas, ont été mesurées les limites éprouvées en termes de production et de consommation locales. Les changements observés depuis les années 1980 ont mis en évidence une certaine coïncidence de date entre l'insuffisance de la production d'électricité, le ralentissement de la croissance de la production primaire et l'internationalisation de la production et des échanges.

La production de métal primaire demeure sous la double contrainte d'une consommation importante d'électricité et de l'existence d'un sous-produit encombrant, le dioxyde de carbone. La conjonction des contraintes est susceptible d'avoir un effet déstabilisant dans les pays qui prendront la protection de l'environnement au sérieux.

L'aluminium secondaire a connu une croissance retardée mais prolongée, par rapport au métal primaire. Les principales difficultés techniques de qualité du produit qui ont freiné ses débuts ont été surmontées et une grosse organisation centralisée de traitement a été mise en place dans le Tennessee. Les barrières à son développement sur une grande échelle semblent maintenant levées. Le mouvement mondial est engagé, comme en témoigne la longue liste des établissements qui s'y consacrent. Pour ne pas être chassés du marché des produits qui en dépendent, les anciens pays producteurs, surtout les Européens, auraient avantage à joindre leurs efforts.

3^e partie

Économétrie et prospective

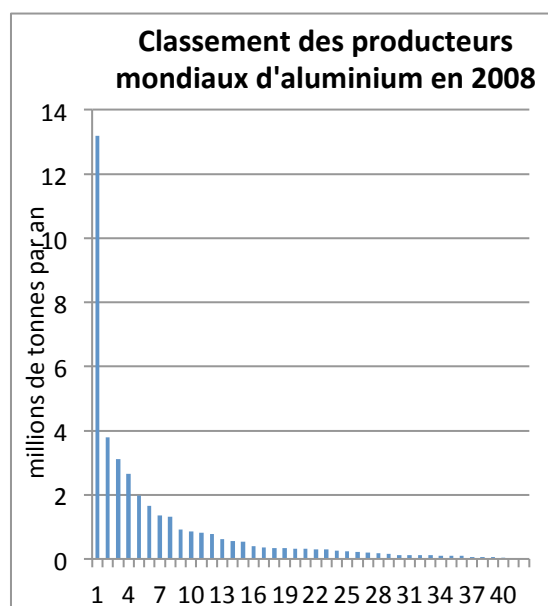
1.

Étude économétrique

L'analyse numérique des données vise à identifier des relations entre variables, voire des causalités qui apparaissent inexistantes ou incertaines au premier regard sur des graphiques à plusieurs variables. Les économistes ont développé des méthodes mathématiques adaptées à leurs théories qu'ils regroupent sous le nom d'économétrie. Suivant la définition de Ragnar Frisch (Prix Nobel 1969), « l'économétrie est l'unification de la statistique, de la théorie économique et des mathématiques pour comprendre les relations quantitatives de la vie économique¹ ». Par manque de données plus fréquentes, il faut travailler sur des moyennes annuelles peu significatives de variables très volatiles. Cela prive d'informations² intéressantes ; le sujet a déjà été abordé précédemment.

I. Introduction et justification des choix

L'aluminium a connu au XX^e siècle une croissance qui fait honneur à ses découvreurs, Hall et Héroult. Leur rêve d'en faire un métal de premier plan dans le monde entier, leurs successeurs l'ont réalisé ! Pendant longtemps, le monde de l'aluminium a été limité aux pays occidentaux et aux belligérants de la Seconde Guerre. Ils n'étaient encore que 24 pays producteurs en 1961 et il a fallu attendre les années 1980, si fertiles en changements, pour que les autres pays du monde commencent à s'y intéresser. Ils étaient 40 en 2004 et 42 fin 2008³ pour une production annuelle de 39,7 millions de tonnes. Il est vrai que la production des dix derniers du classement par les tonnes est relativement mince sur l'histogramme des productions ci-contre. Les positions relatives ont beaucoup changé puisque les 10 premiers sont aujourd'hui la Chine, loin devant, puis la Russie, le Canada, les États-Unis, l'Australie, le Brésil, la Norvège, l'Inde, les Émirats Arabes Unis et le Bahreïn. Seuls les huit premiers ont une production annuelle supérieure à un millions de tonnes.



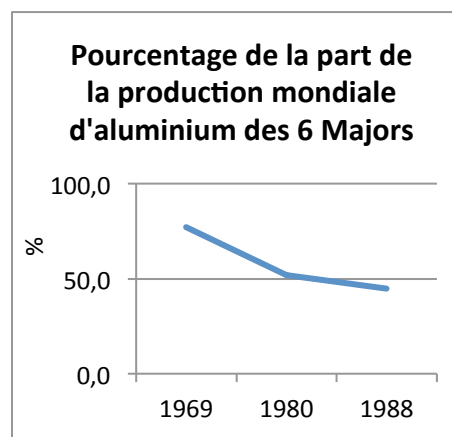
L'industrie de l'aluminium a changé d'échelle en passant à une production mondialisée, restreinte toutefois aux pays industriellement les plus avancés parce que produire de l'aluminium n'est pas facile et que les prérequis sont exigeants, notamment aux niveaux de la technique et du capital nécessaire. Jusqu'à la fin des années 1960 les situations étaient individuelles, celles des « six majors » qui produisaient encore près de 80 % de la production mondiale. Les échanges entre les dirigeants et les spécialistes avaient été assez fructueux pour qu'existe une certaine homogénéité entre les

¹ *Dictionnaire de l'économie*, Pierre Bezbak et Sophie Gherardi, Larousse, 2008.

² Cependant, un essai portant sur 407 valeurs mensuelles du prix du pétrole et du prix de l'aluminium, de 1980 à 2013, n'a pas montré de corrélation significative.

³ Source CRDT-UQAC, Québec, *op. cit.*

entreprises, en matière de management, de procédé et d'équipements. Seule la taille des usines différait nettement, car les Américains avaient porté la capacité minimale à 100 000 tonnes/an avant la guerre. Les Européens ont gardé beaucoup plus longtemps leurs petites usines, ils ne les ont arrêtées que dans les années 1980. Entre 1969 et 1988, la part des Majors a baissé à moins de 50 % — voir graphique ci-dessus¹. À partir de ce moment, la production a été analysée par pays. Un peu auparavant, au début des années 1970, l'Administration américaine de protection de l'environnement (EPA) a exigé la mise en place de systèmes d'épuration des gaz d'électrolyse. Les recherches et les investissements associés ont été importants. Ils ont stimulé l'évolution technique vers la mécanisation puis l'automatisation des tâches et l'emploi du traitement numérique des données. La maîtrise des champs magnétiques induits par la forte intensité du courant d'électrolyse, a ensuite permis d'augmenter cette intensité. Les nouvelles générations de cuves pouvaient alors se succéder à un rythme rapide, sans incidence déterminante sur les coûts de production. La technique était bien maîtrisée, elle s'est étendue dans le monde par des transferts de technologie et des adaptations locales.



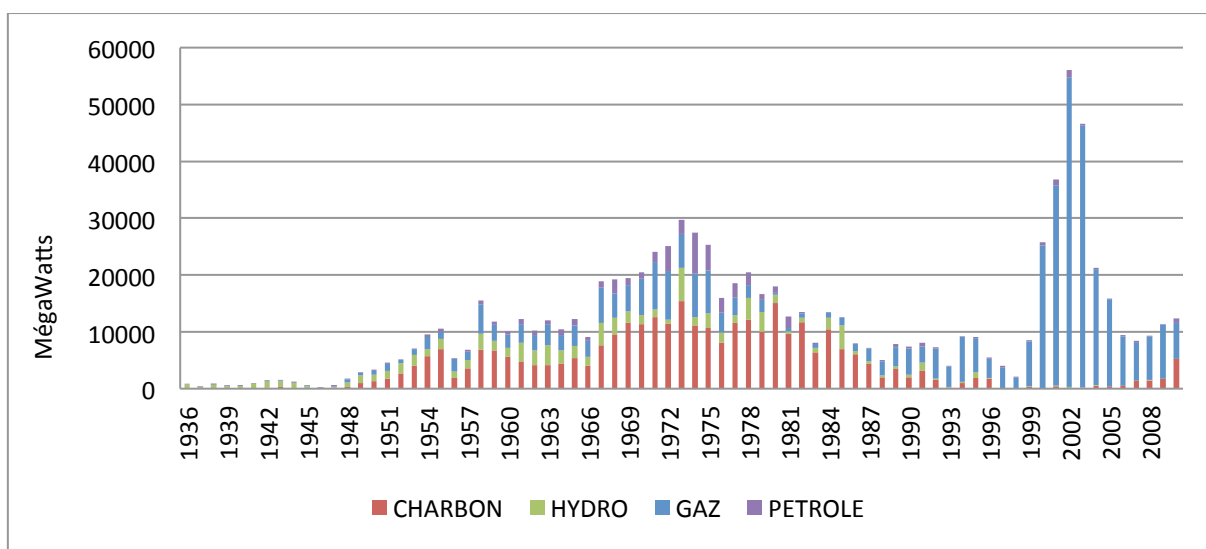
Une grande rupture s'est donc produite dans les années 1980. Il n'existait plus aucune commune mesure entre la nouvelle technologie et celle des années 1960, et avant. Les échelles, individuelle — la cuve — et collective — l'usine — avaient complètement changé. Ce fut une des périodes de rendements d'échelle fortement croissants. La première avait eu lieu lors du passage du stade de laboratoire au stade de l'usine alimentée par l'hydroélectricité, à la fin du XIX^e siècle, et la transition a peut-être duré dix ans. Les années 1970 et les suivantes ont aussi connu des changements majeurs d'une autre nature : les chocs pétroliers. Outre leurs effets sur l'économie et la finance mondiales, ils ont eu une influence immédiate et forte sur les prix des matières premières de la production d'aluminium, l'électricité et l'alumine — dont la production consomme du pétrole ou du gaz. En conséquence, il est impossible de comparer l'avant et l'après, en supposant toutes choses égales par ailleurs. L'échelle du temps doit être séquencée. Les indications déjà collectées pour l'électricité y serviront, d'autres aussi. Une expression de l'époque a fait florès qui compare l'aluminium à de l'électricité solide — donc stockable et transportable sans infrastructure — et fixe bien la relation établie à l'époque entre l'énergie de base, le pétrole, et l'électricité, limitée en quantités et devenue plus chère.

Un autre changement majeur relatif à l'électricité a porté sur les sources d'énergie utilisées pour la produire. Le premier stade de production industrielle fut celui de l'hydroélectricité, autoproduite en Europe et au Québec, coproduite et contractuelle aux USA. Il a duré jusqu'en 1930-1945 suivant les régions. Les deux Guerres Mondiales et la guerre de Corée ont constitué d'autres sources de perturbation de la croissance, en raison notamment des besoins de l'aviation militaire. Au moment d'accroître la production d'aluminium, en Amérique, la construction de barrages hydrauliques a éprouvé ses limites. Dans l'urgence, de l'électricité a été produite à partir de charbon. Plus tard, la concurrence a joué à plein avec le pétrole et le gaz, et aussi entre les producteurs locaux, une concurrence au carré en quelque sorte.

¹ Source Nappi, *op. cit.*

Au plan électrique aussi, un changement d'échelle survient avec la Seconde Guerre. Avant, la production était majoritairement hydraulique, non représentée, car invisible à l'échelle. Après, la puissance totale des centrales électriques démarrées dans l'année augmente continûment de 1947 à 1955, chute en 1956-57 et reprend en 1958 au niveau de 10 000 MW ou plus, par an jusqu'en 1966, toutes sources d'énergie de production confondues. Les années 1970 établissent un record à 30 000 MW — voir le graphique ci-dessous. La variété des situations, dans le temps et même l'espace, laisse supposer des résultats de négociation différents pour les contrats d'énergie, tenus naturellement secrets par les deux parties. Bref, les prix de l'électricité payés par les producteurs d'aluminium ont varié suivant les usines et les contrats ; ils ne sont pas publics. Le prix d'une seule source d'énergie est connu sur toute la période, c'est le prix du pétrole¹ qui sera utilisé comme variable *proxy*².

Capacités des centrales électriques U.S. installées chaque année, par source d'énergie



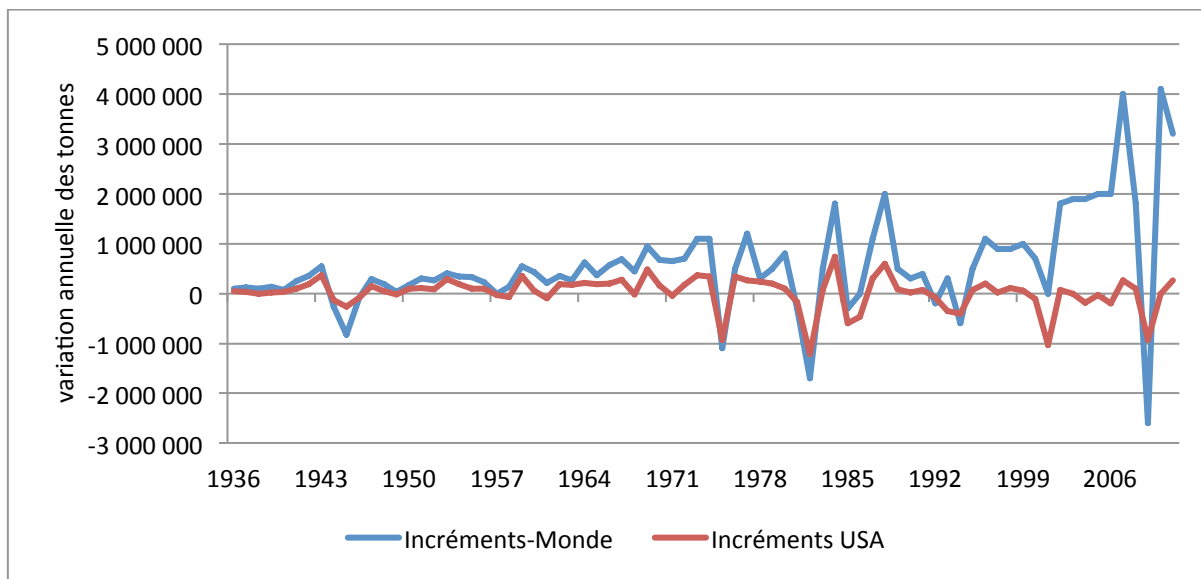
Source du graphique : <http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.cfm?id=2130>

Il reste à ajouter la comparaison entre les productions mondiale et américaine d'aluminium, non pas dans l'absolu, mais pour préciser et dater leurs variations relatives. Deux indicateurs sont observables, les incréments annuels, représentant la croissance, et la production elle-même.

¹ Source: BP Statistical Review of World Energy.

² Variable de substitution pour des besoins de l'économétrie.

Comparaison entre les incréments annuels de la production d'aluminium du Monde et des USA

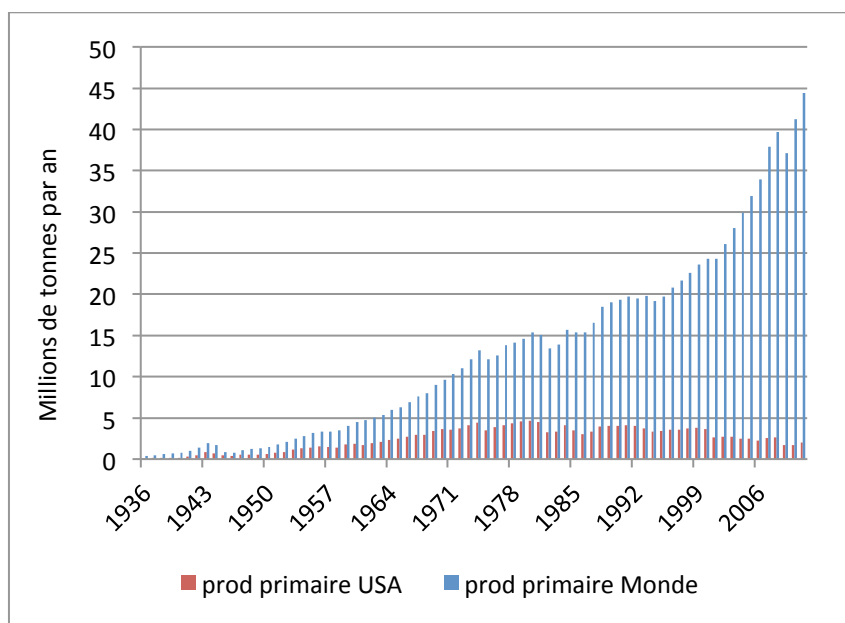


Les incréments annuels de la production américaine sont devenus inférieurs voire très inférieurs à ceux de la production mondiale à partir de 1961¹ — voir leur représentation ci-dessus. La prépondérance américaine diminuait lentement. Les nettes coïncidences sur le graphique permettent de dater les perturbations, positives ou négatives, qui ont concerné l'industrie de l'aluminium dans sa totalité. Les dates les plus significatives sont : pour l'augmentation de la production, 1959, 1969, 1984 et 1988 ; pour sa diminution, 1945, 1975, 1982, 1985, 1994, 2001 et 2009. Elles sont très rapprochées, ce qui rend l'analyse de l'ensemble plus incertaine. En 1975 et en 1982, la baisse de la production américaine représentait une forte proportion de la baisse mondiale ; en 1985 et encore moins en 2009, ce n'est plus le cas, comme le confirme le graphique en valeurs ci-après. Ce graphique compare les productions à partir de 1936 seulement, pour des raisons d'échelle. L'évolution de la production américaine est représentative de celle du monde entier jusqu'en 1985 environ. À son apogée, en 1980, elle égalait environ le tiers de la production mondiale. Celle-ci a ensuite continué sa forte croissance, confortée par les délocalisations américaines. Même si la production primaire américaine ne représente plus la croissance mondiale et ses évolutions après le choc de 1985 et la forte réaction des années suivantes, elle demeure intéressante à étudier sur toute la période pour les raisons déjà exposées dans l'étude.

¹ Date fixée à partir des informations chiffrées. Source : USGS.

Production d'aluminium primaire Monde et USA

1936-2011



II. Les grandeurs disponibles pour l'étude de la production américaine d'aluminium

Une difficulté majeure de l'étude sur une longue période vient donc de la diversité des situations et de leurs fluctuations. De 1900 à 1980 environ, le poids des États-Unis a fait que les études qui les concernaient avaient valeur générale. Puis, la situation des producteurs y est devenue difficile¹, notamment en raison de l'absence d'électricité disponible. Des solutions ont été trouvées, d'abord au sein du pays, puis dans la délocalisation à l'étranger et enfin dans le développement de la production secondaire. La croissance des importations a permis à la consommation apparente² et à l'industrie de première transformation de continuer leur progression. Une remarque sur les ordres de grandeur des productions permet de préciser la question de l'électricité. En 1980, les productions d'électricité totale et d'hydroélectricité des États-Unis étaient respectivement de 2 360 et 283 TWh³. Si ces 283 TWh fournis par l'hydroélectricité avaient été utilisés à la production d'aluminium, ils auraient suffi à produire environ 16,5 millions de tonnes d'aluminium ! La conclusion est que, faute d'autre arbitrage, le marché avait progressivement orienté la consommation de l'hydroélectricité — dont la production était pourtant considérable — vers d'autres besoins, géographiquement proches et plus rémunérateurs.

Les chiffres disponibles⁴ pour l'analyse portent sur les quantités d'aluminium, primaire et secondaire, les échanges internationaux et enfin les prix en dollars, courant et constant. Il faut y ajouter la variable proxy, le prix du pétrole, et éventuellement choisir quelques dates parmi celles identifiées plus haut. Dans la durée, la baisse tendancielle du prix de l'aluminium primaire en dollar constant est forte jusqu'en 1992, ensuite elle ralentit ; la production augmente jusqu'en 1974, voire 1980 l'année du maximum absolu. Ces variations incitent à poser la question de l'éventualité d'une

¹ Voir partie A.

² Terminologie de l'USGS déjà rencontrée.

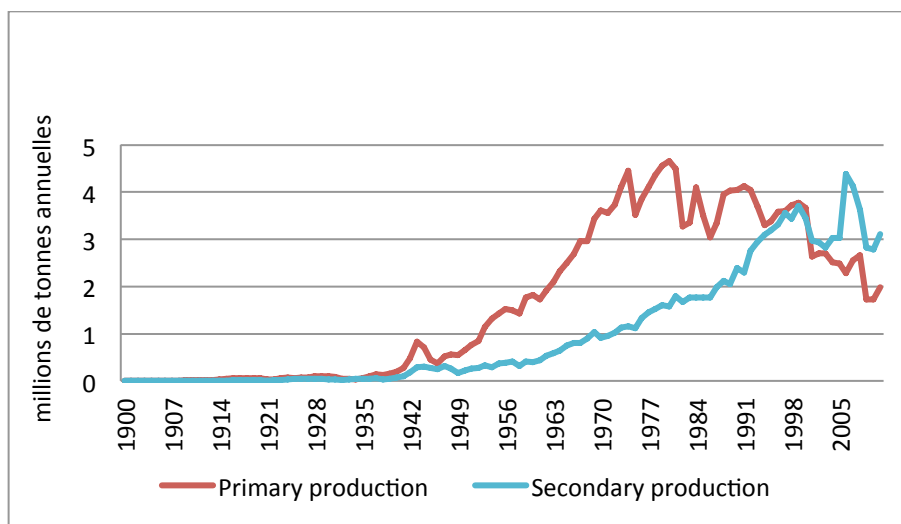
³ Statistics World Bank Electricity US

⁴ Source US General Survey, déjà citée.

loi de demande : la production dépend-elle du prix et la relation est-elle stable dans le temps ? Les paragraphes qui suivent rentreront de répondre à la question. Les courbes de production, en millions de tonnes annuelles, et celles des prix, en logarithmes, sont représentées ci-dessous.

Production américaine d'aluminium primaire et secondaire

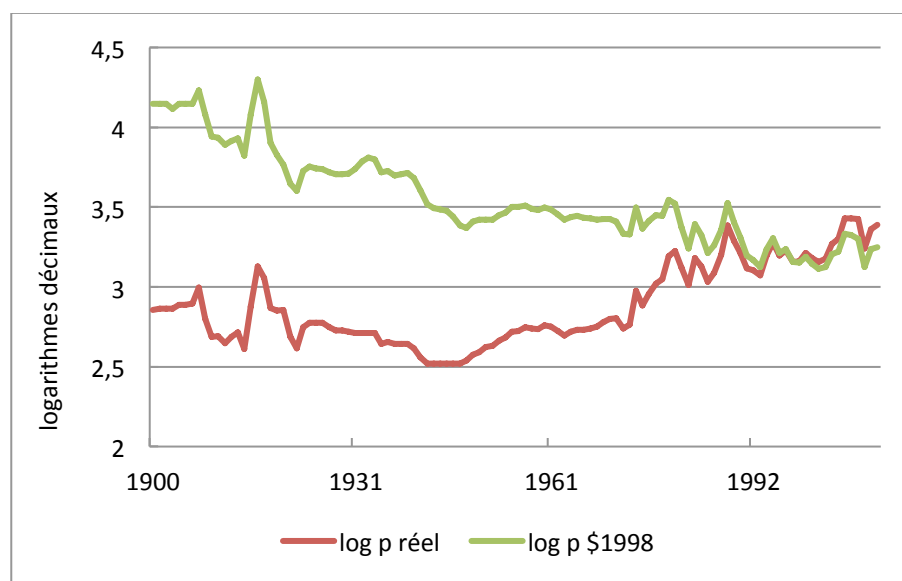
1900-2011



Source des deux graphiques : USGS.

Prix de l'aluminium primaire aux USA

1900-2011



III. Étude individuelle des variables

La production, primaire et secondaire, les importations et les exportations sont des variables auto-corrélées, la décroissance de la fonction est lente sur au moins 19 retards, ce qui augure d'une non stationnarité¹. Le résultat de ce test sur le stock total est moins net. Les tests de racine unitaire

¹ Cf. *L'Analyse des relations de causalité et de cointégration dans les modèles dynamiques: une introduction aux méthodes économétriques*, Serge Rey, Professeur, Université de Pau et des pays de l'Adour, 2009.

(KPSS, avec et sans tendance) confirment que les variables sont intégrées d'ordre 1. Dans ces conditions, la recherche directe de corrélations entre les variables risque de conduire à des corrélations fallacieuses. Il convient de prendre des précautions. Sous Gretl¹, il existe un programme qui corrige de l'hétéroscédasticité² et dont les résultats semblent intéressants, car ils sont plus significatifs. Ils sont présentés ci-dessous. L'étendue des variations des variables incite à travailler en logarithmes.

○ D'abord, la production primaire est étudiée par la méthode des moindres carrés corrigée. Les valeurs de la constante et des coefficients de la variable retardée sont très significatives pour trois retards, sur l'ensemble de la période 1916-2011, soit 96 échantillons. Les résultats complets sont donnés ci-dessous. La qualité de la représentation linéaire, mesurée par le coefficient de régression ($R^2 > 0,98$ pour 3 retards), augmente encore avec le nombre de retards, mais les coefficients de ces variables retardées ne sont, le plus souvent, pas significatifs.

Modèle 1a, production primaire :					
Hétéroscédasticité corrigée, utilisant les observations 1916-2011 (T = 96)					
Variable dépendante : I_Primary_produ (logarithme de la production primaire)					
	<i>Coefficient</i>	<i>Erreur Std</i>	<i>t de Student</i>	<i>p. critique</i>	
const	0,526344	0,193578	2,7190	0,00783	***
I_Primary_p_1	1,30064	0,111026	11,7148	< 0,00001	***
I_Primary_p_2	- 0,647161	0,156315	- 4,1401	0,00008	***
I_Primary_p_3	0,311098	0,0910197	3,4179	0,00094	***
Statistiques basées sur les données pondérées :					
Somme carrés résidus	579,4191	Écon. type de régression	2,509588		
R2	0,987141	R2 ajusté	0,986722		
F(3, 92)	2354,260	p. critique (F)	8,08 e - 87		
Log de vraisemblance	- 222,5066	Critère d'Akaike	453,0133		
Critère de Schwarz	463,2707	Hannan-Quinn	457,1595		
rho	0,039690	Durbin-Watson	1,920584		
Statistiques basées sur les données initiales :					
Moy. var. dép.	13,68964	Écon. type var. dép.	1,660385		
Somme carrés résidus	3,844783	Écon. type de régression	0,204429		

La courbe des résidus montre que les premières années du siècle ont été plus perturbées que les dernières.

Il semblait, *a priori*, que la variation des incréments de production dans le temps fournirait des indications sur l'effet du progrès technique, et en particulier sur l'augmentation de taille des nouvelles unités de production. L'idée correspondait d'ailleurs à la représentation des séries temporelles par une marche aléatoire. Malgré plusieurs tentatives, il n'a pas été possible d'identifier une évolution en accord avec la croissance de paramètres significatifs du progrès technique. Il en a

¹ « Gretl est un logiciel économétrique qui comprend une bibliothèque interne, un programme utilisateur et un interface graphique utilisateur. » GNU Free Documentation License, Version 1.1 or any later version published by the Free Software Foundation (see <http://www.gnu.org/licenses/fdl.html>).

² En cas d'hétéroscédasticité, la variance de l'erreur n'est pas constante. Cette situation a été observée par le calcul sur les variables étudiées, elle nuit à la validité du calcul des estimateurs.

été conclu que la fréquence d'échantillonnage — l'année — était trop lente pour faire la différence entre le nombre d'événements et la taille de chacun d'eux. Il n'est pas possible d'obtenir des mesures plus fréquentes.

○ La régression de la production secondaire sur ses valeurs passées a été effectuée avec différents nombres de retard. Toutes les régressions sont bonnes ($R^2 > 0,98$), le résultat s'améliore même avec le nombre de retards. En revanche seules les valeurs de la constante et de la variable retardée d'une période sont significatives. C'est la principale différence statistique entre les deux chroniques ; les autres caractéristiques de la régression linéaire, y compris moyenne et écart-type, sont très comparables (Cf. modèle 1b ci-après).

Modèle 1b, production secondaire : Hétéroscédasticité corrigée, utilisant les observations 1916-2011 (T = 96)					
Variable dépendante : I_Secondab (logarithme de la production secondaire)					
	<i>Coefficient</i>	<i>Erreur Std</i>	<i>t de Student</i>	<i>p. critique</i>	
const	0,389238	0,185017	2,1038	0,03812	**
I_Secondab_1	1,07554	0,102862	10,4561	< 0,00001	***
I_Secondab_2	- 0,123176	0,139787	- 0,8812	0,38052	
I_Secondab_3	0,022135	0,0906295	0,2442	0,80759	
Statistiques basées sur les données pondérées :					
Somme carrés résidus	429,0618	Écon. type de régression	2,159564		
R ²	0,986331	R ² ajusté	0,985885		
F(3, 92)	2212,799	p. critique (F)	1,35 e -85		
Log de vraisemblance	- 208,0862	Critère d'Akaike	424,1725		
Critère de Schwarz	434,4298	Hannan-Quinn	428,3187		
rho	- 0,048202	Durbin-Watson	2,007753		
Statistiques basées sur les données initiales :					
Moy. var. dép.	12,93048	Écon. type var. dép.	1,832581		
Somme carrés résidus	4,090550	Écon. type de régression	0,210861		

Les deux processus de croissance se ressemblent, les variables qui les ont générés sont vraisemblablement de même nature : l'investissement et le progrès technique. Seule la courbe qui représente — voir page suivante — la croissance de la production d'électricité hydraulique en Chine présente la même courbure. La production secondaire dont le processus permet plus de réactivité, n'est sensible qu'à un seul retard. Elle affiche une croissance moyenne d'environ 7,5 %.

Comme précédemment, la courbe des résidus montre que les 40 premières années d'activité ont été plus perturbées que les dernières.

○ Les importations, les exportations et les stocks de métal sont considérés comme les résultats d'une situation annuelle de l'industrie. Il ne semble donc pas utile d'étudier ici leurs variations respectives, il est préférable de tester l'hypothèse d'une fonction d'offre.

Production d'électricité hydraulique en Chine

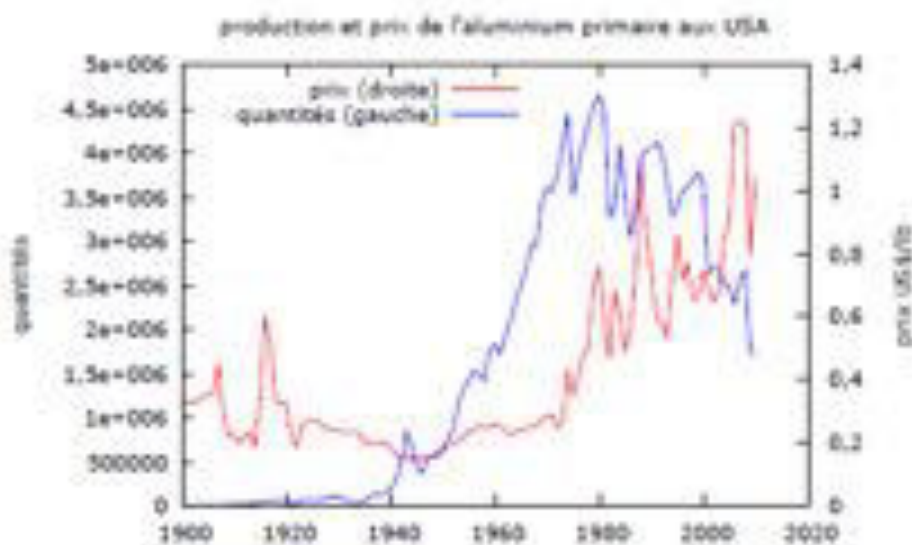
1965-2011



IV. Étude de la production et du prix¹

Les prix de l'aluminium présentent les mêmes caractéristiques de non stationnarité que la production. L'autocorrélation des prix du pétrole présente une longue traîne entre 21 et 29 retards et la courbe d'autocorrélation partielle est inhabituelle pour les nombres de retards élevés.

Les calculs de régression par les moindres carrés sont maintenant effectués sous JMulti, pour la production primaire et les prix en dollars. Les données sont visualisées ci-dessous en valeur. Pour les calculs, elles sont exprimées d'abord en logarithmes décimaux puis en différence de logarithmes pour supprimer l'intégration. Les résultats rapportés ci-dessous montrent une assez forte dispersion autour de la droite de régression et les valeurs numériques font penser à une absence de corrélation :



✓ OLS ESTIMATION : production primaire et prix réel en logarithmes

Sample range : [1900, 2010], T = 111
Variable dépendante : Primary_production_log ; variable indépendante : log_préel
Primary_production_log = 1,8859 + 3,8646 * log_préel
t-values = { 0,8154 4,8252 }
sigma = 2,0855
R-squared = 0,1760
Le coefficient de la variable prix réel est significatif (t-value) et il y a absence de corrélation

Il ne semble donc pas utile de continuer dans cette voie, la production primaire d'aluminium n'est pas corrélée au prix. L'hypothèse d'une corrélation entre le prix de l'aluminium et le prix du pétrole a été évoquée, elle est testée ci-dessous, sur les variables en logarithmes et sur la première différence.

¹ Étude effectuée sous JMulti ou sous Gretl, suivant les besoins. Références bibliographiques : Serge Rey, CATT, PAU, 2009, *op. cit.* et les ouvrages de Régis Bourbonnais, Dunod.

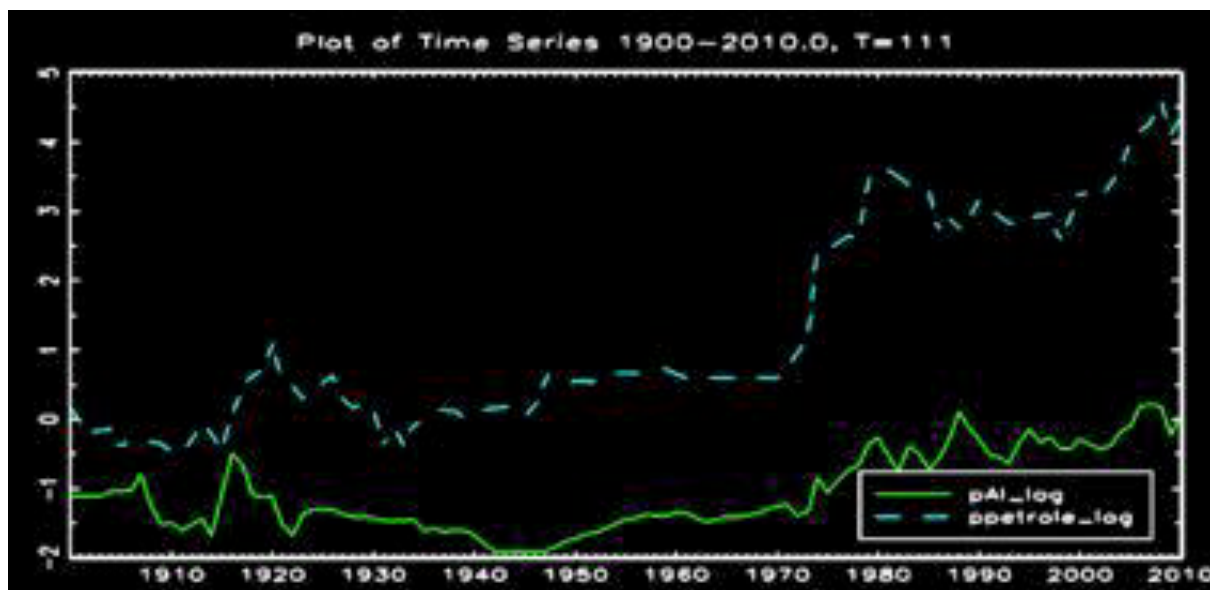
✓ OLS ESTIMATION : prix de l'aluminium et prix du pétrole en logarithmes

Sample range : [1897, 2010], T = 114
Variable dépendante : pAl_log ; variable indépendante : ppetrole_log
$pAl_log = -1,4743 + 0,3269 * ppetrole_log$
t-values = { -40,4852 17,1320 }
sigma = 0,2979
R-squared = 0,7238
Les coefficients de la variable et de la constante sont significatifs et la corrélation est à peine significative

✓ OLS ESTIMATION : première différence des prix de l'aluminium et du pétrole en logarithmes

Sample range : [1898, 2010], T = 113
Variable dépendante : pAl_log_d1 ; variable indépendante : ppetrole_log_d1
$pAl_log_d1 = -0,0000 + 0,2143 * ppetrole_log_d1$
t-values = { -0,0021 3,3244 }
sigma = 0,1711
R-squared = 0,0905
Il n'existe pas de corrélation entre les variables en différence première.

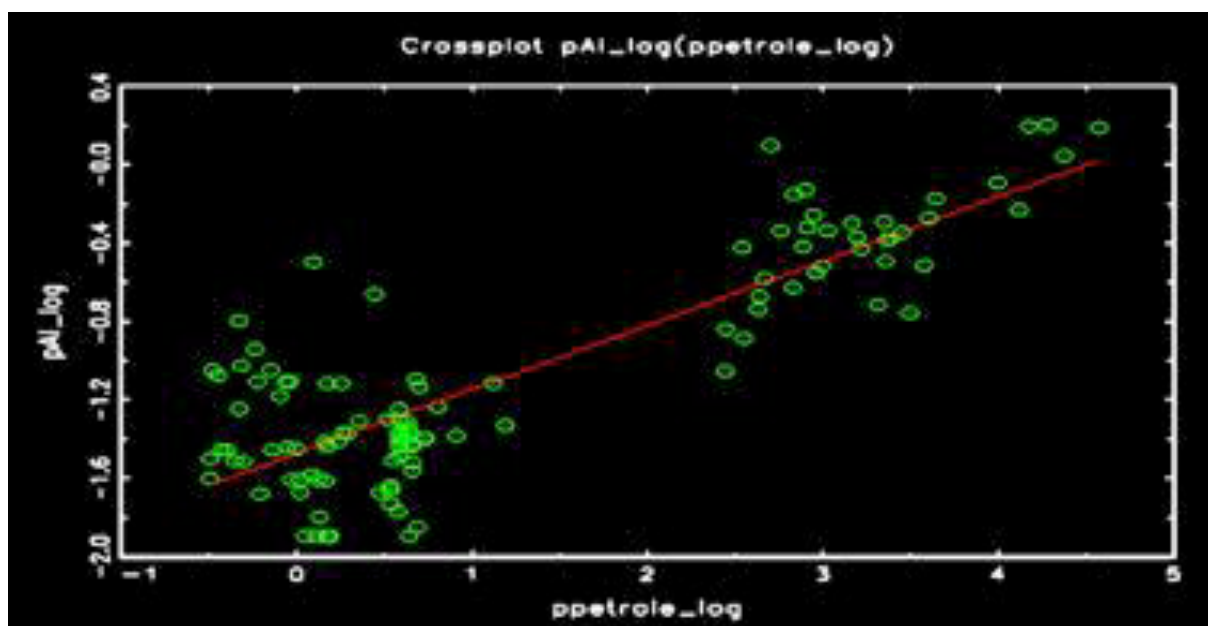
Les deux variables en logarithmes sont représentées ci-dessous ainsi que les essais de corrélations entre variables et entre différences premières des variables.

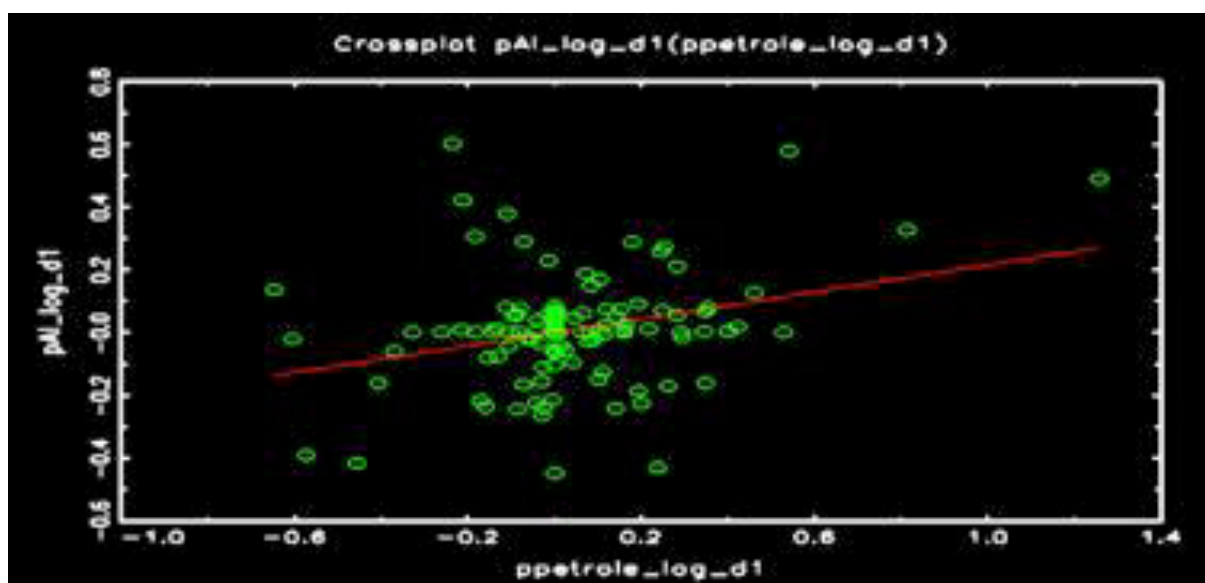


Les images ne montrent pas davantage de corrélation au-delà d'une vague ressemblance.

Un test a été effectué ci-dessous sur une date de rupture, 1980. Elle partage en deux la chronique.

Résultats de régression linéaire entre le prix de l'aluminium et le prix du pétrole





OLS ESTIMATION — Essai d'introduction d'une date de rupture, 1980, suggérée par les nombreux changements imputables aux événements de l'époque.

e) Sample range : [1900, 1980], T = 81
Variable dépendante : Primary_production_log ; variable indépendante : pAl_log
Primary_production_log = 12,1369 – 0,1033 * pAl_log
t-values = { 11,7330 – 0,1400 }
sigma = 2,2906
R-squared = 0,0002
Il n'existe aucune corrélation entre les deux variables sur la période 1900-1980.
f) Sample range : [1980, 2010], T = 31
Variable dépendante : Primary_production_log ; variable indépendante : pAl_log
Primary_production_log = 14,8494 – 0,4462 * pAl_log
t-values = { 231,8559 – 2,7393 }
sigma = 0,2280
R-squared = 0,2056
Il n'existe aucune corrélation entre les deux variables sur la période 1980-2010.

L'introduction d'une date, 1980, pour partager en deux la chronique ne met pas davantage en évidence de corrélation.

2.

Prospective

La prospective concerne au même titre l'aluminium primaire et l'aluminium recyclé, devenus un seul produit aujourd'hui, mais leur potentiel de croissance diffère selon les lieux. L'électricité¹, l'élément clé du procédé Hall-Héroult de fabrication de l'aluminium par électrolyse, conditionne la localisation de la production primaire et, à la limite, décide de son sort comme par exemple aux États-Unis, au Québec ou à Abu Dhabi. C'est pourquoi, ici, elle vient en premier. Toutefois, la production d'aluminium consomme au plus quelques pour cents de la consommation d'électricité des pays producteurs industrialisés. La conséquence en est que les critères d'estimation de la demande future en électricité ne tiennent aucun compte de la production d'aluminium. Cependant, en raison de leur intérêt au plan économique ils sont indiqués en note, pour mémoire. Leur variété explique la difficulté de l'exercice de prévision, surtout sur 40 ans², et l'amplitude de l'écart des résultats en fonction des hypothèses. La production d'aluminium n'est pas plus facile à prédire, mais des chercheurs se sont livrés à l'exercice et des résultats sont disponibles. Les hypothèses de son étude prospective sont d'une nature différente et la protection de l'environnement y joue un rôle que les actuelles indécisions sur le climat n'aident pas à clarifier. Les bases de la croissance passée, expliquées en détail dans la présente étude, permettent de comprendre les enjeux d'aujourd'hui et aussi les orientations en matière de répartition de la production entre aluminium primaire et aluminium secondaire.

I. L'électricité

La production industrielle d'électricité a commencé sa longue croissance par l'hydroélectricité, un choix judicieux. Elle a continué son développement dans le monde avec le charbon et le pétrole. Elle repose maintenant aussi sur le gaz qui autorise le plus bas coût de production, du moins aux États-Unis où les prix sont publics. La question de l'avenir de l'hydroélectricité et de l'électricité en général se pose au niveau des décideurs, c'est-à-dire au niveau des gouvernements. Des études prospectives ont été effectuées dans l'Union Européenne et des résultats seront présentés. Cependant, cette fois encore, la meilleure lumière est venue d'Amérique et la connaissance des pays asiatiques, encore limitée, passera par des outils nouveaux, notamment linguistiques.

Comme déjà vu précédemment, les spécialistes commencent toujours par parler d'énergie primaire et les chiffres mondiaux de 2009 sont figurés ci-dessous. La part de l'hydroélectricité est très modeste, à peine plus de 2 %. Elle est aujourd'hui, bien plus qu'hier, accompagnée par l'énergie renouvelable, dans le poste « Autres » du graphique qui comprend le solaire, l'éolien³, la géothermie,

¹ « Les scénarios prospectifs de demande d'énergie de l'Union française de l'électricité (UFE) pour 2050 reposent sur les hypothèses structurantes suivantes :

Démographie : Scénario central INSEE + 0,3 %/an

Efficacité Énergétique : Potentiel calculé à partir des projections de demande

Croissance économique : + 1,7 %/an

Transfert d'usages potentiel : calculé à partir des projections de demande

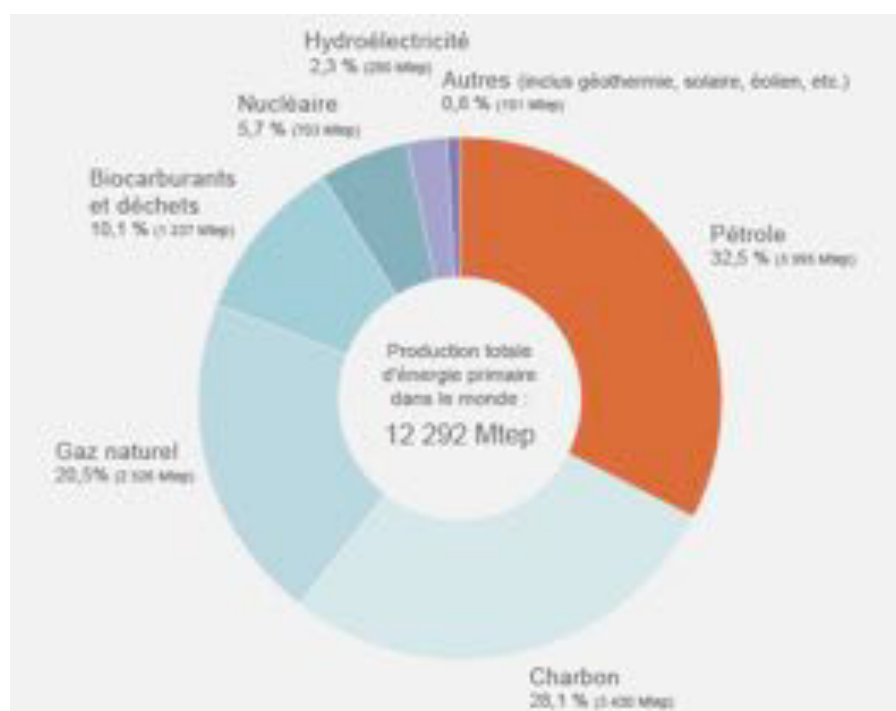
Intensité énergétique :-1,15 %/an, liée au progrès technique ».

² Une hypothèse de travail de l'EIA.

³ Sa croissance future au niveau mondial semble privilégiée par rapport aux autres sources. Source EDF, 2013.

la biomasse etc. à hauteur de 0,8 %. Il devient plus difficile de trouver, dans la littérature, les différentes composantes de l'énergie renouvelable, à laquelle sont pourtant assignés des objectifs ambitieux pour les prochaines décennies. Pour l'industrie de l'aluminium, le changement est important parce que les puissances individuelles des diverses installations sont sans commune mesure et qu'il est peu probable que de l'aluminium primaire soit un jour produit à partir d'électricité solaire... La conséquence est simple pour l'aluminium primaire, elle sera présentée plus loin.

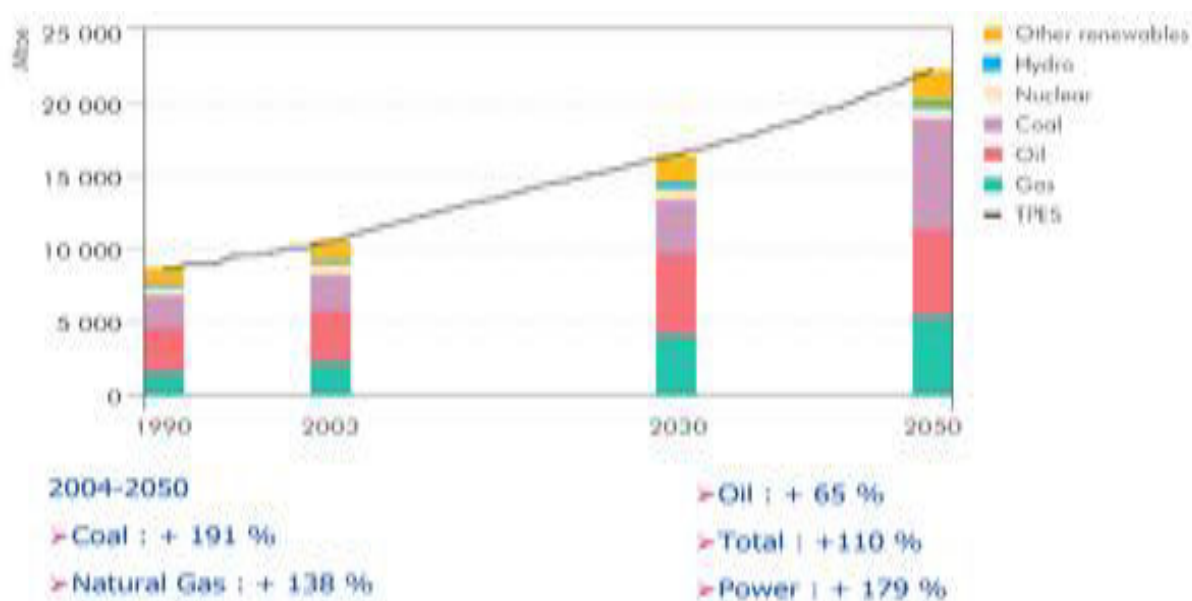
Production totale d'énergie primaire dans le monde en 2009¹



Suivant les prévisions, la production mondiale d'énergie pourrait augmenter ainsi : d'ici à 2030, elle serait comprise entre 15 000 et 17 000 Mtep ; en 2050 elle pourrait atteindre 22 000 Mtep. Alors, 80 % de l'énergie seraient assurés par les énergies fossiles, ce qui correspond à leur part actuelle ; le nucléaire conserverait son niveau actuel, le pétrole augmenterait moins que les autres sources et la croissance viendrait surtout du charbon et du gaz. Ces prévisions correspondent au cas où aucune mesure nouvelle n'est prise et où la croissance économique se maintient (ce cas est dénommé : « *Business as usual* »).

¹ Source AIE, 2011

Production mondiale d'énergie dans le scénario dit « Business as Usual »



Source : L'énergie en questions — réponses, dossier pour l'IHEST Décembre 2008.

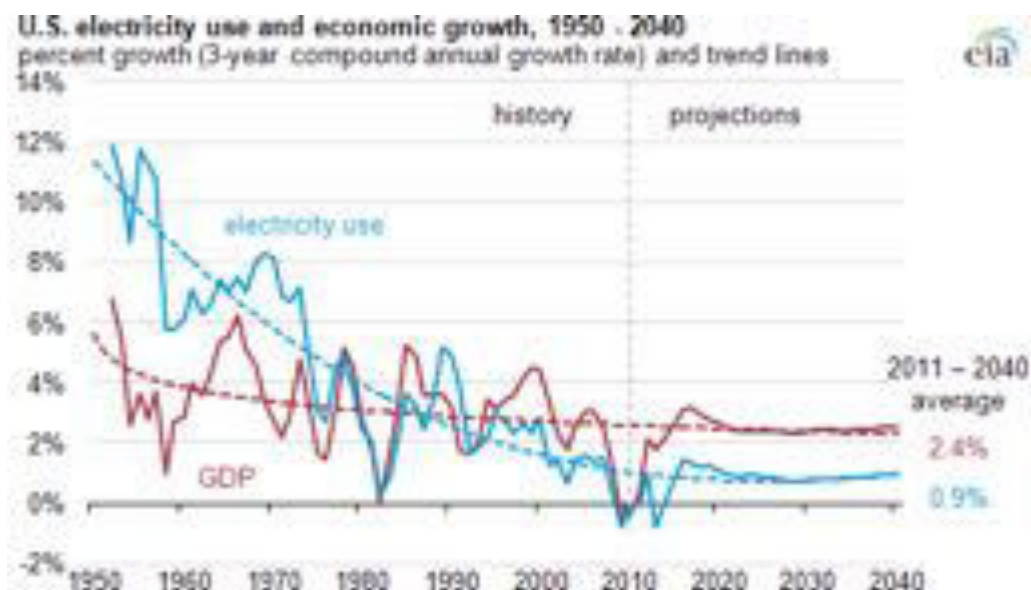
La légende se lit ainsi : « Hydro » = hydroélectricité ; « Other Renewables » : autres énergies renouvelables (majoritairement le bois) ; « Nuclear » : électricité des centrales nucléaires ; « Coal » : charbon ; « Oil » : pétrole ; « Gas » : gaz ; « TPES » : Total Primary Energy Supply = production mondiale totale d'énergie.

Au plan de l'analyse de contenu, le dernier rapport annuel de l'EIA¹ rappelle que « l'économie d'un pays et son usage de l'énergie, en particulier de son électricité, sont liés. Les variations de court terme de la consommation d'électricité sont souvent positivement corrélées avec des variations de la production, mesurées par le PIB²... Une économie qui croît, tend à consommer plus d'énergie et plus d'électricité. » La comparaison entre la croissance de la consommation d'électricité et celle du PIB aux États-Unis — c'est aussi le cas de l'aluminium — a changé dans le temps, l'une croissant à certaines époques nettement plus vite que l'autre. Avant 1975, l'électricité croissait beaucoup plus vite que le PIB. Entre 1975 et 1995, les taux de croissance étaient presque égaux et aujourd'hui la croissance économique dépasse celle de l'électricité. Les projections de long terme montrent que le ralentissement de la croissance de la consommation d'électricité continue, elles sont reproduites ci-dessous.

¹ Source : EIA, Annual Energy Outlook 2013

² Gross domestic product (GDP)

Croissance américaine et consommation d'électricité



Source : U.S. Energy Information Administration, Annual Energy Outlook 2013 Early Release.

Le taux de croissance est un taux composé sur trois années, comme l'étude économétrique en a montré l'utilité dans le cas de la production d'aluminium. Affirmer que les deux taux de croissance représentés sont liés, comme le fait l'étude de l'EIA, mériterait une démonstration approfondie. Il est certain, par exemple, que consommer davantage d'électricité pour l'éclairage procure du bien-être et augmente le PIB, mais son usage procure moins de croissance — il est dit moins intensif — que s'il servait à produire des biens matériels échangeables. Inversement, l'invention de lampes à basse consommation a réduit la consommation pour l'éclairage, toutes choses égales par ailleurs. Pour des applications domestiques grand public comme le réfrigérateur, l'EIA fournit des ordres de grandeur de consommation d'électricité intéressants, voir la courbe ci-dessous. L'augmentation de la taille d'un réfrigérateur, progrès flatteur des années 1950 à 1970, est aujourd'hui compensée en consommation grâce aux nouvelles techniques et à l'impulsion donnée dès les années 1980 par l'action normative des États. Progressivement, le remplacement des réfrigérateurs anciens conduira, à volume utile égal, à une consommation d'électricité plus basse. Alors, il ne restera plus que l'effet de l'accroissement de la population à compenser par des installations électriques neuves. D'où la conclusion : l'amélioration de l'intensité énergétique due au progrès technique conditionne les besoins futurs en nouvelles installations de production, hors variations de la population.

Consommation annuelle d'électricité d'un réfrigérateur neuf, aux États-Unis



Source : U.S. Department of Energy, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, Building Technologies Office.

Note : Les standards expriment le maximum de la quantité annuelle d'énergie consommée par un produit normé.

L'exemple chiffré du réfrigérateur est très significatif de l'évolution de la consommation d'électricité sous la loi du marché. D'abord, il illustre le rôle de l'État, ultime responsable des Normes et de l'environnement. Il illustre aussi l'effet de richesse des années 1950 qui a introduit la compétition entre consommateurs, puis, aujourd'hui, l'effet du progrès technique qui divise par trois la consommation unitaire. Ensuite, il permet de comprendre comment l'industrie de l'aluminium s'est trouvée en difficulté malgré son apparente puissance de premier arrivé et de très gros consommateur. Entre 1950 et 1975, la consommation-type d'un réfrigérateur a donc été multipliée par trois et le nombre de réfrigérateurs par dix¹ sous le double effet de la croissance de la population et du niveau de vie. De ce fait, ce poste de la consommation domestique américaine a été multiplié par 30 ou plus, ce qui explique la courbure dans le temps de la consommation totale d'électricité. En résultat, la forte croissance de la demande a fait monter les prix du courant qui ont peu à peu évincé les producteurs d'aluminium, là où la quantité d'électricité disponible était limitée par la géographie. Le mécanisme et les effets de cette évolution ont été démontrés précédemment.

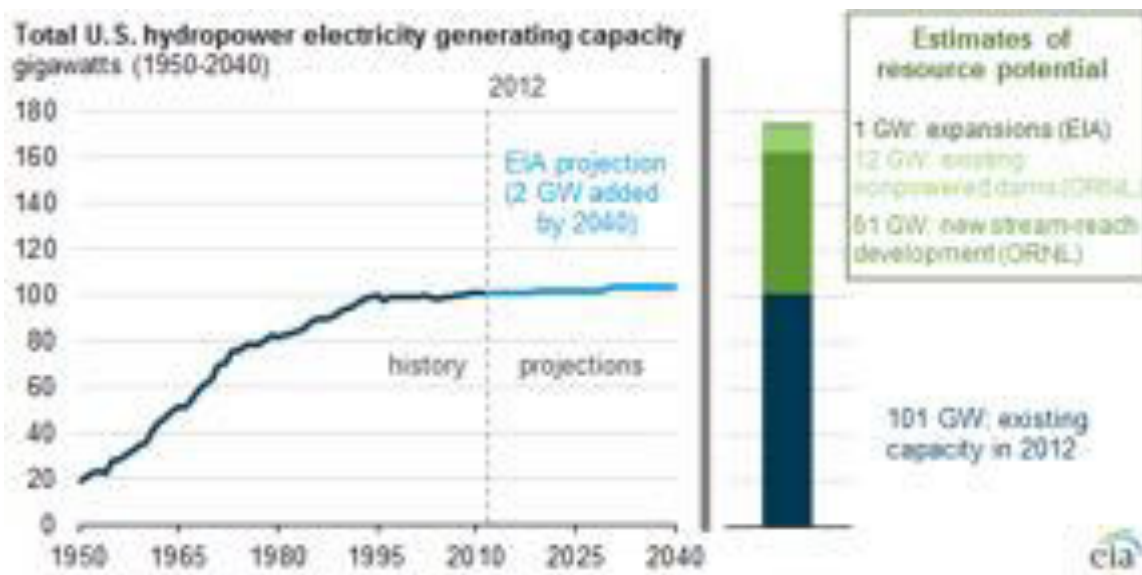
En revenant justement à l'hydroélectricité, la question de son potentiel de croissance qui semblait tranchée, réapparaît sous forme de divergences entre spécialistes aux États-Unis. Une note récente de l'EIA² montre que la croissance de l'hydroélectricité semble davantage contrainte par l'économie que par les ressources naturelles. La situation, décrite dans le cours de l'étude, est résumée dans le graphique ci-dessous de la puissance installée depuis 1950. De 1950 à 1990, l'hydroélectricité a été constamment développée. À partir de 1995, les additions apparaissent minimales à l'échelle du graphique, l'ère de la construction des grands barrages est terminée. La question concerne seulement les additions plus modestes. L'EIA a prévu une puissance additionnelle de 2 GW d'ici à 2040, soit 2 % de l'existant en 30 ans. En revanche, une étude du Laboratoire National de Oak Ridge (ORNL) estime que 12 GW supplémentaires sont accessibles en équipant des barrages existants et que 61 GW pourraient résulter d'équipements au fil de l'eau, soit au total plus de 70 %

¹ Dix ou cent ou mille... chiffre inventé pour les besoins de la démonstration.

² 10 juillet 2014, <http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.cfm?id=17051>

d'augmentation. La différence d'approche explique les écarts, l'ORNL ayant travaillé sur des bases techniques et écologiques qui concernent un très grand nombre — trois millions — de zones potentielles dites *stream-reach*, sans préciser ni la faisabilité, ni le coût de réalisation. Ainsi, il ouvre des pistes que de nouvelles turbines pourraient rendre intéressantes !

Capacité hydraulique de production d'électricité aux États-Unis



Source : U.S. Energy Information Administration, EIA-860, and the Oak Ridge National Laboratory (ORNL).

Note : les puissances installées avant 1989 sont estimées, elles incluent les ressources conventionnelles et le stockage par pompage. « New stream-reach developments » désignent des possibilités au fil de l'eau (sans barrage) et « Expansions » sont des additions à des barrages existants. Principal contributeur : Michelle Bowman.

Dans le monde, « le potentiel économiquement exploitable est estimé à environ 2 000 GW. Pour la grande hydraulique (12 à 15 GW mis en chantier chaque année), ce potentiel est majoritairement localisé en Asie, Amérique latine et Afrique. En Amérique du Nord et en Europe, il faut surtout compter sur la petite hydraulique (1 à 2 GW par an) et sur la réhabilitation des anciens aménagements (environ 10 GW par an) ». De plus, l'hydroélectricité a deux caractéristiques fondamentales qui justifient l'intérêt qui lui a été porté : c'est, en moyenne, l'une des moins chères à produire et c'est aussi « la source d'énergie dont les coûts externes qui expriment les impacts environnementaux, sont les plus faibles ».

En conclusion, il existe encore un potentiel de croissance de l'hydroélectricité — la moins chère et la plus écologique — qui sera mis en valeur au fur et à mesure du développement économique des pays dans lesquels il se trouve. L'aluminium fera peut-être partie des consommateurs, dans les pays producteurs déjà évoqués. Dans les pays industrialisés de longue date, les économies d'énergie à venir devraient porter sur les habitations et entraîner l'arrêt des installations de production les plus coûteuses et les plus polluantes, bien plus que susciter une ré-industrialisation. L'économie du monde est aujourd'hui tournée vers une industrie moins intensive en énergie.

II. L'aluminium

Plusieurs sources de prévisions et donc plusieurs regards sur l'avenir sont disponibles, ils vont être montrés de façon à représenter l'ensemble du domaine et à faciliter son étude critique.

i. L'aluminium primaire

En 2010¹, le *U.S. Geological Survey (USGS)* a publié, en collaboration avec plusieurs Organismes² gouvernementaux américains, une étude prospective de la production mondiale d'aluminium à l'horizon 2025. Les chiffres collationnés depuis des années ont été utilisés comme base et les évolutions plausibles des tonnes — bauxite, alumine et aluminium — ont été modélisées. Les quantités de produits et de sous-produits sont soigneusement déterminées afin de préciser les effets attendus sur l'environnement en matière de déchets solides, liquides et gazeux. Les aspects économiques et l'action des gouvernements dans la production ou la consommation ne sont pas abordés. Les prix, déprimés depuis 2009, semblent remonter. Le futur dépendra aussi beaucoup de leur évolution.

Les hypothèses relativisent les priorités différentes des pays en fonction de l'évolution de leur niveau de développement — équipement ou consommation, part de l'automobile... — et la relation au PIB, etc. La consommation mondiale d'aluminium passerait de 45,3 millions de tonnes en 2006 à 59 millions en 2015³ et 120 millions en 2025, soit un doublement sur 10 ans, peu vraisemblable en raison de l'énormité des quantités, en particulier en amont, et de l'incidence sur les déchets et l'environnement. D'ici à 2015, la plus grande partie de la croissance concernerait la Chine, le Brésil, les Émirats Arabes Unis, le Canada, l'Inde, l'Afrique du Sud et le Qatar dans l'ordre décroissant. Leur part mondiale du total passerait de 26 % en 2006, à 31 % en 2015 et 45 % en 2025. En revanche, le tonnage total consommé aux États-Unis, au Japon, en Allemagne et en France passerait de 16,1 millions en 2006 à 18 millions en 2025, croissance modeste qui aboutit à une réduction de 50 % de la part consommée en 2006 (36 %). Entre 2015 et 2025, la croissance sera plus grande dans les pays qui, en 2006, consommaient encore peu d'aluminium par tête : la Chine et la Russie rattraperaient le niveau occidental actuel (28,7 kg/capita) ; le Brésil (7,9 kg/c) et l'Inde (4,2 kg/c) connaîtraient une croissance plus modeste. La consommation des pays à haut revenu n'augmenterait qu'en proportion de l'accroissement de leur population.

¹ *The Global Flow of Aluminum From 2006 through 2025*, Menzie, W.D., Barry, J. J. Bleiwas, D.I., Bray, E.L., Goonan, T.G., and Matos, Grecia, 2010, U.S. Geological Survey Open-File Report 2010–1256, 73 p., available at <http://pubs.usgs.gov/of/2010/1256/> Les informations et les chiffres cités proviennent de cette source. Cette étude a été publiée avec davantage de détails sous l'égide de l'OCDE. Cf. tableau ci-dessous.

² "The report was prepared in cooperation with the U.S. Environmental Protection Agency for the Organization for Economic Co-operation and Development, Environmental Policy Committee's Working Group on Waste Prevention and Recycling."

³ Réalisé 2013 : 47,3 Mt. Les prévisions pour 2015 semblent optimistes aujourd'hui.

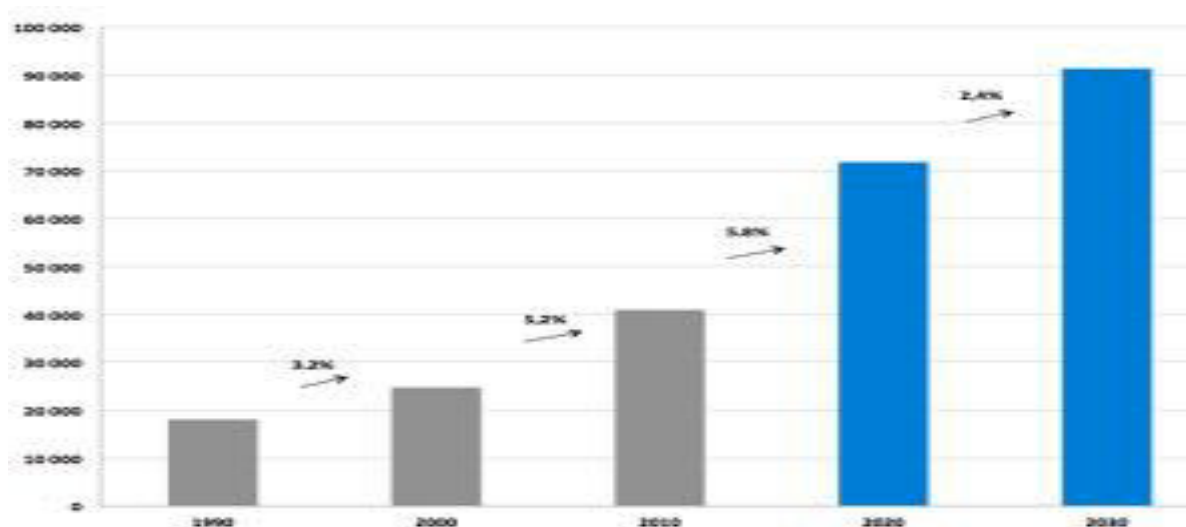
Prévisions de consommation d'aluminium par pays

en 2015, 2020 et 2025 (milliers de tonnes annuelles)

Rang	Pays	2015	2020	2025
1	Chine	12 371	29 939	41 703
2	Inde	2 358	3 560	5 967
3	USA	9 751	10 169	10 554
4	Indonésie	414	513	654
5	Brésil	986	1 282	1 699
6	Pakistan	230	280	345
7	Bangladesh	187	223	273
8	Russie	2 232	3 360	3 794
9	Nigeria	142	169	207
10	Japon	3 654	3 627	3 552
11	Mexique	784	1 030	1 372
12	Philippines	238	305	400
13	Vietnam	160	237	392
14	Allemagne	2 349	2 347	2 326
15	Éthiopie	71	84	98
16	Égypte	173	230	317
17	Turquie	549	965	1 624
18	Iran	382	590	947
19	Thaïlande	450	735	1 183
20	France	1 842	1 889	1 925
	Total 20 pays	39 300	61 500	79 300
	Total monde	58 700	91 900	119 000

Source : OECD Global Forum on Environment Focusing on Sustainable Materials Management
25-27 October 2010, Mechelen, Belgium.

Une source privée¹, spécialisée dans les matières premières, a établi les prévisions suivantes :

Évolution de la consommation mondiale d'aluminium primaire de 1990 à 2030

¹ CRU Group, London, <http://www.crugroup.com/>

Pour les mêmes années, les chiffres suivants sont annoncés¹, en millions de tonnes annuelles :

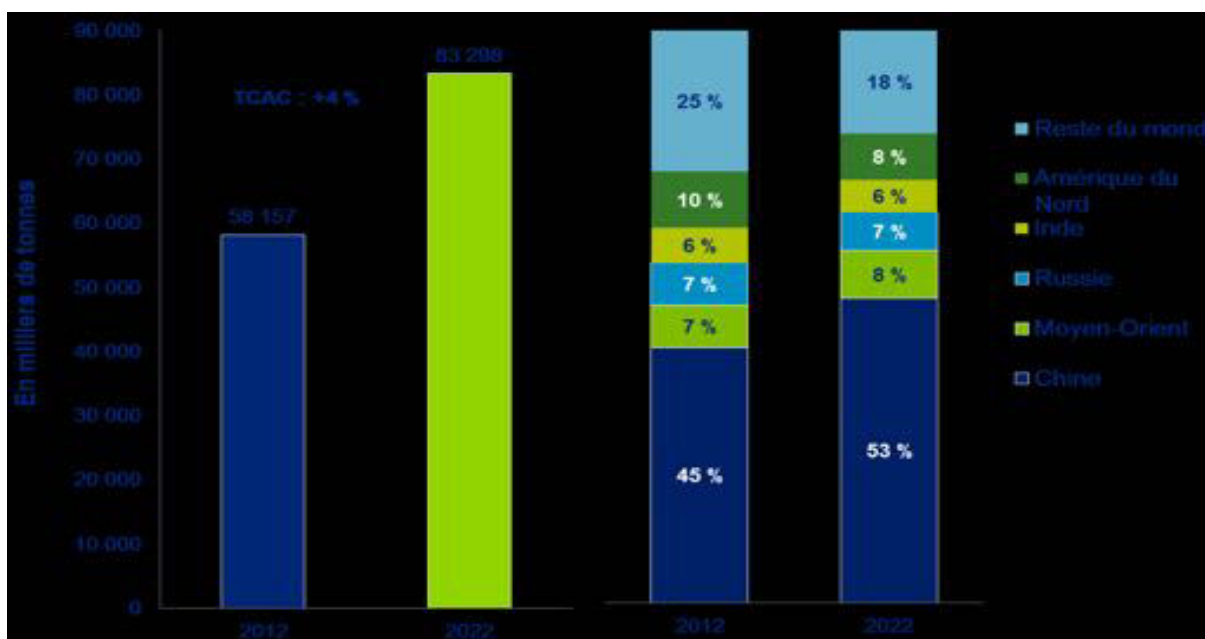
1990	2000	2010	2020	2030
18,1	24,7	40,9	71,8	91,3

Source : CRU : The Long Term Outlook for Aluminum. May 2012 update.

L'importante différence entre les deux prévisions provient du rythme de croissance et surtout du fait que l'aluminium recyclé² est comptabilisé dans la consommation — premier tableau.

Une autre comparaison, régionale cette fois et à moins long terme, est présentée ci-dessous :

Évolution de la capacité de production dans le monde, contribution par région 2012-2022



Source : CRU : The Long Term Outlook for Aluminum. Dec. 2011.

L'argumentaire du CRU qui accompagne ses prévisions est le suivant : « La croissance mondiale de la demande d'aluminium est soutenue par deux principales tendances de fond :

La croissance économique des BRIC (Brésil, Russie, Inde, Chine) et des autres économies émergentes (Indonésie, Malaisie...) entraîne un accroissement de la demande en aluminium en provenance des marchés de débouchés (transport, construction, etc.). À titre d'exemple, pour la période 2010-2020, le taux de croissance annuel moyen prévu pour la consommation d'aluminium en Chine (8 %) est environ 5-fois supérieur à celui des pays de l'Union européenne (1.5 %) et 2,5 fois plus élevé que celui de l'Amérique du Nord (3 %).

Le développement de nouveaux marchés, tels que l'allègement des véhicules dans le domaine du transport, crée une pression additionnelle sur la demande d'aluminium dans les *vieux* pays ».

Les récents commentaires de la presse sur le pari de Ford sur son nouveau véhicule en aluminium, laissent penser que le planning prévu pourrait glisser.

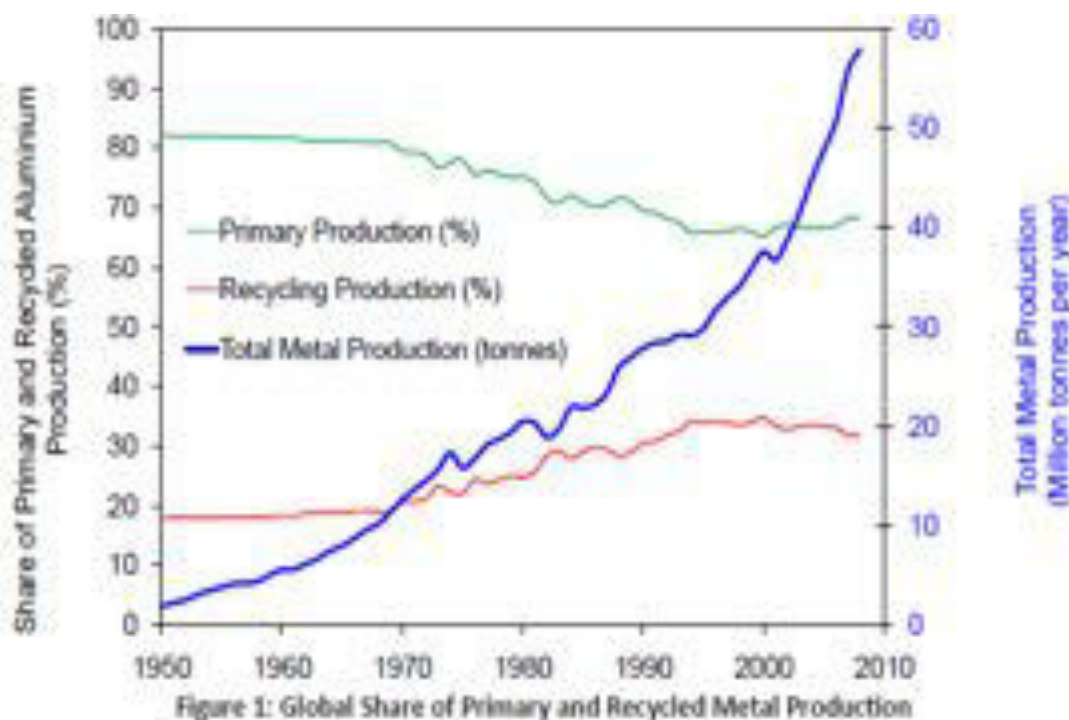
¹ Il faut peut-être rappeler ici qu'il existe des écarts de production liés à l'estimation d'une production dite non déclarée en Chine.

² Aujourd'hui, 50 % du recyclage est effectué à partir de déchets en fin de vie.

ii. L'aluminium recyclé

L'Institut International de l'aluminium (IAI) a entrepris, en 2003, de placer l'industrie de l'aluminium en position de continuer sa croissance par l'optimisation de sa performance environnementale, comme l'explique la préface d'un document¹ de 2009. La ligne de conduite adoptée par les entreprises, membres de l'Association, tend à substituer la mesure raisonnée de tous les flux de matière nés de l'activité, à la vision antérieure, très centrée sur les produits commercialisables. Elle vise à rendre possible la continuité du développement de l'activité dans le temps, par analogie avec la continuité matérielle permise par la facilité du recyclage de l'aluminium. Pour rendre visible son action, elle s'est engagée à publier ses résultats.

La figure ci-dessous montre l'évolution, depuis 1950, des parts respectives d'aluminium primaire et de recyclé :



Il apparaît que, dans les années 1995-2000, la part de la production secondaire a atteint un maximum, peut-être en raison de la contrainte liée à la durée de vie des produits. La croissance des nouveaux pays producteurs qui s'équipent aujourd'hui en biens neufs, place pour eux le problème là où il était il y a une cinquantaine d'années dans les pays déjà industrialisés : ils vont devoir attendre que ces produits arrivent en fin de vie pour commencer à recycler. Cela rend très difficile toute prédiction mondiale des niveaux d'équilibre entre première et deuxième fusions.

¹ *Global Aluminum Recycling: A Cornerstone of Sustainable Development*, IAI 2009.

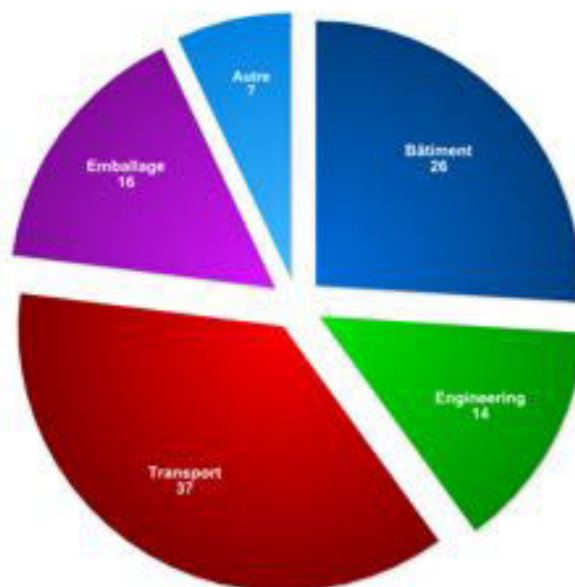
Pour la France en 2011, les chiffres de l'aluminium sont présentés ci-dessous¹

	Production	Consommation	Importations (et proportion d'importations dans la consommation)
Aluminium	820 000	1 100 000	280 000 (25,4 %)
<i>dont alu. primaire</i>	330 000	580 000	250 000 (43 %)
<i>dont alu. recyclé</i>	490 000	520 000	30 000 (6 %)

En métal primaire, la production a été de seulement 330 000 tonnes et les importations de 250 000 tonnes. La consommation totale d'aluminium a atteint 1 100 000 tonnes auxquelles, pour évaluer le niveau d'activité de la filière, il convient d'ajouter les 675 000 tonnes de métal importé pour transformation, filage et laminage réunis. Le métal recyclé a contribué à hauteur de 520 000 tonnes à la consommation (soit près de 47 % de celle-ci, un chiffre particulièrement élevé). Ce résultat illustre bien la réalité du recyclage de l'aluminium en fin de vie. Il justifie *a posteriori* la décroissance de la production primaire qui tend à devenir la règle dans les vieux pays. La production française de métal recyclé a été de 490 000 tonnes. Elle a été complétée par 30 000 tonnes d'importations nettes. Il apparaît par ailleurs que la France est exportatrice nette de déchets usagés d'aluminium, car les recycleurs ont choisi d'importer des déchets de haute qualité qui correspondent mieux à leur spécialisation dans les produits pour l'aéronautique. Au total, les échanges avec l'étranger, spécialisés, sont très importants en métal et en produits transformés.

Les applications sont partagées entre le secteur des transports qui constitue le premier secteur utilisateur (37 %), suivi par celui du bâtiment (26 %), de l'emballage (16 %) ; l'engineering concerne les équipements, éventuellement sur mesure — voir l'éclaté ci-dessous.

Consommation d'aluminium par secteur d'utilisation en 2011
(en milliers de tonnes — kt)



¹ Source : <http://www.aluminium.fr/industrie/industrie-chiffres>

**Le recyclage dépend de la durée de vie des produits,
ce qui s'exprime par des taux différents**

Pour chutes de fabrication	100 %
Pour bâtiment, transport	>95 %
Pour ingénierie	90 %
Pour emballage (plus difficile à collecter)	50 %

En dehors d'une action spécifique et déterminée sur les déchets d'emballage, il sera difficile d'augmenter la part du recyclage et l'activité de la filière aluminium restera durablement dépendante des importations.

Aujourd'hui, la technicité des produits reprend une place importante, à l'image des innovations introduites dans les récents avions de ligne — et dont les défaillances défraient, parfois, la chronique. Les mêmes fonctions peuvent être assurées par des produits contenant de moins en moins d'aluminium et parfois plusieurs matériaux. Les boîtes de boisson s'allègent, la feuille s'amincit, les pièces dans l'automobile, les machines, les composants électriques ou électroniques se miniaturisent encore et se complexifient. Au plan des économies d'énergie et de la protection de l'environnement, c'est pur bénéfice, mais la tâche des recycleurs des produits en fin de vie se complexifie aussi. D'autant plus que les éléments d'addition utilisés limitent les possibilités de recyclage en métal banal. Un tri sélectif des déchets issus de la transformation s'impose.

La mise en œuvre d'une approche globale modélisée, économique et écologique, assure de l'optimisation de l'emploi du métal recyclé. Il serait vain d'espérer améliorer la situation en modifiant la répartition des efforts. La limitation des quantités disponibles, jointe à la longue durée de vie de la plupart des produits, incite à prévoir que les quantités de métal primaire seront longtemps supérieures à celles du métal recyclé disponible. En conséquence, il faut absolument définir les règles qui assureront le maintien de la production européenne d'aluminium primaire au niveau actuel, au moins. L'importance stratégique du métal et la taille de la filière en termes d'emplois qualifiés méritent quelques sacrifices sur le prix de l'électricité. Pour être pleinement écologique, la décision devra inclure une réflexion sur le *product-mix* de la production d'électricité.

Le stock mondial d'aluminium en service est passé de 90 millions de tonnes en 1970 à 600 millions aujourd'hui et il pourrait atteindre un milliard de tonnes en 2020. La part du bâtiment monterait à 35 %, celle des transports à 28 % et celle de l'engineering et du câble électrique à 27 % pour un total de 90 % de produits à longue durée de vie. Ce stock peut être vu comme une énorme réserve d'électricité pour le futur.

CONCLUSION GÉNÉRALE

L'aluminium, un moteur de la croissance

Il semble important de rappeler brièvement les bases et les limites du domaine avant la conclusion proprement dite, car *mutatis mutandis* elles restent utiles pour l'avenir.

La production d'aluminium par électrolyse, mise au point à la fin du XIX^e siècle, a donné naissance à une industrie dont la croissance a contribué à celle de l'économie, tout au long du XX^e siècle et encore aujourd'hui. Son effet d'entraînement a varié dans le temps et l'objectif de la thèse a été de placer les évolutions de la production et de l'offre de produits dans leur contexte économique du moment. Les emplois du « métal blanc » n'ont pas été partout les mêmes, car ils ont été multipliés dans le temps par l'innovation, et surtout, ils interagissaient avec le mode de vie et la culture des pays. Pourtant considérable, augmentant parfois cinq ou six fois plus vite que le PIB, leur apport à l'économie d'un pays n'a pas été assez fort pour être mesurable au niveau macroscopique. À ses débuts, la production était réservée à quelques pays développés ; elle s'est étendue à partir de 1980 et elle se pratique aujourd'hui dans une quarantaine de pays¹. Seulement une dizaine d'entre eux produisent plus d'un million de tonnes par an.

L'aluminium n'existe pas à l'état natif et sa composition chimique naturelle, un oxyde double de fer et d'aluminium, le rendait difficile à isoler. Son **élaboration requiert une technique sophistiquée, coûteuse en investissement, qui consomme une grande quantité d'électricité**. En revanche, sa refusion consomme beaucoup moins d'énergie. La croissance, aux États-Unis et dans les pays qui les ont jadis pris pour modèle, a reposé sur deux paradigmes, le progrès technique permanent et les richesses naturelles inépuisables. Le premier est battu en brèche par le constat de l'accroissement des inégalités dans le monde, susceptible de faire perdre l'espoir à une partie croissante de la population mondiale. Le second est périodiquement mis en question depuis le premier rapport du Club de Rome, les richesses naturelles s'épuisent alors que leur consommation trop rapide a pour conséquence un changement climatique.

À la différence du cuivre et de l'étain, utilisés depuis fort longtemps, **les débuts et les étapes de la production** d'aluminium sont bien connus. Celle-ci commence par l'extraction de la bauxite et continue par une phase chimique, la production d'alumine. Ensuite, l'aluminium — dit primaire — est obtenu par électrolyse de l'alumine dissoute dans un bain de sels fondus. Le métal doit traverser de nombreuses phases de transformation jusqu'à sa commercialisation dans le grand public et la propriété de l'aluminium d'être recyclé indéfiniment permet aux produits en fin de vie de devenir des déchets recyclables. Le coût d'approvisionnement en alumine joue un rôle fondamental dans la

¹ La production mondiale s'est élevée à 45,9 millions de tonnes en 2012 et à 47,3 (estimation) en 2013. La capacité de production s'élevait à 57 millions de tonnes en fin d'année 2012 et à 61,9 (estimation) en 2013. Source : USGS.

rentabilité de toute la filière industrielle. Cependant *a posteriori* seul le résultat compte et **l'aluminium produit est considéré seul dans l'étude**, qu'il soit métal primaire ou métal secondaire récupéré et refondu.

Encore dans les années 1970, l'industrie de l'aluminium englobait toutes les activités, intégrées au sein de la même entreprise, de la mine au recyclage, et 80 % de la production mondiale de métal étaient dus à quelques grands groupes, américains et européens. **L'étude a montré pourquoi et à quel moment l'intégration n'a plus constitué un optimum.** De nouveaux producteurs étaient entrés sur le marché devenu mondial et beaucoup limitaient leur vision au seul métal. Depuis lors, la consolidation de la production a été effectuée, non plus par producteurs, mais par pays.

En 2012¹, à titre d'ordres de grandeur, l'industrie européenne de l'aluminium - UE(27) +AELE² - employait directement 255 000 personnes et environ un million en emplois indirects ; son chiffre d'affaires a atteint 36,8 milliards d'euros pour une production de 2,1 millions de tonnes d'aluminium primaire et 4,1 millions de tonnes d'aluminium recyclé ; chaque citoyen européen a consommé en moyenne 22 kg d'aluminium ; les émissions de gaz à effet de serre³ (GES) ont été de 1694 kg de CO₂ équivalent par tonne d'aluminium, en diminution de 50 % par rapport à 1997.

L'électrolyse rejette donc de grandes quantités de dioxyde de carbone. La production d'électricité à partir d'énergie primaire – charbon surtout, dans le cas de l'aluminium - génère, elle aussi, des GES. En conséquence, **la protection de l'environnement** exige des précautions de tous les instants. La plus efficace consiste à économiser l'aluminium, ce que font par exemple les transformateurs en diminuant les épaisseurs des produits, et les fondeurs en ajoutant de petites quantités de métaux qui augmentent les performances mécaniques. Au final, l'aluminium se recycle et la refusion consomme 20 fois moins d'électricité que la production primaire sans produire de GES, ce qui constitue un avantage indéniable qu'il convient d'utiliser au maximum.

Pour promouvoir l'aluminium qui a toujours été en compétition avec l'acier, et faire connaître au public les progrès accomplis chaque année dans la préservation de l'environnement, les Associations de producteurs d'Europe (EAA) et des États-Unis (IAI) ont introduit **la notion de « soutenabilité »**⁴ de la croissance. Un bilan matière annuel sert à connaître tous les détails de la vie du produit et des sous-produits jusqu'à leur mise au rebut et leur récupération, afin de contrôler les rejets de toute sorte et de les réduire progressivement. Il anticipe les décisions politiques qui ne manqueront pas d'être prises, un jour, pour limiter les émissions de GES sur la planète⁵.

En général, de nombreux **événements exogènes** influent sur le cours des choses industrielles. Parmi ceux qui ont le plus fortement affecté l'aluminium se trouvent les Guerres Mondiales, la guerre de Corée, la crise de 1929, la décision du Juge Hands dans le procès 'USA vs Alcoa', les chocs

¹ Source : EAA, Les indicateurs de développement durable de l'industrie de l'aluminium en Europe, Faits et chiffres clés 2012.

² UE(27) représente les 27 pays membres de l'Union Européenne et l'AELE regroupe aujourd'hui la Suisse, la Norvège, l'Islande et le Liechtenstein.

³ « Les gaz à effet de serre sont produits soit par des réactions chimiques durant le processus de production (notamment la consommation de l'anode lors de l'électrolyse), soit par la combustion d'énergie fossile (par exemple dans les chaudières et les fours de calcination de l'alumine ou dans les fours de fonderie) », EAA.

⁴ « L'industrie focalise ses efforts sur tous les aspects d'un concept de développement soutenable qui privilégie trois dimensions : les avantages économiques, le bon sens environnemental et le bien-être social ». Traduction libre. *Aluminum: The Element of Sustainability A North American Aluminum Industry, Sustainability Report*, The Aluminum Association (EAA) September 2011.

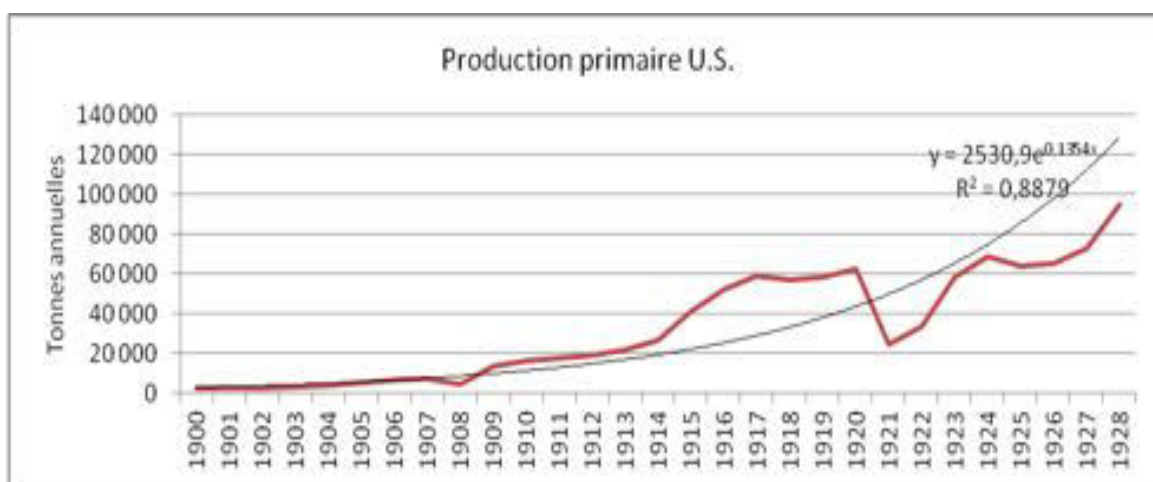
⁵ Par exemple, par l'intermédiaire d'une taxe carbone qui favoriserait la récupération et le recyclage. Une autre voie *a priori* serait constituée par une taxe sur les produits du sous-sol.

pétroliers, l'introduction d'un contrat sur l'aluminium au LME, la dérégulation bancaire, les variations des taux de change, l'éclatement de l'URSS et le décollage de la Chine, de l'Inde et du Brésil. **Pour l'électricité**, la liste précédente est plus courte et géographiquement limitée. Elle part de l'hydroélectricité des débuts et va jusqu'à l'électrification du monde grâce à l'énergie primaire, elle passe par les besoins militaires et la satisfaction de la demande civile grâce aux découvertes successives de gisements de charbon, de pétrole et de gaz, elle subit la nationalisation en France et souffre de l'insuffisante pluviosité dans l'Ouest américain, etc. Aussi, outre l'électrolyse, **l'aluminium et l'électricité sont complémentaires, surtout** pendant la phase de développement d'une l'économie par l'électrification : lignes de transport de courant sous haute tension en aluminium, progrès des redresseurs et des transformateurs, bobinage des moteurs électriques, par exemple des appareils électroménagers. L'un sert la croissance de l'autre.

Il a été jugé intéressant d'introduire dans ce travail une **vue aussi large que possible de l'aluminium dans le monde**, afin de faciliter les comparaisons dans le temps et entre pays. De nombreux graphiques sont donnés dans ce but. Pour approfondir, il a été nécessaire de tirer parti de la libéralité américaine en matière d'information et d'accès aux sources bibliographiques. C'est donc l'étude des États-Unis et du Canada voisin qui a été la plus fouillée, elle peut servir d'exemple voire de modèle de choix. Les deux pays se complètent grâce à des stratégies inverses : depuis plus de 20 ans les États-Unis diminuent leur production alors que les producteurs canadiens veulent développer encore davantage la leur, avec du courant d'origine hydroélectrique pas cher.

De nombreuses pistes de réflexion ont été approfondies au cours de ce travail et les plus importantes vont être reprises maintenant, en tournant le regard vers l'avenir :

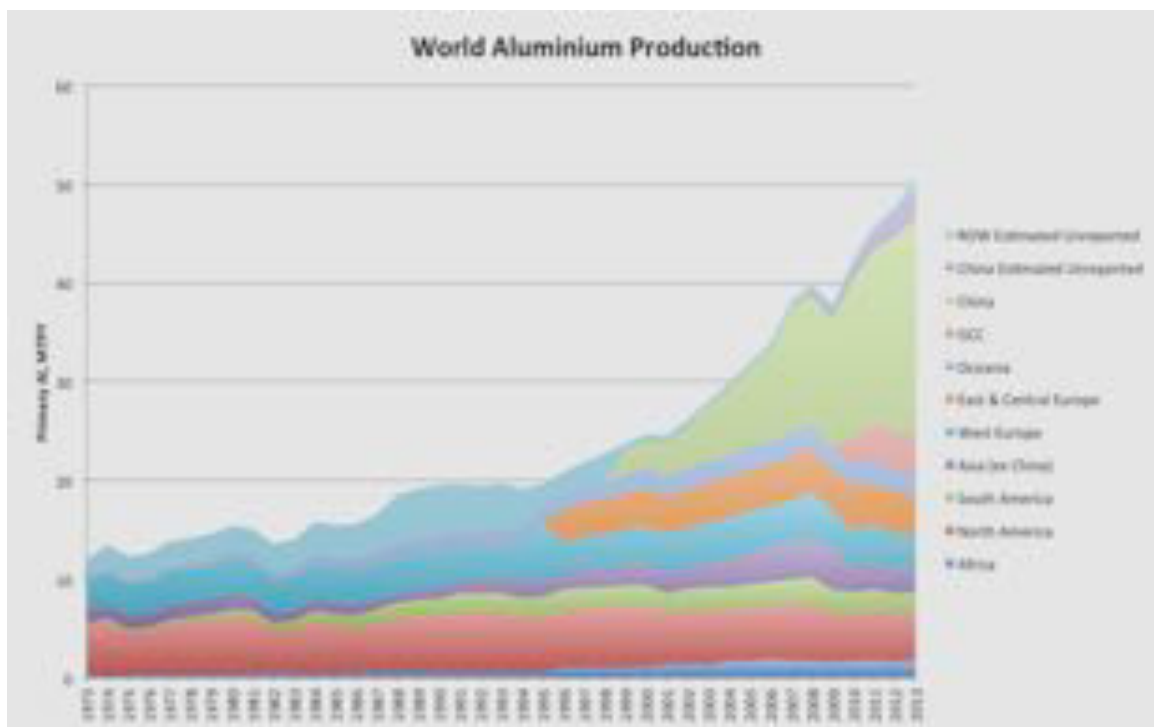
1. Les producteurs des premiers pays atteints par la vogue du « métal blanc » ont voulu produire très vite pour réussir leur entrée. L'impulsion initiale donnée par l'hydroélectricité pour développer l'offre a été très forte, voir ci-dessous la courbe des USA qui, de 1900 à 1929, présente une forte tendance exponentielle. La première crise de surproduction, celle de 1908, a été vite résorbée ; celle d'après-guerre, plus ample, a duré plus longtemps et déjà la Grande Crise de 1929 s'annonçait.



Source : USGS.

La Première Guerre avait fait découvrir l'intérêt stratégique du métal léger, d'abord par les alliages pour les moteurs d'avions puis par de nombreuses autres applications qui furent ensuite adaptées à la vie civile. La Seconde Guerre a confirmé l'importance primordiale de l'aluminium. Elle a été suivie de deux périodes de forte croissance, de 1950 à 1973 et de 1995 à 2008, première année

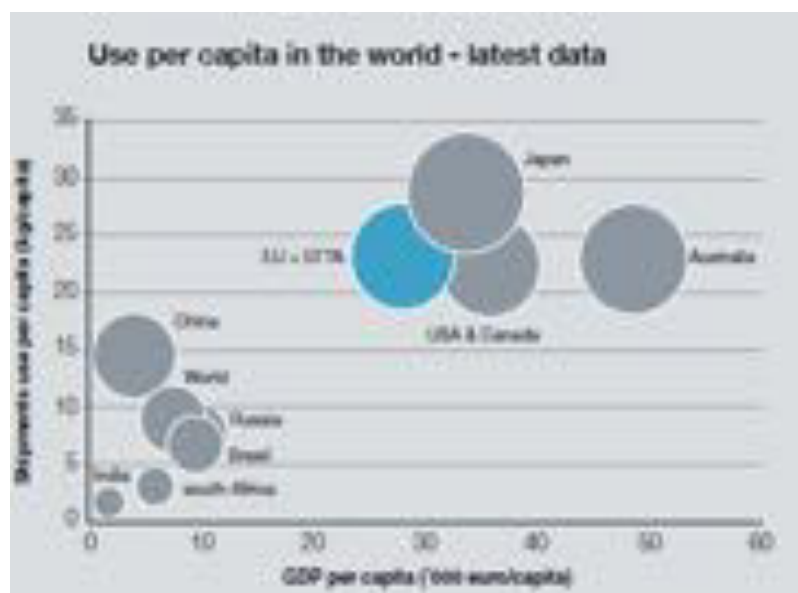
d'une grave crise financière. Mais entre les deux, **le lieu de cette croissance s'était déplacé** — voir *deuxième point ci-dessous*. Le taux de la croissance américaine a diminué et il est devenu négatif à partir des années 1980. À l'inverse, la production primaire mondiale a continué sa croissance, soutenue par celle des pays de l'Europe de l'Est, de la Chine et des pays du Golfe qui bénéficiaient d'un prix du courant particulièrement bas – voir graphique de la production mondiale ci-dessous, en millions de tonnes par an, de 1973 à 2013. En conséquence, les producteurs occidentaux et surtout les Européens se trouvent aujourd'hui en difficulté.



Source :

http://thebauxiteindex.com/en/cbix/industry-101/alumina-101/production-trade/outlook#alumina_101

2. Les nouveaux arrivants et le second souffle. Après la Seconde Guerre, la production du monde sans les USA devient significative. Elle aussi est bien représentée par des exponentielles sur des périodes courtes. Moins



pays familièrement surnommés les BRIC — Brésil, Russie, Inde et Chine auxquels s'est ajoutée

l'Afrique du Sud faisant d'eux les BRICS — a concrétisé cette évolution. Puis, « l'année 2011 a montré un lent basculement des équilibres économiques mondiaux en faveur des BRICS¹ » qui cumulent une part croissante de la production mondiale des richesses. Dans l'aluminium, ce partage a été fortement accentué par la vive croissance de la Chine. La situation en 2012 est figurée ci-dessus² par les emplois en kilos d'aluminium par tête en fonction des PIB en milliers d'euros par tête. La consommation d'aluminium y apparaît discriminante entre les pays, autant que le PIB. La représentation des deux indicateurs sur deux axes permet une classification fine des pays entre pays développés, pays en développement et pays pauvres, absents, et une comparaison entre les croissances annuelles respectives des deux grandeurs, soit $d(\text{PIB per capita})/d(\text{conso. d'Al per capita})$ ou croissance du PIB plus ou moins intensif en aluminium.

3. La très forte consommation d'électricité au cours de l'électrolyse a toujours imposé la localisation géographique de la production d'aluminium primaire à proximité de la source de courant. Aujourd'hui, seuls les pays qui disposent d'un fort potentiel hydraulique ou de ressources abondantes de charbon, de pétrole, ou de gaz peuvent espérer rentabiliser leur production. La croissance de la population et de sa consommation, domestique et de services, a entraîné l'augmentation des emplois de l'électricité plus rémunérateurs et chassé l'aluminium de ses premiers fiefs, ou au moins limité son expansion. L'histoire de la production aux États-Unis le montre³ et elle est susceptible de se répéter dans les pays en développement les plus peuplés. Pour conserver son niveau de production d'aluminium primaire, voire pour l'augmenter, le Québec qui dispose de puissants fleuves dans le nord doit agir au niveau politique auprès de son producteur d'électricité, Hydro Québec. Une situation comparable, au fond, est celle des six pays du Moyen-Orient (Gulf Cooperation Council, GCC sur le graphique) qui, partant de zéro⁴, ont créé en trente ans une industrie très importante et performante parce qu'ils disposaient de gaz naturel quasi gratuit – et aussi de capitaux locaux ! La Chine a développé très rapidement sa production d'aluminium à partir de charbon ou de lignite, présent sur son sol ou importé. Sur le plan des conséquences pour l'environnement, ces trois cas ne sont évidemment pas équivalents, sur le plan des coûts de production non plus. Il n'existe aucun signal public, aucun indicateur de situation qui augmenterait la transparence du marché, chaque pays développe et protège son industrie ! Toute décision est opportuniste et souvent la première réalisation est proposée à un producteur réputé pour sa fiabilité et ses résultats techniques. Souvent aussi, il s'agit d'un transfert de technologie... à « un coup ». De plus, une installation de production primaire peut être complétée par des investissements en amont - transformation de bauxite en alumine – et/ou en aval - fabrication de produits pour des ventes à l'export. Dans ce cas, **l'objectif industriel n'est pas la croissance pour et par la création d'emplois, mais la rapide rentabilité de l'investissement** grâce au faible prix du courant. Le jeu est financier, asymétrique et mondial, il engage l'avenir pour les prochaines décennies. Une politique à courte vue et/ou un biais de concurrence durable seraient coûteux pour le bien-être de la collectivité et pour l'avenir de la filière, en raison de son temps de réaction élevé.

¹ <http://www.ladocumentationfrancaise.fr/dossiers/d000534-l-emergence-des-brics-focus-sur-l-afrique-du-sud-et-le-bresil/la-montee-en-puissance-du-groupe-des-brics-bresil-russie-inde-chine-afrique-du-sud#>

² « La consommation d'aluminium est fortement corrélée au PIB par tête. L'Europe est une des régions, avec l'Amérique du Nord et le Japon, où la consommation totale et la consommation par tête sont les plus élevées du monde. Le niveau plus bas des BRIC montre un potentiel de croissance considérable pour la consommation d'aluminium. Toutefois, cette vision d'ensemble contredit les tendances de court terme du marché européen de l'aluminium en 2012 ». Source du graphique et du commentaire: EAA, Activity Report, 2012, traduction libre.

³ Cf. Partie B.

⁴ Il faut préciser, car cela ne se voit pas sur le graphique, que l'usine de Dubaï, Dubal Aluminium, a démarré en 1979. Devenue une des plus grandes usines du monde, elle produit aujourd'hui un million de tonnes par an.

4. Pendant des années, la production d'aluminium primaire des États-Unis est restée en **surcapacité**, ce qui limitait le profit des entreprises sans que l'utilité de cette menace concurrentielle apparaisse clairement. Le taux de marche¹ annuel, qui mesure l'ampleur de la situation, a oscillé entre 70 et 90 %. Il a diminué entre 2012 et 2013 pour atteindre 72,8 %. Alcoa a fermé ses usines les moins rentables et le pays compte de plus en plus sur les importations de métal, avec le filet de sécurité que constitue le Canada. D'une manière autoritaire, **la Chine dont la production excédentaire comble sur le papier le déficit occidental**, tente aujourd'hui de décourager ses producteurs les moins rentables en augmentant le prix du courant : la question qui se pose à « *la communauté économique mondiale (?)* » est de savoir où et combien produire demain ? Vaut-il mieux fermer là-bas pour réinvestir ailleurs, par exemple en Afrique ou en Australie, ou transporter au loin le métal² produit ? La réponse est stratégique et elle appartient d'abord à la Chine, elle dépendra de la manière dont la question sera posée et des facteurs politiques qui seront pris en compte pour y répondre. La répétition du passé suggérerait un déplacement de la production, mais vers quel pays « neuf » et avec quel objectif ?



5. Sous l'effet conjugué des progrès de la technique et de la gestion des produits, la **frontière entre 1^{re} et 2^e fusions a eu tendance à s'estomper**³, tant dans les emplois que dans les écarts de prix. Cette évolution a été favorable au développement de la refusion des déchets qui améliore en même temps le bilan thermique et le bilan environnemental d'ensemble. Après la Seconde Guerre, dans le monde comme aux États-Unis, le recyclage est venu en renfort pour économiser l'électricité et satisfaire la demande croissante. Depuis une vingtaine d'années, pour effacer l'image dépassée de pollueur et anticiper l'arrivée de nouvelles Normes de protection de l'environnement relatives aux

¹ Ratio de la production sur la capacité de production.

² Le métal brut voyage mieux et à moindre coût que le métal transformé.

³ Une preuve supplémentaire peut être trouvée dans le fait que *the Organisation of the European Aluminium Recycling Industry* (OEA) a été intégrée dans *the European Aluminium Association* (EAA) en janvier 2013. La Division Recyclage formée à cette occasion s'est fixé trois objectifs : 1) faire des recommandations en matière de législation et de politiques dans l'UE, 2) développer les connaissances technologiques et statistiques, et la recherche, 3) devenir plus visible dans les pays non membres et recruter de nouveaux adhérents. Source: EAA, Activity Report 2013, Contributing to a Competitive Europe.

gaz à effet de serre, les associations internationales de producteurs établissent un bilan matière annuel, exhaustif, qui sert aussi à identifier des « gisements de progrès ». Le schéma circulaire ci-dessus met en évidence les cinq stades d'un produit, de la mine à sa fin de vie, ainsi que leurs relations avec l'environnement, car chaque stade génère des déchets qu'il faut contrôler et réduire. (Source : Guide to Life Cycle Management, UNEP 2005. L'original de ce schéma est dû au Département australien de l'Environnement et du Patrimoine). Cependant, une nouvelle difficulté est prévisible, liée à la recherche de performances extrêmes du métal léger en concurrence avec l'acier dans l'automobile. En effet, les métaux d'addition responsables de cette augmentation des performances pourraient rendre le recyclage des produits plus difficile¹.

6. Conséquence de la durabilité et des excellentes propriétés de l'aluminium, des centaines de millions de tonnes de métal ont été accumulées depuis le début de la fabrication et il est question aujourd'hui d'atteindre le **milliard de tonnes** dont une partie se trouve en décharge. Certes, l'augmentation de la population mondiale et l'élévation du niveau de vie moyen ont logiquement provoqué l'accumulation des produits « en roulement ». Mais le nombre de tonnes impressionne. Il incite à s'interroger sur la recherche d'un éventuel « niveau raisonnable », plus en rapport avec les préoccupations environnementales d'aujourd'hui, et sur un rythme d'augmentation « soutenable » en relation avec la croissance du PIB mondial. L'exemple du Rapport Meadows de 1972, qui suggérait déjà d'aller dans cette voie, n'incite pas à espérer une avancée rapide. En outre, les déséquilibres régionaux entre production et consommation d'un métal considéré naguère comme stratégique pourraient devenir préoccupants. En revanche, dans la période actuelle de ralentissement de la croissance où les équilibres partiels changent moins, le modèle linéaire américain d'accumulation généralisée, adopté jadis par les pays dits développés, pourrait faire l'objet d'une évaluation critique de la consommation de matériaux neufs² ou recyclés et d'énergie fossile qui l'alimente. Un modèle du cycle de vie, plus économe, accompagné d'une politique de **recyclage systématique** dès la mise au rebut des produits, analogue au système centralisé construit par Alcoa aux USA pour les boîtes de boisson, pourrait servir d'exemple aux pays en développement et même aux autres, dans un cadre mondial d'incitations à économiser l'énergie. Enfin, les actions de recyclage en fin de vie, d'ensembles particulièrement complexes comme les avions, peuvent faire l'objet d'initiatives industrielles aidées par les pouvoirs publics³.

7. Son entrée au LME en 1978, à l'aube de la financiarisation galopante, a fait de l'aluminium une commodité, avec tous les excès possibles d'un monde clos, mal connu et peu aimé des industriels à l'époque. Les quelques entreprises productrices ont rapidement perdu tout pouvoir de marché et, à la même époque comme l'a décrit John K. Galbraith, les dirigeants d'entreprise ont changé leurs objectifs. Ils ont mis l'accent sur la réduction des coûts, génératrice de profits à court terme, et non plus comme précédemment sur les gains de productivité, gages de profits durables. En conséquence, directe ou indirecte, de nombreuses usines d'aluminium, non profitables au sein de leurs groupes respectifs de gestion, ont progressivement cessé leur production. La carte mondiale ci-dessous

¹ Il a été montré notamment que des alliages d'aluminium contenant quelques pour cents de cuivre devenaient difficiles à réintroduire dans le circuit de recyclage et restaient parfois longtemps en stock. Un remède pourrait être trouvé dans la création de filières spécifiques, à l'image de celle du recyclage des boîtes de boisson.

² Un exemple récent de pénurie semble concerner le sable de construction.

³ M. Le Cacheux a ainsi signalé l'implantation à Tarbes d'une unité de déconstruction d'avions en fin de vie. « Tarmac à Tarbes : phase industrielle du projet pilote européen Pamela ; avec plus de 10 000 avions commerciaux hors d'usage d'ici 2030 dans le monde, le marché du démantèlement aéronautique émerge en France à travers deux filières. Une fois les fluides et les matières dangereuses prélevés, les pièces seront réutilisées ». Source :

<http://www.actu-environnement.com/ae/dossiers/transport-recyclage/recyclage-avions-commerciaux.php>

indique l'emplacement des fermetures, entre 2007 et 2013. Pour la plupart, elles étaient situées en Amérique du Nord et en Europe, leur technologie était ancienne et elles nécessitaient des rénovations coûteuses. Les recherches menées par les auteurs de cette carte, sur les causes des fermetures citent les tarifs d'électricité comme facteur déterminant, puisque leur hausse incontrôlable ne peut pas être répercutée sur le prix des produits, fixé par ailleurs. L'enjeu crucial des discussions entre fournisseur d'électricité et électrolyseur, usuelles à chaque hausse du prix du courant, est en effet la conclusion, ou pas, d'un accord sur des tarifs d'électricité compétitifs. Seul le Québec, riche de son eau, semble avoir pris les mesures nécessaires à la continuation des opérations des compagnies installées sur son territoire. À court terme, l'évolution en Chine reste incertaine et l'avenir de la filière dans le monde en dépend.

Fermeture d'usines d'aluminium dans le monde entre 2007 et 2013



Source : Association de l'aluminium du Canada (AAC)
Commission sur les enjeux énergétiques du Québec, septembre 2013.

8. Le fonctionnement du LME¹ lui-même, en tant que fournisseur de métal physique, a été sévèrement critiqué par d'importants clients américains, en 2014, et un litige porté devant les tribunaux. La plainte fait état d'attentes de plusieurs mois avant la mise à disposition du métal par des détenteurs de stocks officiels. Le premier jugement n'a pas été favorable aux plaignants. Une autre dimension du fonctionnement du LME mise en question, éventuellement liée à la précédente, concerne une prime de livraison qui s'ajoute au prix publié. Son montant atteint aujourd'hui des sommets et le sujet est traité dans la presse spécialisée² de fin janvier 2015, qui se pose la question de savoir quand la prime, d'existence ancienne, retrouvera un niveau qui permette de considérer que le prix de l'aluminium au LME constitue le juste prix de marché. En effet, au Japon, la prime du

¹ Dans une lettre au LME du 6 février 2015, rendue publique, Alcoa répond à une proposition de changement des règles de fonctionnement du marché. Cette réponse est critique sur tous les plans et déplore la place croissante faite à la finance. Source : site Alcoa.

² Article d'Andy Home dans Inside Metal, publication de Thomson Reuters, janvier 2015. Toutes les valeurs numériques en sont issues.

premier quadrimestre vient d'être fixée à 425\$/tonne. Elle s'ajoute au prix cash. Elle n'a augmenté que de 5\$/t par rapport à la période précédente, mais elle était de 255\$/t il y a un an et de 114\$/t l'année d'avant. L'écart entre le prix réel du marché et le prix du LME, déjà important il y a deux ans, augmente donc encore et chacun s'interroge sur les causes et sur les chances de revenir prochainement aux valeurs connues auparavant¹. En outre, l'article cité relève une contradiction entre le fait que les stocks japonais soient excédentaires - situation assez générale en Asie - et que la prime n'en finisse pas de monter, apparemment tirée vers le haut par les primes du marché nord-américain qui atteignent 535\$/tonne ! Faute d'explication, la finance² est montrée du doigt.

9. L'avenir de la production : La production mondiale d'aluminium de 1973 à 2013, montrée plus haut, fait apparaître 2 périodes distinctes de croissance. De 1973, époque faste où tout semblait pouvoir continuer de même, à 1994-95, la production croît quasi linéairement, en moyenne d'environ 3 % par an, avec des creux importants en 1982-84 et 1985-87. Au cours des années 1994-95, la production mondiale chute à nouveau et la cause semble liée à l'effondrement de l'URSS (décembre 1991) qui s'est accompagné de la mise sur le marché de tonnages très importants de métal. Un accord international a été conclu en 1995. La croissance reprend en 1996 à un rythme accéléré, d'abord avec l'appoint de l'Europe de l'Est et Centrale, puis à compter de 1998, la croissance de la Chine et enfin, à partir de 2005, la production des pays du Golfe. De 1995 à 2008, la production mondiale double et passe de 20 à 40 millions de tonnes par an. Cette « prise de pouvoir », analogue à la crise initiée par l'augmentation du prix du pétrole des années 1970, a la même cause mais en sens inverse, un bas prix de l'électricité fournie en dehors des conditions du marché – en Chine, et dans certains pays du Moyen-Orient³ - qui autorise la production d'aluminium à des coûts hypercompétitifs. Après la récession de 2008-2009, la production est repartie à la hausse et la question se pose d'estimer la croissance future.

Des prévisions à l'horizon 2030 ont été faites par le CRU, consultant réputé dans le milieu de l'aluminium, elles sont schématisées sur la courbe de croissance ci-dessous. Les commentaires qui accompagnent la prévision – qui paraît optimiste pour les tonnes et préoccupante⁴ pour leurs conséquences – soulignent l'effet d'entraînement de la croissance économique des BRICS et d'autres pays émergents comme l'Indonésie et la Malaisie, sur « la demande d'aluminium en provenance des marchés de débouchés (transport, construction, etc.) ». De plus, dans le transport, de nouveaux marchés spécifiques s'ouvrent qui tendent à réduire davantage le poids des véhicules, suivant l'exemple du F-150 de Ford qui connaît un grand succès aux États-Unis.

Les chiffres illustrent bien **l'ampleur du déplacement des lieux de consommation dans le temps** : « en 2000, l'Amérique du Nord représentait 29 % de la consommation mondiale et la Chine 12 %. En 2030, l'Amérique du Nord ne devrait plus représenter que 8 % de la consommation mondiale et la Chine 48 %. » Face à un tel basculement, les producteurs ont tendance à se rapprocher des plus gros marchés de consommation d'aluminium primaire et, même si des progrès restent à faire, à développer le recyclage à domicile. Toujours selon la même source, « en 2022, 61 % de la capacité de

¹ Quelques pourcents du prix LME.

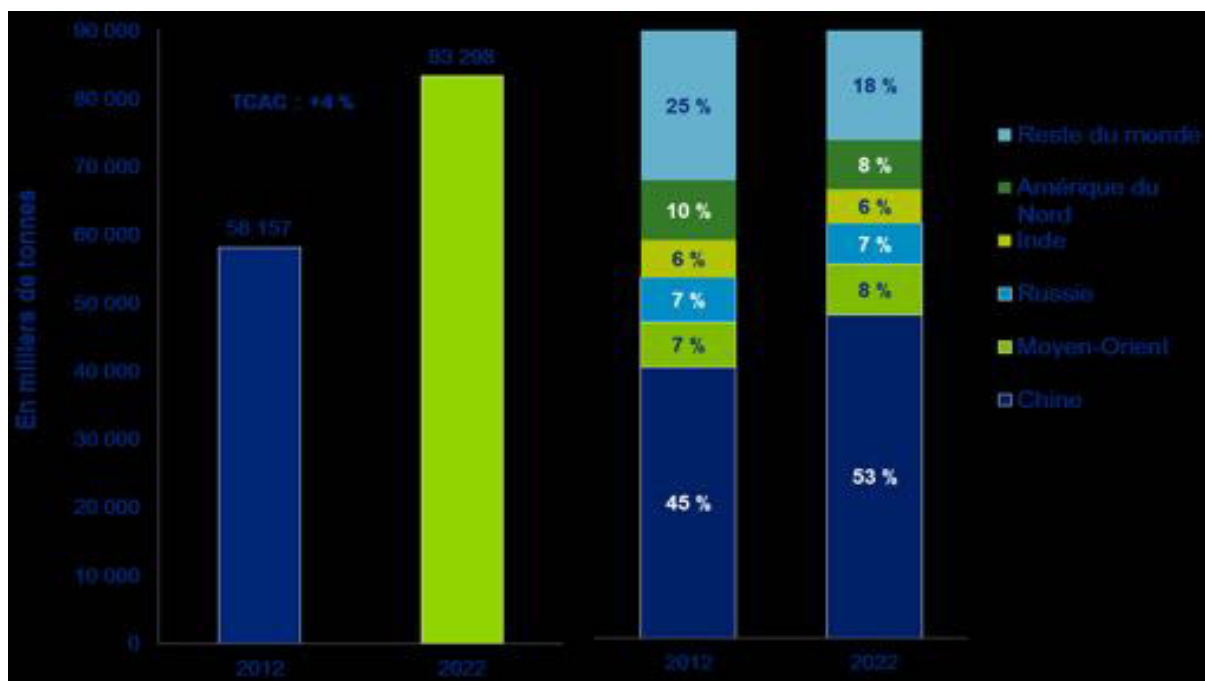
² « *Stock and finance trade* » dans le texte.

³ Principalement les Émirats Arabes Unis, le Bahreïn et l'Arabie Saoudite.

⁴ Les préoccupations imputables à la forte croissance de l'aluminium ont une double origine, les émissions de GES à la fois par l'électrolyse et par la production d'électricité, quand celle-ci est due à la combustion d'énergie fossile. Ce souci du futur est à l'origine de l'accent mis sur le recyclage, dans ce travail. En outre, on peut penser qu'une croissance plus économe en énergie fossile peut aussi bien contribuer à l'amélioration du bien-être. Le Rapport Annuel 2013 de l'EIA considère, pour les États-Unis, que jusqu'en 2040 la croissance économique (PIB) et la consommation d'électricité iront de pair.

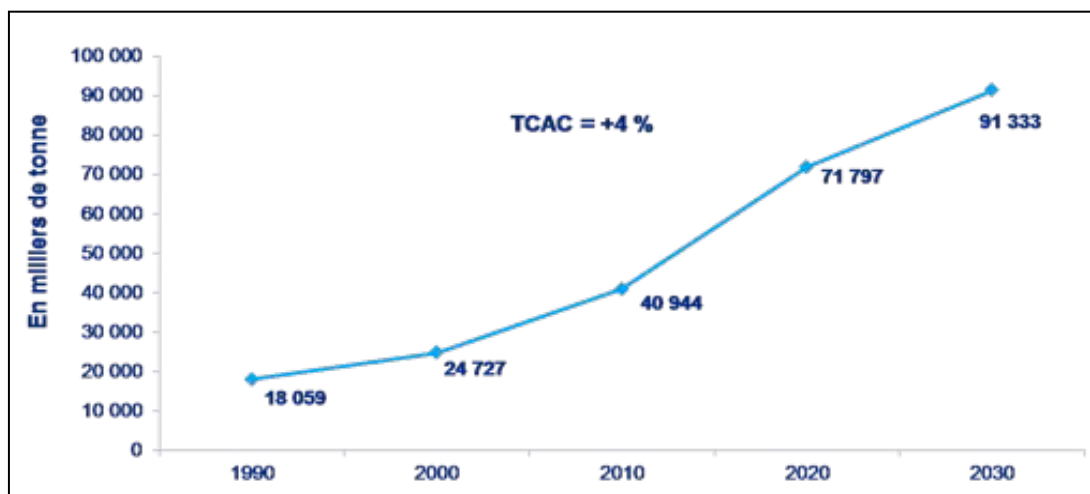
production mondiale seront concentrés en Chine et au Moyen-Orient ». Les deux graphiques ci-dessous illustrent l'évolution à venir, ils sont aussi dus au CRU. Paradoxe du XXI^e siècle, une telle configuration n'est pas sans rappeler les « monopoles » des producteurs d'aluminium du siècle précédent...

L'aluminium dans le monde entre 2012 et 2022



Source : CRU, The Long Term Outlook for Aluminium. Dec. 2011.

Évolution de la consommation mondiale d'aluminium primaire de 1990 à 2030



Source : CRU, The Long Term Outlook for Aluminum. May 2012 update
(TCAC= taux de croissance annuel composé).

BIBLIOGRAPHIE

- Abraham-Frois (G.), Économie politique, *Economica*, 6^e édition, 1996.
- Abraham-Frois (G.), Introduction à la micro-économie, *Economica*, 2004.
- Abraham-Frois (G.), *Dynamique économique*, Dalloz, 9^e édition, 2002.
- Aluminum Association (The), *Aluminum : The Element of Sustainability, A North American Aluminum Industry Sustainability Report*, September 2011. Source : http://www.aluminum.org/sites/default/files/Aluminum_The_Element_of_Sustainability.pdf
- Arena (R.), Quéré (M.), *The Economics of Alfred Marshall, Revisiting Marshall's Legacy*, Edited by Palgrave Macmillan, 2003.
- Bain (J. S.), *Economies of Scale, Concentration, and the Condition of Entry in Twenty Manufacturing Industries*, The American Economic Review, Vol. 44, No. 1 (March 1954), pp. 15-39.
- Bain (J. S.), *Industrial Organization*, Wiley, 1959.
- Barrand (P.), Gadeau (R.), *L'Aluminium* (Tome 1), Éditions Eyrolles 1964.
- Belfield (R. B.), *The Niagara Frontier: the Evolution of Electric Power Systems in New York and Ontario, 1880-1935*, University of Pennsylvania, 1981.
- Bertilorenzi (M.), Thèse de doctorat d'histoire Pr. Barjot D., Pr. Segreto L., Florence 21 juin 2010, 391 pages. Réf : *Les Cahiers d'histoire de l'aluminium*, <http://www.histalu.org/accueil.php/>
- Bezbakh (P.), Gherardi S., *Dictionnaire de l'économie*, Larousse, 2008.
- Blanchard (R.), *Les forces hydro-électriques pendant la guerre*, publication S.D.N., 1926.
- Bodén (L.), *La Suède affiche ses ambitions*, n° 9 Énergie, Un risque de pénurie, novembre 2004, www.constructif.fr
- Bourguinat (H.), *La Finance Internationale*, Collection Thémis Économie, Presses Universitaires de France, 1^{re} édition 1992, mise à jour en novembre 1995.
- Boyer (R.), Dehove (M.), Plihon (D.), *Les crises financières*, CAE, La Documentation française, Paris, 2004 (414 p).
- BP, *Statistical Review of World & Energy Historical Statistics of the United States, 2010. Price of oil in 2010 dollars per barrel, 1860-2010*.
- Brault-Vattier (Thierry), *Commentaires sur l'introduction de l'aluminium au London Metal Exchange*, Mémoire de Master, UPPA, 2007.
- Broder (A.), L'économie française au XIX^e siècle et Histoire économique de la France au XX^e-1914-1997, Synthèse Σ Histoire, Ophrys, 1993 et 1998.
- Broder (A.), *La multinationalisation de l'industrie électrique française, 1880-1931, Causes et pratiques d'une dépendance*. In : *Annales Économies, Sociétés, Civilisations*, 39^e année, n°5, 1984, pp. 1020-1043.
- Brubaker (S.), *Trends in the World Aluminum Industry*, Johns Hopkins Press, 1967.
- Buenstorf (G.), Klepper (S.), *Heritage and Agglomeration : The Akron Tyre Cluster Revisited*, September 2, 2008 Forthcoming in *The Economic Journal*.
- Campbell (D. C.), *Mission mondiale, Histoire d'Alcan*, par Editions Ontario Publishing Company Limited, 1985.
- Cardot (F. éd.), *Un siècle d'électricité dans le monde, 1880-1980*, PUF, 1987.
- Cardot (F.), *L'histoire de l'électricité en France*, dans *Un siècle d'électricité dans le monde, 1880-1980*, Actes du Colloque, PUF 1987, pp.69-83.
- Carr (Ch. C.), *Alcoa an American Enterprise* Rinehart & Co., Inc., New York, 1952 dans J. Chem. Educ., 1952, 29 (6), p. 322. Source : https://openlibrary.org/books/OL14323530M/Alcoa_an_American_enterprise
- Caves (R.), *American Industry: Structure, Conduct, Performance*, 7th edition, Prentice Hall, 1992.

- Caves (R.), Jones (R.), *Économie internationale, I. Le Commerce*, Armand Colin, Paris, 1981.
- Célérier (C.), *Comment faut-il payer les patrons ?* Commentaire sur une étude du CEPREMAP (ENS Paris).
- Chabaud (D.), Parthenay (Cl.), Perez (Y.), Williamson (O. E.), contribution majeure à l'analyse économique des organisations, 2008.
- Chamberlin (E.), *Monopolistic Competition*, *Economica*, New Series, Vol. 18, No. 72 (Nov., 1951), pp. 343-362.
- Chardonnet (J.), *La répartition de l'industrie européenne de l'aluminium*, *Revue économique* Année, 1950 volume 1 n°5, pp. 597-607.
- Clark (J. B.), *The Distribution of Wealth* (1899).
- Coase (R. H.), *The Nature of the Firm* (1937) *Economica* Volume 4, Issue 16, pages 386-405, November 1937
- Commission Européenne — Mémo/13/954 06/11/2013.
- Commodities Research Unit (CRU) *Monitor* (2009)
- Crowson (Ph.), Sampson (R.), *Managing Metals Price Risk with the London Metal Exchange*, Edited by Phillip 3rd Edition September 2005, The LME Limited.
- Crussard (Ch.), *Histoire de la science et de la technique dans le développement de l'aluminium*, Cahier d'histoire de l'aluminium, 2, hiver 1987-1988.
- Dales (J. H.), *Fuel, Power and Industrial Development in Central Canada*, *American Economic Review*, May 1953.
- Davenport (P.), *Capital Accumulation and Economic Growth*, (1976), Thèse de doctorat non publiée, Université de Toronto, Department of Political Economy.
- Davenport (P.), *Investissement, progrès technique et croissance économique*, l'Actualité économique, vol. 58, n° 1-2, 1982, p. 153-190. Version numérique : <http://id.erudit.org/iderudit/601018ar>
- De Beir (J.), Girmens (G.), *Alcoa revisité : Recyclage, pouvoir de marché et politiques environnementales*, *Économie Internationale* Volume 120, Issue 4, 2009, pp. 37-52.
- De la Brosse, *La Houille blanche dans les Alpes françaises au début de 1916*, *Revue Générale d'Électricité*, 10 févr. 1917, p. 233-236.
- DeLong (J. B.), *Robber Barons*, University of California at Berkeley, and NBER, First draft October 13, 1997 ; second draft January 1998
http://econ161.berkeley.edu/econ_articles/carnegie/delong_moscow_paper2.html
- Diemer (A.), *La technologie au cœur du développement durable : mythe ou réalité ?* déc. 2011.
- Dixit (A. K.), Stiglitz (J. E.), *Monopolistic Competition and Optimum Product Diversity*, *The American Economic Review*, June 1977, pp. 298-308.
- Donze (J.), *L'industrie de l'aluminium de première fusion dans la région du Saint-Laurent*, *Revue de géographie de Lyon*. Vol. 59 n° 4, 1984. pp. 301-329.
- E.A.A., Activity Report 2013, « *Contributing to a Competitive Europe* ».
- EDF, *Cahier 30*, DEPS, Tarification, juin 1995.
- Eisemann (P.-M.), *Crise du conseil international de l'étain et insolvabilité d'une organisation intergouvernementale*, In : *Annuaire français de droit international*, volume 31, 1985. pp. 730-746.
- Farin (Ph.), *Aluminum, Profile of an Industry*, articles mensuels de *Metals Week*, Ed. McGraw-Hill Inc. 1968.
- Ferris (J. N.), *Agricultural Prices and Commodity Market Analysis*, *Michigan State University Press*, 2005.
- Fitoussi (J.-P.), Laurent (E.), *La Nouvelle écologie politique, Économie et développement humain*, Éditions du Seuil et La République des Idées, septembre 2008.
- Fohlen (Cl.), *Allemagne, États-Unis, France, Russie : une évolution économique comparable ?* In : *Histoire, économie et société*. 1985, 4^e année, n° 4. pp. 571-574.
- Fourastié (J.), *Documents pour l'histoire et la théorie des prix*, A. Colin, Paris, T. II, p. 53, dans Morsel, op. cit.

- Gabrié (H.), *La théorie williamsonnienne de l'intégration verticale n'est pas vérifiée expérimentalement*, Presses de Sciences Po, 2001/5, vol. 52, pp. 1013-1039.
- Galbraith (J. K.), *Le Nouvel état industriel*, Gallimard, 1968.
- Galbraith (J. K.), *Une théorie du contrôle des prix*, 1952.
- Galbraith (J. K.), Williams (A. D.), *Chroniques d'un libéral impénitent*, Paris, Gallimard, 1982, (trad. française de *Annals of an Abiding Liberal*, Houghton Mifflin, 1979). Cité par Frobert L. et Ferraton C., dans J. K. Galbraith : « *Le contrôle du pouvoir dans le capitalisme américain* », *L'Économie politique* 2003/4 – n° 20.
- Gaskins (D.), *Alcoa Revisited : The Welfare Implications of a Secondhand Market*, *Journal of Economic Theory*, 7, pp. 254-271 1974.
- Gaustad (G.), Olivetti (E.), Kirchain (R.), *Improving aluminum recycling : A survey of sorting and impurity removal technologies*, *Resources, Conservation and Recycling* 58 (2012) 79-87, Elsevier.
- Gibson-Jarvie (R.), *The London Metal Exchange, a commodity market*, Woodhead-Faulkner Ltd. 1976, 3rd Edition 1988.
- Gillet (M.), *Au XIX^e siècle : Industrialisation linéaire ou industrialisation par bonds ?* *Revue économique*, Volume 23, n°5, 1972. pp. 723-752.
- Girard (C.), *Histoire et régions, Canada/Québec, Du métropolitisme au régionalisme*, *Revue française d'histoire d'outre-mer*, tome 77, n° 289, 4^e trimestre 1990. Le fait français et le Canada (2^e partie) pp. 125-147.
- Giraud (P.-N.), *Économie Industrielle des Commodités*, cours Paris Dauphine, janvier 2004.
- Giraud (P.-N.), *L'économie mondiale des matières premières*, Coll. Repères, Éd. La Découverte, Paris, 1989.
- Grinberg (I.), *Aluminum, Light at Heart*, Découvertes Gallimard, 2009.
- Grinberg (I.), Hachez-Leroy (Fl.), Dir., *Industrialisation et sociétés en Europe occidentale de la fin du XIX^e siècle à nos jours*, *L'Âge d'or de l'aluminium*, Armand Colin, 1997.
- Grinberg (I.), Hachez-Leroy (Fl.), Plateau (J.), *L'Aluminium un si léger métal*, Découvertes Gallimard 2009.
- Hachez-Leroy (Fl.), *L'Aluminium français, L'invention d'un marché 1911-1983*, CNRS Éditions, 1999.
- Hamilton (J. D.), *Oil Prices, Exhaustible Resources, and Economic Growth*, Rev. Oct. 2012, Prepared for Handbook of Energy and Climate Change.
http://dss.ucsd.edu/~jhamilto/handbook_climate.pdf
- Hannah (L.), *Networks of Power: Electrification of Western Society, 1880-1930* par Thomas (P.) Hughes (Johns Hopkins University Press, 1983), analyse dans le *Chicago Journal*.
- Héroin (P.), *Les institutions et l'électricité à ses débuts (1881-1914)*, *Bulletin d'histoire de l'électricité*, 4, déc. 1984, p. 31-48.
- Hocquard (C.), *Matières premières minérales : nouveaux enjeux et nouvelles contraintes*, in *Quel avenir pour les substances minérales ?* Union Française des Géologues, 5 décembre 2011.
http://www.mention-geosciences.org/IMG/pdf/hocquard_05122011_ufg.pdf
- Hocquard (C.), *Les marchés des matières premières minérales face à la financiarisation des commodités*, BRGM, novembre 2011.
- Hotelling (H.), *The Economics of Exhaustible Resources*, *Journal of Political Economy*, 39, 2, Apr. 1931.
- I.A.I., *Global Aluminum Recycling : A Cornerstone of Sustainable Development*, 2009.
- I.A.I., *Global Life Cycle Assessment Inventory Data for the primary Aluminum Industry 2010 Data*, Final Report, August 2013.
- Innis (H.), *The Fur Trade in Canada* (1930).
- Jacquet (P.), *Deux décennies de mondialisation financière*, *Politique étrangère*, Année 1999, Volume 64 Numéro 3, pp. 645-661.
- Jevons (W. S.), *The Coal Question*, 1st ed. 1865,
- Kaijser (A.), *From local networks to national systems, A comparison of the emergence of electricity and telephony in Sweden*, in *Un siècle d'électricité dans le monde, 1880-1980*, op. cit.
- Kaldor (N.), *Economy without Equilibrium*, M.E. Sharpe Inc. 1985.

- Kendrick (J. W.), *Productivity Trends in the United States*, (1961), Princeton University Press ; mise à jour 1973, in Davenport, op. cit.
- Krugman (P.), *Geography and Trade*, Leuven University Press & the MIT Press, 1991.
- Krugman (P.), Increasing returns and Economic Geography, *JPE*, Vol.99, No.3 (Jun., 1991).
- Laguérodié (S.), Vergara (F.), *La théorie du contrôle des prix* (Pigou, Keynes, Kalecki, Galbraith, Samuelson, etc.), dans *Review of Political Economy* (octobre 2008).
- Langton Th., *Investment Patterns in the United States Aluminum Industry, 1950-1977 : A Historical and Empirical Analysis*, PhD Thesis Pennsylvania State Univ.
- Lanthier (P.), *L'industrie électrique entre l'entreprise privée et le secteur public, Le cas de deux provinces canadiennes : 1890-1930*, in *Un siècle d'électricité dans le monde*, p. 23-36, op. cit.
- Lanthier (P.), Stratégie industrielle et développement régional : le cas de la Mauricie au XX^e siècle, *Revue d'Histoire de l'Amérique française*, vol.37, n°1, 1983 p.3-19, www.erudit.org
- Lanthier (P.), *Le rôle des groupes industriels internationaux dans l'électrification de la France, 1880-1940*. Thèse soutenue à Paris-X (Nanterre), date inconnue.
- Le Blanc (G.), *La politique européenne de la concurrence, Objectifs, instruments, bilan critique et perspectives*, Cerna, École des Mines de Paris 28 novembre 2003.
- Lesclous (R.), *Histoire des sites producteurs d'aluminium*, Les Presses de l'École des Mines, Paris, 2004.
- Lesourne (J.) et alii, *L'industrie de l'aluminium à la fin du siècle : réflexions prospectives, septembre 1986*, site : <http://lara.inist.fr/handle/2332/1533>
- Levich (R. M.), Financial Innovations in International Financial Markets, *Working Paper* No. 2277, NBER June 1987.
- Lévy-Leboyer (M.), Lanthier (P.), *Histoire de l'entreprise et histoire de l'électricité, L'électricité dans l'histoire*, Paris, P.U.F., 1985, p. 13-24.
- Luo (Z.), Soria (A.), *Prospective Study of the World Aluminum Industry de JRC 40221*, European Communities, 2008.
- Maddison (A.), *L'économie mondiale 1820-1992, Analyse et statistiques*, OCDE Paris, 1995.
- Magnan de Bornier (J.), Cournot et l'économie : quelques repères, Conférences du Centre Cournot pour la recherche en économie. Albin Michel, Paris, 2007.
- Marquet (Y.), Esquerre (P.), *Le London Metal Exchange, Spécificités et perspectives stratégiques*, Les Éditions de l'Industrie, Paris 2001, rapport final, Ministère de l'Économie des Finances et de l'Industrie, Direction des Matières Premières et des Hydrocarbures, Observatoire des Matières Premières.
- Marquet (Y.), *Les marchés d'options négociables sur contrat à terme*, Ed. Economica, 1988.
- Marshall (A.), *Industry and Trade*, London Macmillan 1923.
- Marshall (A.), *Principles of Economics*, 1920
- Martin (Th.), *Actualité de Cournot*, (Éd.) Vrin, 2005 (p. 33).
- McCraw (Th. K.), *The Current Crisis and the Essence of Capitalism*, *The Montreal Review*, August 2011.
- McCraw (Th. K.), *American Business since 1920 : How it Worked*, Second Edition (The American History Series), Harlan Davidson Inc. 2009.
- McCraw Th., *The Modern Corporation and Private Property by Adolf A. Berl and Gardiner C. Means*, *Reviews in American History*, Vol. 18, No. 4 (Dec., 1990), pp. 578-596, The Johns Hopkins University Press.
- Médan (P.), Warin (Th.), *Économie industrielle, Une perspective européenne*, Dunod, 2000.
- Menzie (W. D.), Barry (J. J.), Bleiwas (D. I.), Bray (E. L.), Goonan, (T. G.), Matos (G.), *The Global Flow of Aluminum From 2006 through 2025, 2010*, U.S. Geological Survey Open-File Report 2010–1256, 73 p., available at <http://pubs.usgs.gov/of/2010/1256/>
- Mitraille (S.), *Comportements microéconomiques de stockage et de vente à terme : état de l'analyse économique*, *Dalloz Revue d'économie politique* 2003/5 — Vol. 113, pp. 649-669.
- Morel (P.) (direction), Grinberg (I.), coll, *Histoire technique de la production d'aluminium*, Presses Universitaires de Grenoble, 1991.

- Morsel (H.), *Panorama de l'histoire de l'électricité en France dans la première moitié du XX^e siècle*, in *Un Siècle d'électricité dans le monde*, op. cit. et Aluminium et électricité depuis cent ans en France, *Cahiers d'Histoire de l'aluminium*, n° 4, été 1989.
- Mouak (P.), Thèse de doctorat en économie, Paquet Ph., 3 mars 2010, Source : <http://www.theses.fr/2010ORLE0501/document>
- Mucchielli (J.-L.), Mayer (T.), *Économie Internationale*, Éditions Dalloz, 2005.
- Muet (P.-A.), Croissance et cycles, *Economica*, 1993.
- Nappi (C.), L'Aluminium, *Economica*, 1994 p. 66.
- Nappi (C.), *The Global Aluminum Industry 40 years from 1972*, IAI, February 2013. Traduction libre.
- Nordhaus (W.), An optimal transition path for Controlling Greenhouse Gases, *Science*, Vol. 258, 20 Nov. 1992.
- North (D.), Anderson (T.), Hill (P.), *Growth & Welfare in the American Past: A New Economic History*, Prentice-Hall, Third Edition, Inc. 1983.
- OECD *Global Forum on Environment Focusing on Sustainable Materials Management*, 25-27 October 2010, Mechelen, Belgium.
- Ouvrage collectif, *Industrialisation et Sociétés en Europe occidentale du début des années 1880 à la fin des années 1960*, France, Allemagne-RFA, Italie, Royaume-Uni et Benelux, Éditions CNED-SEDES, 1997.
- Pawlek (R. P.), (Compiled by), *Primary Aluminum Smelters of the World*, Light Metal Age, 7 December 2013, http://lightmetallage.com/producers_primary.php
- Peck (M.), *The World Aluminum Industry in a Changing Energy Era*, Resources for the Future (RFF), Washington DC, 1988.
- Penard (Th.), *Collusion et comportements dynamiques en oligopole : une synthèse*, CREREG, Université de Rennes 1, 1997.
- Périères (M.), *Une grande Compagnie industrielle française : Pechiney*, *Revue de géographie alpine*, 1955, Tome 43, n° 1, pp. 151-212.
- Plourde (Y.), *Le comportement stratégique d'Alcan et d'Alcoa de 1928 à 2007 : une étude de cas comparative*, août 2007, HEC Montréal.
- Plunkert Patricia (A.), *Aluminum Recycling in the United States in 2000*, U.S. Geological Survey Circular 1196-W.
- Porter (G.), *The Rise of Big Business 1860-1920*, Harlan Davidson Inc. 2006.
- Proulx (M.-U.), *Le redéploiement mondial dans l'industrie de l'aluminium*, 2007, CRDT, Université du Québec à Chicoutimi.
- Ravier (E.), Laparra (M.), *Cent ans d'aluminium, 1886-1986, la Technique moderne*, n° 5-6, 1986.
- Reisman (D.), *The Economics of Alfred Marshall*, préface de George L. S. Shackle, Macmillan, 1986.
- Resource Revolution : *Tracking global commodity markets*, McKinsey Global Institute, September 2013.
- Rey (S.), *L'Analyse des relations de causalité et de cointégration dans les modèles dynamiques : une introduction aux méthodes économétriques*, Université de Pau et des pays de l'Adour, 2009.
- Schmitz (Ch.), *The Rise of Big Business in the World Copper Industry 1870-1930*, Source : The Economic History Review, New Series, Vol. 39, No. 3 (Aug., 1986), pp. 392-410 ; Published by Wiley-Blackwell on behalf of the Economic History Society. Stable URL : <http://www.jstor.org/stable/2596347>
- Shannon (H. A.), *The Modern Corporation and Private Property* de A. A. Berle and G. C. Means, Review, *Economica*, New Series, Vol. 1, No. 2 (May, 1934), pp. 247-250.
- Shephard (W.), *The Economics of Industrial Organization*. Source : The Review of Economics and Statistics, Vol. 46, No. 2 (May, 1964), pp. 200-212 ; The MIT Press.
- Silverthorne (S.), McCraw (Th. K.) *Rediscovering Schumpeter : The Power of Capitalism*, Harvard Business School Website : May 7, 2007.
- Simon (Y.), Lautier (D.), *Finance internationale*, Ed Economica, 2009 (avec C. Morel, 10^e édition).
- Simon (Y.), Lautier (D.), *Marchés Dérivés de Matières Premières*, Ed. Economica, 3^e édition, 2006.

- Smil (V.), *Beyond the Blackout*, Published 08/18/2003.
- Smith (G. D.), *From Monopoly to Competition, The Transformations of Alcoa, 1888-1986*, Cambridge University Press, 1988.
- Spies (P.), *Variable Electricity Prices for Aluminum Smelting in Northwestern USA*, *Energy Policy*, March 1990, pp.162-169.
- Stein (J. L.), *The Simultaneous Determination of Spot and Futures Prices*, *American Economic Review*, 1961, vol. 51, n° 5, pp. 1012-1025.
- Stuckey (J. A.), *Vertical Integration and Joint Ventures in the Aluminum Industry*, Harvard University Press, 1983.
- U.S. Geological Survey, *Mineral Commodity Summaries*, January 2011, and the U.S. Geological Survey Minerals Yearbook, 2009.
- USGS, *Primary aluminum plants worldwide — 1998 Part ii — Summary*, July 1999.
- USGS, Rapports annuels, études diverses, site :
<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/aluminum/index.html#mcs>
- Veyret-Verner (Germaine), *Une industrie en pleine expansion : L'aluminium*, In : *Revue de géographie alpine*. 1956, Tome 44,0 n° 2, pp. 311-342.
- Vindt (G.), *Cahier d'histoire de l'aluminium*, n° 15, hiver 1994-1995.
- Wallace (D. H.), *Market Control in the Aluminum Industry*, Harvard University Press, 1937.
- Waroquaux (W.), *Calcul économique et électricité*, Coll. Que sais-je ? PUF, 1996.
- Williamson (O. E.) (Ed.) and Winter (S. G.), *The Nature of the Firm, Origins, Evolution, and Development*, Edited by Oxford University Press, 1993.

COLOPHON

Assistance typographique
de Christian Lamaison
crestian@letexte.fr

Tirage des exemplaires
de soutenance
par
l'imprimerie numérique

ICN

à
ORTHEZ
(64)
Pays de l'Adour

Thèse de doctorat en sciences économiques

Résumé

À des dates et à des vitesses différentes selon les pays, l'aluminium a changé tout à la fois le monde industriel et les modes de vie. Au début du XX^e siècle, le monde en développement était déjà partagé entre l'Amérique du Nord où acier et béton commençaient à façonner les villes reliées par le chemin de fer, et l'Europe où il fallait détruire pour reconstruire et où le changement a pris plus de temps.

Aluminium et hydroélectricité ont effectué leurs débuts ensemble, ouvrant une longue période de croissance que leur complémentarité a accélérée. Les réussites techniques dans les deux domaines ont eu un effet boule de neige. L'expansion a duré trois quarts de siècle jusqu'à ce que l'augmentation des usages domestiques de l'électricité contraigne la production d'aluminium à trouver de nouvelles sources de courant, au sein des États-Unis d'abord. Les pays en développement ont adopté le chemin suivi auparavant et assuré la continuité. Depuis 2003, la Chine est le premier producteur mondial d'aluminium.

La modernisation a touché tous les domaines en même temps, faisant apparaître des besoins considérables d'accompagnement. L'économie et la gestion ont construit et développé des bases théoriques et pratiques en réseau, amplifiant l'efficacité des progrès techniques.

Ce qu'il a paru intéressant de mettre en lumière dans cette étude, ce sont les interactions durables entre la théorie économique et la production industrielle d'un métal qui a façonné le siècle.

Abstract

At different times and speeds, depending on the countries concerned, aluminium has transformed both the world of industry and our ways of life. In the early 20th century, the developing world was already divided between North America, where steel and concrete were beginning to shape cities linked by railroads, and Europe, where it was necessary to demolish before rebuilding, and the transformation therefore took longer.

Aluminium and hydroelectricity emerged together, heralding a long period of growth that was accelerated by their complementarity. Technical progress in both domains had a snowball effect. The expansion lasted three-quarters of a century, until the rising household demand for electricity forced aluminium producers to look for new sources of energy, firstly in the United States. The developing countries followed the same path and provided continuity. China has been the leading aluminium producer in the world since 2003.

Modernisation affected both domains at the same time, creating considerable needs for support. Economics and management sciences have developed theoretical and practical foundations in a network, amplifying the effectiveness of technical advances.

The interest of this study lies in our revelation of the lasting interactions between economic theory and industrial production.

[Traduit par Richard Crabtree]