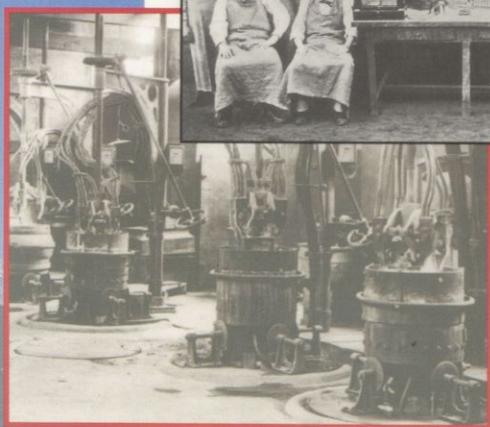
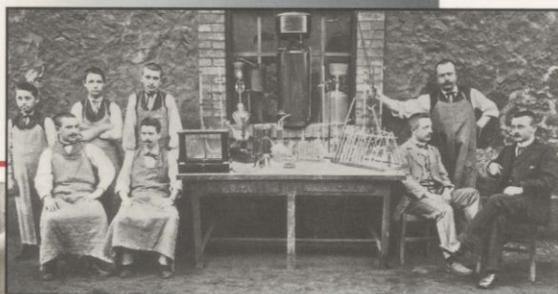
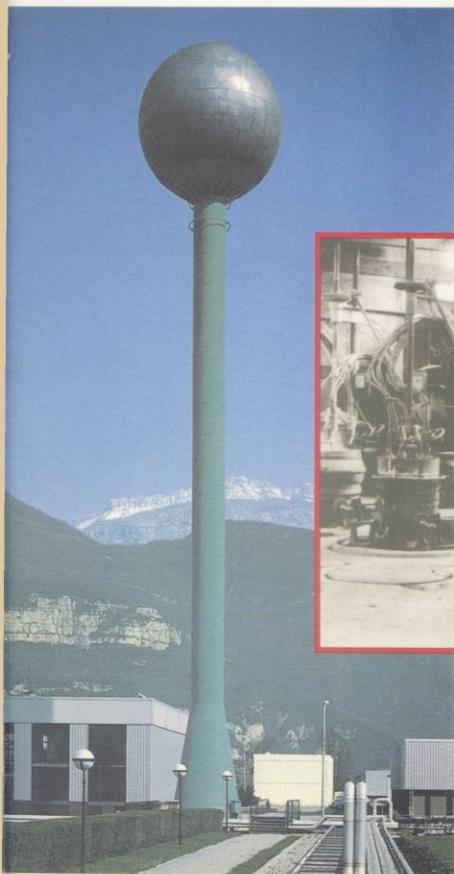




HISTOIRE INDUSTRIELLE

L'entreprise et la recherche
**UN SIÈCLE DE RECHERCHE
INDUSTRIELLE À PECHINEY**



Muriel LE ROUX

ÉDITIONS RIVE DROITE

024145933

L

62

**L'ENTREPRISE ET LA RECHERCHE :
UN SIÈCLE DE RECHERCHE
INDUSTRIELLE À PECHINEY**

Muriel LE ROUX

*Cet ouvrage a reçu le Prix d'histoire industrielle pour 1996.
Il est publié avec le concours
de l'Institut d'Histoire de l'Industrie.*

Éditions Rive Droite

1999-34965

L3 38 M4 2428

L'ENTREPRISE ET LA RECHERCHE :
UN SIÈCLE DE RECHERCHE
INDUSTRIELLE À PECHINEY

Le développement de la recherche industrielle chez Pechiney
à travers les siècles
de la fin du XVIIIe au début du XXe siècle

DL-07 12 1993 21397

L'ENTREPRISE ET LA RECHERCHE : UN SIÈCLE DE RECHERCHE INDUSTRIELLE À PECHINEY

Muriel LE ROUX

*Cet ouvrage est issu d'une thèse de doctorat
de l'université Paris IV - Sorbonne préparée
sous la direction du Professeur Jacques
Caron auquel nous exprimons nos vifs
remerciements pour son accueil et sa
préparation de ce travail.*

© 1993 Institut d'histoire de l'industrie et Éditions Rive Droite

ÉDITIONS RIVE DROITE

ISBN : 2 8182 049 8

Tous droits de reproduction réservés pour tous pays



DL-07 12 1998 5 13 97

L'ENTREPRISE ET LA RECHERCHE :
UN SIÈCLE DE RECHERCHE
INDUSTRIELLE À PECHINEY

Michel LE ROUX

© 1998 Institut d'Histoire de l'Industrie et Éditions Rive Droite

ISBN : 2 84152 049 8

Tous droits de reproduction réservés pour tous pays

REMERCIEMENTS

Cet ouvrage s'inscrit dans le programme d'études lancé voici plus de dix ans par l'Institut pour l'histoire de l'Aluminium (I.H.A.) sur la branche industrielle à laquelle il se consacre.

Que l'I.H.A. - au travers de ses principaux animateurs, Jacques Merchandise, Maurice Laparra et Juan Grinberg, soit particulièrement remercié pour sa contribution financière, ainsi que pour son soutien pratique et matériel continu.

à Arthur et Marguerite

Yves Farge, conseiller auprès du directeur général du C.N.R.S., ancien directeur de la R&D de Pechiney et Jean Puteau, ancien directeur du Centre de Recherche de Wergasse (C.R.V.), auteurs de l'épilogue de cet ouvrage ont été de précieux interlocuteurs prodiguant les meilleurs conseils et fournissant l'accès aux archives ; qu'ils en soient remerciés.

Que toutes les personnes de Pechiney - actives ou retraitées - qui m'ont aidés, sachent que je leur suis redevable.

M. L. R.

Cet ouvrage est issu d'une thèse de doctorat de l'université Paris IV - Sorbonne, préparée sous la direction du Professeur François Caron auquel nous exprimons ici notre très vive reconnaissance pour l'aide amicale qu'il a bien voulu nous apporter dans la préparation de ce travail.

à l'attention de Monsieur

Cet ouvrage est issu d'une thèse de doctorat de l'université Paris IV - Sorbonne préparée sous la direction de Monsieur François...
C'est un ouvrage de référence en matière de...
Il est recommandé pour l'usage scolaire et...
à être consulté pour apporter dans la...
évaluation de ce travail.

Il est interdit de reproduire ou de diffuser ce document sans l'autorisation écrite de l'éditeur.

© 1995 - 1996

Tous droits réservés. Toute réimpression est interdite.

REMERCIEMENTS

Christian STOFFAETS, Institut d'histoire de l'industrie

Ce travail s'inscrit dans le programme d'études lancé voici plus de dix ans par l'Institut pour l'Histoire de l'Aluminium (I.H.A.) sur la branche industrielle à laquelle il se consacre.

Que l'I.H.A. au travers de ses principaux animateurs, Jacques Marchandise, Maurice Laparra et Ivan Grinberg, soit particulièrement remercié pour sa contribution financière, ainsi que pour son soutien pratique et matériel continu.

Yves Farge, conseiller auprès du directeur général du C.N.R.S., ancien directeur de la R&D de Pechiney et Jean Plateau, ancien directeur du Centre de Recherche de Voreppe (C.R.V.), auteurs de l'épilogue de cet ouvrage ont été de précieux interlocuteurs prodiguant les meilleurs conseils et facilitant l'accès aux archives ; qu'ils en soient remerciés.

Que toutes les personnes de Pechiney – actives ou retraitées – qui m'ont aidée, sachent que je leur suis redevable.

M. L. R.

REMERCIEMENTS

Ce travail s'inscrit dans le programme d'études lancé sous l'égide de dix ans par l'Institut pour l'histoire de l'Aluminium (I.H.A.) sur la branche industrielle à laquelle il se consacre.

Que l'I.H.A. au travers de ses participants collaborateurs, Jacques Marchandise, Maurice Lapeyre et Jean Grandjean, soit particulièrement remercié pour sa contribution financière, ainsi que pour son soutien matériel et moral constant.

Yves Forge, conseiller auprès du directeur général de C.M.A.R., ancien directeur de la R&D de Pechiney et Jean Fléureau, ancien directeur du Centre de Recherche de Voreppe (C.R.V.) ont par leur accueil et leur aide ont été de précieux interlocuteurs pendant les multiples conseils et facilitant l'accès aux archives ; qu'ils en soient remerciés.

Que toutes les personnes de Pechiney - actives ou retraitées - qui m'ont aidé, sachant que je leur en suis redevable.

M. L. R.

PRÉSENTATION

Christian STOFFAËS, Institut d'Histoire de l'Industrie

NAISSANCE ET MATURITÉ DE LA RECHERCHE INDUSTRIELLE

L'Institut d'Histoire de l'Industrie est heureux et honoré de soutenir la publication des travaux de recherche de Muriel Le Roux consacrés à un siècle d'histoire de la recherche industrielle à Pechiney.

Le Jury du Prix d'Histoire Industrielle lui a décerné son prix annuel pour l'année 1996. Rarement cette distinction aura été aussi méritée couronnant des travaux de recherche originaux qui analysent pour la première fois en France la politique de recherche d'une grande entreprise dans une perspective historique. Surtout, ces travaux éclairent singulièrement une des questions majeures auxquelles sont confrontées la stratégie et l'organisation des grandes entreprises industrielles : comment organiser la fonction de recherche industrielle ?

D'autres sont mieux placés pour évoquer l'intérêt de ces travaux : d'une part pour la science historique –François Caron, son directeur de thèse qui a rédigé la préface ; d'autre part pour l'entreprise objet de l'étude –les dirigeants de Pechiney, son président actuel Jean-Pierre Rodier qui a bien voulu honorer l'ouvrage d'un avant-propos ; les hauts responsables de sa recherche qui ont rédigé un épilogue. Qu'ils soient ici remerciés de leurs contributions.

L'Institut d'Histoire de l'Industrie, quant à lui, propose, en introduction, de replacer ces travaux dans le cadre de sa mission, qui est le rapprochement des milieux d'entreprises, de la recherche historique et de l'administration, afin de faire contribuer l'histoire à l'action industrielle.

Les formes d'organisation industrielle, tout comme les technologies et les produits, sont soumis à des cycles de vie : naissance ; essais et erreurs ; maturation ; normalisation et standardisation ; puis, le cas échéant, obsolescence et déclin. Comment s'insère l'organisation de la recherche industrielle dans le management des entreprises ? Comment a-t-elle évolué dans le temps ? Quelle est aujourd'hui la meilleure forme d'organisation ? Eclairer cette question fondamentale : telle apparaît être la pertinence des travaux de recherche de Muriel Le Roux –au-delà bien sûr de ce qui touche à l'histoire propre du groupe sur lequel elle a centré son analyse.

L'ouvrage de Muriel Le Roux rappelle cette évidence, qui ne va pourtant pas toujours de soi : l'innovation est un acte industriel et commercial, qui se réalise au sein d'une entreprise —c'est à dire la conception, la réalisation, la mise en œuvre et la commercialisation de produits et/ou de procédés nouveaux.

L'histoire de la relation de l'entreprise à la science revêt un intérêt stratégique, et ce pour au moins trois raisons :

- dans la mesure où l'innovation technologique constitue un facteur de compétitivité décisif, non seulement pour la rentabilité mais pour la survie même de l'entreprise dans le long terme ;

- dans la mesure où la recherche contribue à l'innovation technologique, la question essentielle étant de savoir à quel degré selon les secteurs, les produits et les époques ;

- dans la mesure aussi où la relation de l'entreprise à la science n'est pas stabilisée, et n'a pas (pas encore ?) trouvé de forme institutionnelle universellement admise.

Technologie, découverte scientifique, invention, brevet, recherche : tous ces concepts ont besoin d'être précisés. Histoire des sciences, histoire des techniques, histoire des entreprises interfèrent étroitement. L'innovation étant le moteur essentiel du progrès économique, de la prospérité des nations et de la rentabilité des entreprises, on comprend que l'enjeu soit aussi essentiel, parfois objet de rivalités au niveau des interprétations et des concepts.

Ingénieurs, inventeurs, scientifiques, entrepreneurs, managers, commerçants, etc. : entre ces catégories de métiers et de compétences qui participent à la vie de l'entreprise, les relations sont complexes et mouvantes dans le temps. Comment passe-t-on de la découverte scientifique à l'outillage et à la fabrication ? Comment passe-t-on de l'idée à sa mise en œuvre, à son financement, à son organisation ? James Watt, l'inventeur de la machine à vapeur —donc de la révolution industrielle— était un charpentier : un entrepreneur, sans aucun doute, mais dont la relation à la science est rien moins que ténue. S'agissant d'autres innovations fondamentales qui ont changé le monde les pères de la deuxième révolution industrielle, Thomas Edison, Graham Bell, Henry Ford, etc. étaient des ingénieurs-inventeurs, détenteurs de brevets, créateurs et développeurs d'entreprises : mais guère des chercheurs scientifiques au sens propre. Plus près de nous, des entrepreneurs-innovateurs majeurs de notre temps, comme Steve Jobs, Bill Gates et bien d'autres capitaines d'industrie de la Silicon Valley, même s'ils sont de formation scientifique, n'ont qu'un rapport limité à la science institutionnelle.

On ne peut nier, pourtant, que la grande industrie moderne ait aussi besoin d'une recherche industrielle organisée, avec des laboratoires centraux et des laboratoires d'usines ; des bureaux d'études ; des contrats de recherche ; des chercheurs professionnels ; des relations institutionnelles avec les structures de recherche scientifique, etc. Des secteurs majeurs comme la chimie, la pharmacie, l'énergie nucléaire,

l'aéronautique et les télécommunications etc. ne seraient pas ce qu'ils sont si leurs entreprises n'avaient pas édifié depuis longtemps de puissantes organisations pour conduire leur recherche industrielle. Comment, dès lors, s'organiser ?

Comme le souligne le professeur François Caron, même si de multiples travaux d'histoire industrielle ont depuis longtemps démontré le rôle essentiel de la technologie et de l'innovation dans les facteurs de réussite des entreprises, c'est la première fois en France qu'un travail de recherche de grande ampleur est consacré à la place de la fonction « recherche industrielle » dans l'histoire d'une grande entreprise sur longue période.

Le cas de l'industrie de l'aluminium et de Pechiney était particulièrement bien choisi pour conduire une recherche susceptible d'enseignements de portée générale, car l'objet est clairement identifié. L'aluminium était un produit inconnu avant le XIX^e siècle, sa fabrication de masse a débuté à la fin du siècle et son cycle de vie peut s'analyser dans la continuité du XX^e siècle entier. Dans le secteur de l'aluminium plus que dans aucun autre, la recherche a joué un rôle majeur sur le développement des innovations dans le procédé de fabrication, à la fois massive, internalisée, automatisée, facteur décisif de compétitivité. L'entreprise Pechiney s'identifie à son cœur de métier : l'aluminium. Elle en fut longtemps et elle en est encore le leader technologique mondial, puisque beaucoup d'usines nouvelles d'électrolyse dans le monde sont encore édifiées aujourd'hui grâce à la technologie Pechiney.

Le procédé traditionnel de fabrication de l'aluminium allait connaître, avec l'invention d'Hérault et de Hall en 1886 –elle-même dérivée de la révolution technique de l'électricité–, une rupture fondamentale qui allait permettre sa production de masse à des coûts permettant de rendre solvables ses utilisations en vue de multiples applications. Le nouveau métal deviendra par la suite le premier des métaux non ferreux avec une production qui sera multipliée de quelques milliers de tonnes à vingt millions aujourd'hui : c'est, par excellence, le métal du XX^e siècle, tout comme la fonte de fer fut celui du XIX^e.

Accompagnant la spectaculaire expansion de l'aluminium, l'innovation par la recherche, en amont comme en aval, s'est affirmée comme le facteur décisif de compétitivité et de développement de cette industrie nouvelle, tant au niveau des techniques de production que des applications commerciales du nouveau métal.

La typologie est essentielle à la compréhension : un intérêt tout particulier du travail de Muriel Le Roux est le repérage des grandes phases de la fonction recherche à Pechiney. De la recherche sans statut à la recherche déléguée, puis à la recherche systématisée. En suivant attentivement les évolutions de la fonction de recherche industrielle au sein de Pechiney, les investigations de Muriel Le Roux mettent en lumière les relations de cette activité avec les autres grandes fonctions de l'entreprise : la production, la commercialisation, la diversification, la gestion des compétences humaines, etc.

Pendant une première période, la recherche s'effectue au niveau de l'usine d'électrolyse, empirique, foisonnante, et décentralisée, difficilement séparable du métier de l'ingénieur de production : amélioration des procédés, contrôle de la qualité du produit, mise au point des alliages.

C'est dans l'entre-deux-guerres qu'un concept autonome de recherche industrielle se forge chez Pechiney : on passe de l'apprentissage par l'expérience à la systématisation et à la standardisation. Muriel Le Roux analyse bien les différentes formes de la recherche, distinguant la place prise par la recherche noble portant sur l'électrolyse et par la recherche, moins prestigieuse, portant sur la transformation du métal. Elle trace une typologie particulièrement pertinente de la recherche interne et de la recherche en partenariats extérieurs. Elle met en évidence la symbiose qui s'établit entre la recherche et la production, à l'occasion de la mise en œuvre de procédés radicalement nouveaux.

L'immersion de Pechiney dans la compétition internationale marque une nouvelle étape : on passe de centres de recherche attachés aux usines à des laboratoires centraux ; le service central de recherche est remplacé par une direction scientifique. Après s'être spécialisée et institutionnalisée au sein de laboratoires centraux, la recherche se concentre, pour répondre à la complexité croissante des recherches et à la nécessité de disposer de moyens lourds d'expérimentations et de tests —en particulier autour de l'enjeu de la recherche de procédés nouveaux de fabrication.

Avec la maturation du cycle de vie du produit, et la tendance des ultimes perfectionnements à se rapprocher de l'asymptote, la recherche industrielle dans le secteur de l'aluminium se concentre encore davantage : d'une dizaine d'entreprises dans le monde capables de conduire une recherche autonome en 1970, on n'en compte plus que trois ou quatre aujourd'hui.

S'appuyant sur une masse de données économiques et techniques, les comptes et les budgets, l'histoire individuelle des usines et des laboratoires, l'histoire du service central de recherche, Muriel Le Roux dégage ainsi les grandes phases de la fonction recherche industrielle, pour construire un modèle théorique susceptible d'être appliqué à l'analyse d'autres exemples. Elle analyse les succès incontestables mais aussi les échecs : car on apprend toujours de l'expérience, qu'elle soit favorable ou défavorable.

Enfin, par ses comparaisons internationales avec l'industrie de l'aluminium d'autres pays —l'américaine en premier lieu— Muriel Le Roux trace les contours d'une approche française spécifique de la recherche industrielle, dans un domaine du management d'entreprise sensible plus qu'aucune autre aux pesanteurs culturelles. Elle met en évidence tout particulièrement le rôle de l'ingénieur dans le contexte socio-industriel français.

A la croisée de l'histoire économique, de l'histoire des techniques et de l'histoire du management, le travail de Muriel Le Roux fournit donc une méthodologie pertinente d'analyse. Quelle est aujourd'hui la place d'une direction centrale de la recherche ? Quels échanges entre les tests et expérimentations sur les procédés et les développements de la science ? Quelle organisation et quels budgets faut-il retenir, à l'heure de la science sans frontières, de la diffusion instantanée des connaissances et d'Internet ? L'analyse historique pourrait avec profit s'imposer comme un indicateur d'évaluation de cette fonction, à la fois coûteuse et essentielle, dont il est particulièrement difficile d'apprécier la valeur. Gageons qu'elle sera appliquée à d'autres objets de recherche et qu'elle sera utile aux dirigeants d'entreprises qui se posent la question cruciale de l'organisation de leur recherche industrielle. La mémoire en action... : c'est l'objectif que s'est donné l'Institut d'Histoire de l'Industrie.

Christian STOFFAËS,

Délégué général de l'Institut d'Histoire de l'Industrie

The author of this paper is a member of the Faculty of Business Administration at the University of Toronto. He is also a member of the Institute of Chartered Accountants in Canada. His research interests are in the field of financial accounting and the theory of the firm. He has published several articles in the field of financial accounting and has also written a book on the subject of financial accounting. He is currently working on a book on the theory of the firm.

REFERENCES

1. *Journal of Accounting and Finance*, Vol. 1, No. 1, 1960.

AVANT-PROPOS

Jean-Pierre RODIER, président-directeur général de Pechiney

« Parlons de choses sérieuses, je suis tourmenté de mon idée d'hier midi et je voudrais faire les essais en grand.... La théorie me promet la réussite, mes essais de Gentilly aussi. Mais pourtant ce n'est pas suffisant... J'ai vu à l'exposition des procédés et des machines employés pour des choses analogues ; cela a fortifié ma conviction et augmenté mes craintes, vu qu'il n'y a qu'un pas à faire pour passer de là à mon idée... C'est une affaire à gagner beaucoup. Cela revient au fabricant à 60 F le kg et moi je pourrais le vendre à 8 F le kg, amortissement du matériel compris. Tu vois d'ici l'importance d'une affaire de cette nature ».

Dans une lettre du 29 avril 1881 à sa mère, le jeune Paul Héroult, alors en classe préparatoire au collège Sainte-Barbe, résume à sa manière tout le problème de la recherche-développement : l'idée de base tirée de la recherche fondamentale, l'utilisation des techniques disponibles du moment, l'organisation des moyens aux divers stades d'expérimentation, et enfin l'objectif essentiel, dans une invention de procédé, de réduction des coûts de production. Élève atypique, plus passionné d'innovation que de réussite scolaire, Paul Héroult devenait alors, à 18 ans, le pionnier de l'industrie de l'aluminium.

Dans son sillage, des chercheurs comme Karl Bayer pour l'alumine et Alfred Wilm pour le Duralumin, ainsi que beaucoup d'autres moins connus, allaient tout au long de ce siècle assurer un extraordinaire développement de cette industrie par le perfectionnement des procédés de production et de transformation, en même temps que la mise au point de nouveaux alliages et de nouvelles applications. C'est ainsi que l'aluminium, inconnu avant le début du XIX^e siècle, allait devenir rapidement le premier des métaux non-ferreux, la production mondiale passant de quelques milliers de tonnes au début du siècle à près de 20 millions actuellement.

C'est précisément cette aventure que Muriel Le Roux retrace dans son livre tiré d'une thèse de doctorat : *Évolution des stratégies de recherche d'une grande entreprise française : Pechiney 1886-1975 - le cas de l'aluminium*, soutenue à l'université Paris IV - Sorbonne en décembre 1994 avec les plus hautes appréciations. Car Pechiney a toujours été, dès les débuts et encore de nos jours, un des principaux acteurs de cette aventure industrielle. En suivant le fil des transformations de l'organisation de la recherche-développement Muriel Le Roux s'attache à mettre en perspective les évolutions d'une recherche en constante interaction avec les autres activités de l'entreprise qu'il s'agisse de production, de vente, de financement et de ressources humaines. Il y a en effet plusieurs raisons et plusieurs façons d'intégrer la recherche dans l'activité industrielle ; raisons et façons qui

évoluent elles-mêmes en même temps que l'environnement de l'entreprise et sa stratégie.

Le cas de la production d'aluminium me paraît exemplaire à plus d'un titre.

Le procédé de base fut inventé de façon concomitante par le Français Paul Héroult et l'Américain Charles Martin Hall, sans aucune communication entre eux, mais au moment même où émergeaient les techniques de base appropriées telles que la dynamo et la cellule d'électrolyse. Ce premier exemple met en évidence les liens de dépendance de la recherche industrielle avec d'une part la recherche fondamentale, source première du progrès technique, et d'autre part la mise au point des technologies dites diffusantes, indispensables à l'ingénieur. Ces relations essentielles sous-tendent la chaîne des perfectionnements qui conduiront Pechiney des premières cuves 4 000 A de Froges en 1890 aux cuves 300 000 A de Dunkerque en 1990 dont la mise au point, par exemple, doit autant aux méthodes de modélisation magnétohydrodynamique qu'aux inépuisables ressources de l'informatique de procédé.

Pendant plusieurs décennies la recherche s'est avérée vitale pour une industrie émergente dont la croissance devait s'appuyer à la fois sur l'amélioration des techniques de production et le développement rapide d'applications nouvelles. La limitation des ressources hydroélectriques en amont et le nécessaire élargissement du marché en aval, ne portaient pas aux états d'âme stratégiques. En outre la taille modeste et la relative simplicité de l'outil de base, la cuve d'électrolyse, ne posaient pas de gros problème d'organisation, chaque unité de production pouvant participer, à peu de frais, aux progrès de l'ensemble. Ce fut la période foisonnante d'une recherche peu structurée et très décentralisée.

Cette situation prévalait encore après la Seconde Guerre mondiale quand les efforts de productivité, importés d'outre Atlantique, poussèrent au développement de la mécanisation des ateliers. Mais dans les années 1960 allait se dessiner un mouvement de concentration dû à une complexité croissante des sujets de recherche et à l'utilisation de moyens d'expérimentation de plus en plus lourds. On vit peu à peu la recherche-développement se concentrer dans des laboratoires, certes décentralisés et aux effectifs relativement modestes, mais dotés de moyens très importants, tels le Centre de l'Alumine de Gardanne et le Laboratoire de Recherches des Fabrications de Saint-Jean-de-Maurienne restructuré en 1959. De même, en aval, une stratégie d'intégration de la transformation devait logiquement aboutir à une rationalisation des moyens par la création du Centre de Recherches de Voreppe en 1966. Cette concentration s'avéra d'ailleurs plus évidente et plus rapide pour la mise en œuvre des stratégies de rupture visant à remplacer les procédés classiques par des procédés nouveaux nécessitant dès le départ laboratoires et usines pilotes spécialisés. Ce fut le cas des procédés Alcar (aluminium par voie électrothermique) de Pechiney et ASP (électrolyse du chlorure d'aluminium) d'Alcoa pour pallier deux inconvénients

majeurs de l'électrolyse Hall-Héroult (lourdeur des investissements et consommation d'énergie), et celui du procédé H^+ de Pechiney-Alcan (alumine à partir de minerais non bauxitiques) pour contrer d'éventuelles menaces des pays producteurs de bauxite dans les années 1970. Ces procédés, techniquement valables, butèrent sur le calcul économique. Mais au moins avait-on la réponse à des questions stratégiques fondamentales.

Cette structuration de la recherche dans le temps ne s'est pas effectuée partout au même rythme. Elle fut plus rapide en Amérique qu'en Europe, sans doute par effet de taille mais aussi de comportement. Mais plus curieusement la recherche électrolyse a fini par se concentrer également au niveau mondial. Car si jusqu'aux années 1970 une dizaine de producteurs, parmi les plus importants, développaient chacun sa propre technologie, ils n'étaient plus que trois ou quatre dans les années 1980. Ce fut l'époque où Aluminium Pechiney prit une avance déterminante avec sa génération de cuves 180 000 A très remarquables par la réduction des effets magnétiques et la précision du contrôle de procédé. Ces performances furent en grande partie le résultat d'une organisation efficace, à la fois décentralisée et concentrée (cuves pilotes au laboratoire). Aujourd'hui le monde de l'aluminium s'accorde implicitement pour reconnaître à Pechiney, dans ce domaine, un leadership technologique sans concurrence. Toutes les usines nouvelles d'électrolyse sont construites actuellement sur la technologie Aluminium Pechiney.

Ce dernier point met en évidence les implications stratégiques de la recherche-développement. La recherche industrielle n'est pas généralement une fin en soi. Elle s'avère souvent nécessaire, voire même vitale, pour la conquête des marchés et le maintien de positions dominantes. Dans d'autres cas la question se pose, pour l'industriel, de s'engager dans une recherche ou d'en acheter les licences. C'est affaire de vision stratégique et de calcul économique. Pour la production d'aluminium, les tentatives de mise au point d'un autre procédé ayant avorté, l'électrolyse Hall-Héroult classique a maintenant atteint un stade d'amélioration asymptotique. La recherche-développement n'y a donc plus d'intérêt proprement stratégique par rapport aux facteurs fondamentaux que sont toujours la maîtrise des sources de bauxite et d'énergie ainsi que la recherche de sites correspondant aux meilleures conditions logistiques. Encore ne faut-il pas sous-estimer l'appui d'un leadership technologique qu'Aluminium Pechiney a d'ailleurs su utiliser dans ses stratégies de développement à l'étranger. C'est ce qui fut énoncé naguère sous la forme du paradigme de l'architecte, c'est-à-dire le moyen de devenir propriétaire d'une partie de ce que l'on construit.

Dans le cas de la transformation, il s'agit toujours, en revanche, de parts de marchés et d'applications possibles dans les domaines les plus porteurs tels que les transports et l'emballage. Le développement des alliages, des traitements métallurgiques et des procédés de mise en forme reste stratégiquement nécessaire. La question de l'organisation se pose alors essentiellement en termes d'optimisation des moyens, la

recherche, comme tous les autres départements de l'entreprise, n'échappant pas aux impératifs de productivité et d'efficacité.

On a assez insisté, au cours de ces dix dernières années, sur l'intérêt renouvelé de l'histoire industrielle. Dans un monde aux mutations aussi rapides que profondes, les entreprises doivent développer leurs capacités de réaction et d'adaptation sans pour autant perdre leurs repères. Des turbulences de leur histoire elles doivent pouvoir tirer des leçons, non pas pour se figer dans un passé révolu, mais pour se convaincre des nécessités du changement. Ce livre me paraît un bon exemple de ce que la recherche historique, en posant sur chaque sujet une problématique judicieuse, peut apporter à la réflexion des industriels sur leur action présente et future. Car la démarche de l'historien par définition critique, et privilégiant le temps long, apporte à l'entreprise un regard salutaire. C'est ce qui a conduit la Chambre Syndicale de l'Aluminium à créer, il y a douze ans, l'Institut pour l'histoire de l'aluminium auquel Pechiney apporte tout son soutien. Cet institut a ouvert, depuis lors, un vaste chantier dans le cadre duquel sont conduites de nombreuses recherches sur divers aspects de l'histoire du secteur de l'aluminium et de ses entreprises.

Qu'il me soit permis de féliciter Muriel Le Roux, chargée de recherches du CNRS à l'Institut d'histoire moderne et contemporaine, pour la qualité des recherches doctorales qu'elle a entreprises sous la direction du professeur François Caron et avec l'aide de l'Institut pour l'histoire de l'aluminium. Sa thèse, par son sujet, la recherche industrielle, est novatrice et pionnière dans l'histoire des entreprises françaises. A ce titre elle a obtenu en 1996 le prix de l'Institut d'Histoire de l'Industrie (IdHI) auquel ce livre doit d'être publié.

Que l'Institut trouve ici l'expression de mes très sincères remerciements, de même que je tiens à remercier toutes les personnes et organisations qui, de près ou de loin, ont contribué à la publication de ce livre qui, je l'espère, fera référence dans l'histoire industrielle.

Jean-Pierre RODIER,
Président-directeur général de Pechiney

PRÉFACE

François CARON, professeur émérite à la Sorbonne

L'ouvrage de Muriel Le Roux constitue une première dans l'histoire industrielle de la France. C'est la première fois en effet qu'une thèse est consacrée à l'analyse de l'évolution de la politique de recherche d'une grande entreprise. Des travaux importants ont été consacrés à cet aspect de « *Business History* » à l'étranger. En France, le sujet se trouve trop souvent noyé dans une histoire générale, qui valorise d'autres aspects, plus anecdotiques. Plusieurs auteurs ont ouvert la voie, que nous ne pouvons tous citer ici. Se plaçant dans la tradition de Pierre Léon et de Claude Fohlen, Alain Baudant à propos de Pont à Mousson, Jean-Pierre Daviet et Maurice Hamon à propos de Saint Gobain, Pierre Cayez à propos de Rhône Poulenc, Patrick Fridenson à propos de Renault et quelques autres ont su montrer le rôle essentiel du facteur technologique et des stratégies d'innovation dans la réussite ou l'échec des firmes. Muriel Le Roux est la première à en avoir fait l'objet central d'une thèse. Or, les stratégies de recherche des entreprises constituent une composante essentielle des systèmes nationaux d'innovation. Elles sont complémentaires des politiques de l'État. La thèse de Muriel Le Roux apporte donc une contribution importante à la définition des spécificités françaises dans ce domaine. Elle contribue à corriger bien des idées reçues et des préjugés.

La recherche fut, dès l'origine des entreprises d'aluminium, intégrée à l'activité de production. Muriel Le Roux emploie l'expression de « protorecherche ». Elle éclaire d'un jour nouveau les épisodes des premiers pas de ces entreprises, en insistant sur le rôle joué par la circulation de l'information au sein d'un milieu étroit de spécialistes. Elle décrit l'émergence de stratégies de veille technologiques et l'intégration immédiate des activités de recherche aux activités de production. Des laboratoires d'usines furent créés dès avant la guerre de 1914. Dès lors, « beaucoup d'éléments de ce qui compose une structure de recherche existaient déjà ». La Société Électro-métallurgique Française (S.E.M.F.), fondée par Héroult en 1888, fut dotée d'un laboratoire dès 1890 à Frogès. Héroult y travailla jusqu'en 1893. Dans toutes les nouvelles usines, créées à La Praz en 1893, La Saussaz en 1905, L'Argentière en 1910, des laboratoires furent installés. Il en va de même pour l'usine de Piémont ouverte en 1907 par la société d'Électro-Chimie, la Compagnie des Produits Chimiques d'Alais et de Camargue, fondée en 1855 par Henri Merle et dirigée depuis 1877 par Rangod Pechiney avait non seulement un laboratoire sur le site industriel initial de l'entreprise, à Salindres, mais aussi à l'usine de Saint-Jean de Maurienne, ouverte en 1907. Selon Muriel Le Roux « la mission essentielle de ces laboratoires était l'amélioration des procédés ». Mais peu à peu une seconde mission leur fut donnée : le contrôle de la qualité du métal. Et « à la veille de la première guerre mondiale, cette mission était devenue dominante ».

Enfin, à partir de 1910, ces laboratoires travaillèrent à la mise au point d'alliages d'aluminium. Entre l'usine et le laboratoire s'établit progressivement une véritable symbiose, pouvant aller jusqu'à une intégration complète des deux fonctions, de recherche et de production. Elle montre que chacune des structures productives était soumise à des logiques de recherche différentes et que les Français ont su mieux maîtriser les filières amont que les filières aval, qu'il s'agisse des alliages ou de la transformation.

Entre 1921 et 1945, le concept de recherche a pris corps chez Pechiney. Cette prise de conscience a pour origine les difficultés rencontrées dans le domaine de la transformation, mais elle influence peu à peu à la recherche « noble », celle de l'électrolyse. Muriel Le Roux propose une analyse particulièrement fine des différents domaines de recherche, les uns développant une recherche interne, les autres une recherche ouverte sur l'extérieur, concurrents, clients ou partenaires scientifiques. La fonction de recherche s'est institutionnalisée. Les laboratoires se sont développés. Ils se sont de plus en plus orientés vers l'amélioration des produits et des procédés. On assiste à un véritable foisonnement des structures locales. Mais une structure centrale a été mise en place ; elle donne une cohérence à ces efforts dispersés. Une certaine professionnalisation de la recherche commence à se dessiner. La formation universitaire joue ici un rôle essentiel. Le trait dominant du système de recherche demeure son intégration à la fonction de production. Il s'agit, par excellence, d'une recherche « *in situ* », orientée par les problèmes de l'usine et mettant en œuvre les connaissances scientifiques mais aussi celles acquises sur le tas par les ingénieurs. Ainsi se dégage un modèle de recherche, à la fois coordonné et intégré au processus de production, qui n'est pas sans ressemblance avec le système japonais.

Muriel Le Roux apporte aussi une contribution importante à l'histoire des cheminements technologiques dans l'entre-deux guerre. La technologie de l'électrolyse, appliquée dans les usines françaises d'aluminium, n'évolua pas de manière radicale entre les dernières années 1890 et 1929. Mais un changement technique majeur se produisit à la fin des années 1920 avec l'adoption de deux procédés nouveaux l'un emprunté à l'électrothermie, le procédé Söderberg d'origine suédoise, et l'autre, dit de « brasquage en blocs serrés », mis au point dans les usines françaises, à la suite d'un long processus d'apprentissage. Dans les années 1930 ces deux solutions furent développées concurremment, dans le cadre d'un effort de rationalisation, qui permit de fermer plusieurs vieilles usines et de concentrer la production dans de nouveaux établissements. Des cuves utilisant un courant d'une intensité de 50 000 Ampère, furent mises en routes dès 1934. Elles obtinrent des rendements beaucoup plus satisfaisants. Les changements intervenus dans les procédés de production d'aluminium entraînèrent une modification radicale des modes de production de l'électricité. Jusque dans les années 1920, la fourniture d'électricité était assurée par des usines « au fil de l'eau », dont la production était intermittente et irrégulière. La mise en

route des nouvelles cuves obligea à concevoir, un vaste programme d'aménagement alpin, qui devait permettre d'assurer la continuité de la production. Il comprenait la construction d'une série de grands barrages de retenues, la création d'usines électriques interconnectées entre elles et reliées aux usines, grâce à la mise en place d'un réseau de très haute tension et de groupes convertisseurs.

Les apports de Muriel Le Roux ne sont pas moins considérables pour les années de l'après guerre. Elle met en valeur les influences américaine et allemande dans l'évolution des technologies. Elle montre la cohérence qui existe entre les réformes de 1947 et les institutions de recherche. L'histoire du développement des laboratoires est tout à fait neuve. En 1948, Pechiney comptait 12 centres de recherche, dont cinq travaillaient dans le domaine de l'aluminium. Ils étaient directement rattachés aux usines, sauf l'un d'entre eux, créé en 1945 à Grenoble, chargé d'étudier les nouveaux procédés de fabrication. Jusqu'à la fin des années 1950, une partie importante de la recherche continua d'être réalisée en usine. Mais, peu à peu, « le changement d'échelle de la production nécessita une approche des problèmes moins empirique que celle qui avait prévalu jusque-là », car il soulevait des difficultés, particulièrement dans le domaine des champs magnétiques, de plus en plus délicates à résoudre. D'une manière plus générale, les moyens dont disposaient les laboratoires, en particulier celui qui était chargé des études sur la transformation du métal, étaient notoirement insuffisants. Au début des années 1960, deux ruptures institutionnelles se produisirent. Elles furent contemporaines de « l'entrée de Pechiney dans la compétition internationale ».

En 1963, le service central de la recherche fut remplacé par une direction scientifique, tandis qu'un centre de recherche, regroupant deux laboratoires et doté de moyens importants, fut ouvert à Voreppe, Isère, en 1966. Voreppe, qui joua le rôle d'un grand laboratoire central, permit à l'entreprise, dans les années 1970, de faire face, dans de bonnes conditions, à l'évolution de la technologie des matériaux, en répondant par exemple aux besoins de l'industrie aéronautique. Sa création est contemporaine d'une réforme radicale de l'organisation de l'entreprise qui explique en partie sa réussite, dans la mesure où le dialogue entre le laboratoire et les autres services, en particulier celui du marketing était correctement organisé. Au début des années 1970 enfin, le laboratoire situé à Saint-Jean-de-Maurienne, spécialisé dans les procédés de fabrication, vit ses moyens renforcés. Il put, à partir de 1976, travailler sur des cuves d'expérimentation de taille réelle, en site propre et non plus en usine. L'autonomisation de la recherche par rapport à l'usine et sa massification résultèrent donc de l'accroissement de la taille des opérations, car elle posait des problèmes techniques spécifiques. Elle était ainsi la conséquence de la concurrence internationale, c'est-à-dire par la logique de la recherche compétitive.

Cette brillante analyse reconstitue pour nous les logiques de l'essor de la recherche massive, internalisée, autonomisée et institutionnalisée. Muriel Le Roux appuie sa démonstration sur une étude approfondie des

budgets de recherche, sur l'histoire des différents laboratoires, la montée en puissance du service central et de quelques grands programmes. Elle montre que les expériences menées par le laboratoire de Grenoble débouchèrent sur plusieurs échecs. Le plus retentissant fut celui du procédé de carbothemie, Alcar, abandonné en 1964. Comme le note Muriel Le Roux « la rupture technique était trop brutale pour être économiquement viable ».

Muriel Le Roux montre que les usines continuent de jouer un rôle de premier plan dans la définition et la poursuite des programmes. L'expérience de Pechiney illustre le rôle joué par les apprentissages dans le processus d'innovation. La proximité du laboratoire et de l'usine qui a longtemps caractérisé cette entreprise et qui se retrouve dans la structure japonaise, crée une double dynamique : elle permet au laboratoire de connaître les dysfonctionnements du système et les besoins de recherche qui en découlent, elle permet aussi de valoriser rapidement les innovations qui ont pour origine l'expérience quotidienne des ingénieurs de conception et de production et des opérateurs. Le rôle de l'apprentissage par expérience, du *learning by doing*, est resté essentiel. Il est non seulement une source d'innovations importantes, mais aussi créateur d'un savoir-faire non formalisé indispensable à la réussite.

Il y eut interférence entre deux cultures. Celle des usines de fabrication et de leurs laboratoires valorisait et formalisait l'expérience. Elle progressait selon une logique des apprentissages. Elle s'accomplit dans la mise au point du procédé du brasquage par blocs scellés en 1928. La culture des années 1950 et 1960 tendait à explorer des voies nouvelles en s'appuyant sur la connaissance de principes scientifiques. Elle a débouché sur d'inévitables échecs, mais elle a aussi créé un esprit nouveau, riche d'accomplissements. Une synthèse s'est peu à peu réalisée entre les deux approches. Elle a permis à Pechiney de devenir, au sein du secteur des biens intermédiaires, une entreprise de haute technologie.

François CARON,
Professeur émérite à la Sorbonne

INTRODUCTION GÉNÉRALE

« Un effort industriel d'importance ne peut être soutenu de façon durable s'il ne va pas de pair avec des travaux d'ordre scientifique qui, seuls, permettent, à plus ou moins brève échéance, mais de façon certaine, le renouvellement indispensable des techniques et de l'outillage. » (Sources : archives DG, Pechiney, 1943).

Pour entreprendre une étude de l'histoire du groupe, plusieurs perspectives étaient possibles. On aurait pu suivre les méandres de l'histoire des différentes entreprises qui ont composé le groupe, on aurait pu écrire une histoire de la recherche pour quelques années passées, ou bien encore, essayer de revenir, sur une période courte et récente, l'histoire de la recherche et du développement de l'entreprise. Une autre approche a été retenue : retracer le chemin de la recherche dans l'industrie de l'aluminium, depuis le moment où Sébastien Leville arrive à produire du métal, jusqu'en 1924. L'étude de la période qui précède l'invention majeure de 1886 permet de situer le cadre intellectuel, scientifique et technique qui a présidé à la naissance du procédé de fabrication par électrolyse de l'aluminium. Ce procédé, fondateur d'une industrie dont les développements n'ont cessé de croître et de se diversifier, est encore aujourd'hui le procédé employé par l'entreprise. Comment une entreprise multinationale a-t-elle pu bâtir sa puissance industrielle sur un procédé qui a plus de cent ans, et dont on dit qu'il n'a pas changé dans son principe ? Il y avait là un paradoxe apparent. L'entreprise avait eu à adapter aux bouleversements économiques, à l'accélération des mutations des techniques industrielles, financières et commerciales, tout en conservant la même technologie.

Seul, le recours à l'histoire des techniques permettait d'expliquer ce paradoxe. Cette discipline, longtemps considérée comme une des composantes de l'histoire économique qui, depuis Labrousse et Léon, avait largement acquis ses lettres de noblesse, offrait, grâce à Bertrand Gille, un appareil méthodologique qui devait permettre de suivre l'évolution du

budgets de recherche, sur l'histoire des différents laboratoires, la montée en puissance du service central et de quelques grands programmes. Elle montre que les expériences menées par le laboratoire de Grenoble débouchèrent sur plusieurs échecs. Le plus retentissant fut celui du procédé de carbothermie, Alcoa, abandonné en 1964. Comme le note Mariel Le Roux « la rupture technique était trop brutale pour être économiquement viable ».

Muriel Le Roux a aussi insisté sur le rôle joué par les programmes de preuves technologiques et les programmes. L'expérience de Pechiney illustre le rôle joué par les apprentissages dans le processus d'innovation. La proximité de laboratoire et de usine qui a longtemps caractérisé cette entreprise et qui se retrouve dans la structure japonaise, crée une double dynamique : elle permet au laboratoire de capitaliser les connaissances du système et les besoins de la production, elle permet aussi de valoriser les connaissances quotidiennes des opérateurs. Le rôle du laboratoire, mais le *know-how* est resté essentiellement dans les mains des opérateurs, indispensables à la réussite.

Il est intéressant de noter que celle des usines de fabrication et de leur laboratoire a permis d'accumuler l'expérience. Elle a permis de développer des équipes d'apprentissage. Elle a accompli des progrès en matière de procédés de traitement par blocs scellés en 1928. Le service de recherche central a permis d'explorer des voies nouvelles en s'appuyant sur le développement de principes scientifiques. Elle a développé une culture scientifique, mais elle a aussi créé un esprit d'équipe, une dynamique. Une synthèse est peu à peu réalisée entre les deux approches. Elle a permis à Pechiney de devenir, au sein du monde des biens industriels, une entreprise de haute technologie.

François CARLIN,
Professeur émérite à la Sorbonne

Pechiney et l'aluminium ont en commun leur âge : ils sont tous deux plus que centenaires. L'entreprise a été fondée en 1855 par Henri Merle pour fabriquer, entre autres choses, de l'aluminium. En 1854, le chimiste Sainte-Claire Deville avait réussi à produire le premier culot d'aluminium selon un procédé chimique. Cependant, il fallut attendre 1886 pour que Paul Héroult¹ inventât un procédé industriellement rentable pour fabriquer ce métal par voie électrolytique. Il fonda la Société Électrométallurgique Française, (S.E.M.F.) qui fusionna, en 1921, avec l'entreprise d'Henri Merle pour constituer la Compagnie des Produits Chimiques d'Alais, Froges et Camargue, laquelle prit Pechiney comme raison sociale en 1950. Chimie et électrométallurgie ont été les deux pôles de développement autour desquels l'entreprise a grandi. Aujourd'hui, le groupe Pechiney n'a plus d'activité chimique. C'est une multinationale, dont les activités sont axées sur la fabrication et la transformation de l'aluminium et de ses alliages, la fabrication d'emballages, de composants industriels. Longtemps producteur de métal primaire, l'entreprise aujourd'hui est surtout un fabricant d'emballages dont les unités de fabrication sont présentes partout dans le monde.

Pour entreprendre une étude de l'histoire du groupe, plusieurs perspectives étaient possibles. On aurait pu suivre les méandres de l'histoire des différentes entreprises qui ont composé le groupe, on aurait pu écrire une histoire de la recherche pour quelques sociétés fondatrices, ou bien encore, essayer de retracer, sur une période courte et récente, l'histoire de la recherche et du développement de l'entreprise. Une autre approche a été retenue : retracer la genèse de la recherche dans l'industrie de l'aluminium, depuis le moment où Sainte-Claire Deville arrive à produire du métal, jusqu'en 1996. Avoir étudié la période qui précède l'invention majeure de 1886 permet de situer le cadre intellectuel, scientifique et technique qui a présidé à la naissance du procédé de fabrication par électrolyse de l'aluminium. Ce procédé, fondateur d'une industrie dont les développements n'ont cessé de croître et de se diversifier, est encore aujourd'hui le procédé employé par l'entreprise. Comment une entreprise multinationale a-t-elle pu bâtir sa puissance industrielle sur un procédé qui a plus de cent ans, et dont on dit qu'il n'a pas changé dans son principe ? Il y avait là un paradoxe apparent. L'entreprise avait su s'adapter aux bouleversements économiques, à l'accélération des mutations des techniques industrielles, financières et commerciales, tout en conservant la même technologie.

Seul, le recours à l'histoire des techniques permettait d'expliquer ce paradoxe. Cette discipline, longtemps considérée comme une des composantes de l'histoire économique qui, depuis Labrousse et Léon, avait largement acquis ses lettres de noblesses, offrait, grâce à Bertrand Gille, un appareil méthodologique qui devait permettre de suivre l'évolution du

procédé Héroult, de 1886 à nos jours. Parallèlement, à la faveur de la crise, l'Entreprise en tant qu'entité est devenue un objet d'études pour les « autres historiens », pour les généralistes. Voilà pourquoi la démarche de ce livre se situe à la croisée de l'histoire économique, de l'histoire des techniques et de l'histoire des entreprises. C'est un terrain d'études qui, pour la France, a été peu balisé par les historiens ; il n'en est pas moins riche et passionnant.

On peut s'interroger sur les motivations qui poussent une entreprise à accepter la présence d'un historien dans ses locaux, d'autant que celui-ci pose des questions souvent surprenantes, voire embarrassantes ou gênantes. Les entreprises ont besoin des sciences humaines, car ces disciplines produisent une mémoire constitutive d'une identité. Or, les entreprises, au même titre que les nations, ont besoin d'une mémoire collective à laquelle l'homme se réfère, malgré les accidents de l'histoire. Cette identité permet à l'individu de se situer par rapport à un objet qui structure la plus grande partie de sa vie. Une histoire objective, connue et diffusée, permet à chaque membre de l'entreprise de se situer, de se repérer et d'exprimer l'ambivalence de ses sentiments. De ce point de vue, le groupe Pechiney a énormément évolué ; il y a huit ans, il était encore difficile de travailler sur l'entreprise pour un historien. Aujourd'hui, et la diffusion récente du film, *La Multinationale* de D. Karlin et R. Lainé, le confirme, l'entreprise a compris l'intérêt de laisser les chercheurs en sciences humaines investir son passé et son présent. Ce mouvement a été amorcé par M. Georges-Yves Kervern. En 1986, Président de Pechiney Aluminium, il créa sous l'égide de la Chambre syndicale de l'aluminium, l'Institut pour l'histoire de l'aluminium, à l'occasion du centenaire du procédé Héroult. L'idée était de préserver la mémoire d'un secteur de l'entreprise, de montrer, grâce à l'histoire, la solidité de la firme qui avait connu de nombreuses vicissitudes. Il était également possible d'utiliser l'histoire à des fins didactiques, en replaçant la gestion actuelle de l'entreprise dans le long terme, afin de montrer que ses restructurations faisaient partie du cycle de vie, au même titre que ses réussites techniques ou financières. Pour toutes ces raisons, M. Kervern pensait que les recherches des historiens constitueraient des éléments de réflexion utiles à l'entreprise.

L'historien n'est pas désintéressé. Toujours guidé par le rêve d'écrire une « histoire totale », il est normal qu'il étudie les entreprises sous tous leurs aspects. Cela lui permet de comprendre la réalité, en confrontant les faits entre eux. Car l'entreprise, au même titre que les mairies ou les musées est « lieu de mémoire », parce que lieu d'innovation, lieu de production et lieu de relations humaines. C'est pourquoi cet ouvrage s'est intéressé autant à l'histoire du processus technique qu'à l'histoire des hommes et à leurs stratégies.

Il fallait, au-delà du mythe fondateur de l'inventeur, restituer aux équipes de chercheurs anonymes la part qui leur revenait dans le cycle des innovations qui ont conduit à la technologie de l'aluminium au sens large.

Entre les travaux de l'inventeur et ceux effectués par les chercheurs, qui ont mis au point les cuves d'électrolyse pour l'usine d'aluminium de Dunkerque (ouverte en 1992), cent-six ans se sont écoulés. C'est au cours de ce siècle que se sont mises en place les structures de production capitalistes actuelles. Quels sont les liens qui existent entre l'instauration de ce système économique et la genèse, puis l'essor, du système de recherche industriel ?

L'état de cette question a été plus largement couvert aux Etats-Unis qu'en France, mais la *Business History* y est enseignée depuis 1927. Aussi l'essentiel de la bibliographie est-il en langue anglaise et privilégie-t-il les Etats-Unis, la Grande-Bretagne et l'Allemagne. Faute d'études sur l'histoire de la R&D en France, même dans ces ouvrages, notre pays est peu cité. Mais les recherches récemment entreprises devraient permettre de pallier cette lacune. Cette recherche est une contribution à l'édifice commun, et on peut espérer que d'autres historiens reprendront la même thématique, afin que se dégagent les grands moments de cette histoire de la R&D en France, et que l'on puisse établir des comparaisons entre les différentes industries, pour les rassembler au sein d'une plus ample synthèse.

Parler de recherche industrielle suppose que l'on ait défini ce qu'était la recherche. Il y a plusieurs acceptions possibles. Le sens le plus large a été retenu, à savoir les travaux entrepris pour reculer les limites des connaissances scientifiques et techniques. Quand ces travaux sont menés sans idées préconçues sur les applications qui pourraient en résulter, il s'agit de recherche fondamentale. S'il sont menés en vue d'une application pratique spécifique, il s'agit de recherche appliquée. Le développement, quant à lui, consiste à conduire les résultats de la recherche fondamentale ou appliquée (pour l'aluminium il s'agit presque exclusivement des résultats de la recherche appliquée), pour mettre en usage de nouveaux matériaux, produits, systèmes ou procédés. Il consiste à passer au prototype industriel, qui peut être vendu. Les essais du prototype font partie du développement, mais pas le lancement du produit². Aussi, tous les travaux qui relevaient de cette définition, quel qu'ait été le lieu où ils ont été produits ont été retenus. Comme ce n'est pas le lieu qui définit la recherche, aucune définition du laboratoire, dont le contenu de la mission évolue au fil du temps ne sera donnée. L'analyse de cette évolution est précisément l'un des axes majeurs de ce travail.

Pechiney était une entreprise qui offrait un double avantage. Peu de chercheurs s'y étaient intéressés, en outre, le procédé de Paul Héroult offrait la possibilité d'une analyse sur le long terme, puisque l'on peut suivre son évolution technique sur le siècle, et ainsi, essayer de déterminer les liens entre cette histoire et la création de structures de recherche. D'autre part, l'entreprise possède des archives que l'on peut consulter, et les témoins de son évolution sont nombreux. *A priori* il était possible de travailler. Afin de quitter le domaine de la théorie, parfois un peu trop générale sur ce sujet, il était bon d'entreprendre une étude de cas, pour comprendre la dynamique de l'innovation et de la recherche. Par conséquent, une monographie sur la recherche était le moyen adéquat de

traiter la question. Mais cela supposait une étude exhaustive sur les trois secteurs de l'entreprise : l'alumine, l'aluminium et la transformation, ainsi que sur la longue durée. C'est ce qui a été fait. L'analyse sur la longue durée s'imposait parce qu'en France le concept de laboratoire de recherche industrielle est apparu tardivement. Pourtant, les acteurs cherchaient, puisqu'il y avait des résultats techniques probants. Où et comment innovait-on ? C'est pour répondre à ces questions que la gageure d'une analyse de la totalité d'une filière industrielle sur la longue durée a été tenue. C'est donc un choix méthodologique. Il faudra reprendre et compléter l'étude de certaines questions et, parallèlement, éveiller la curiosité d'autres chercheurs, car le thème évoqué ici mérite des études complémentaires.

Pour pénétrer ce monde industriel, il a été nécessaire d'apprendre un autre langage, celui de l'entreprise, de s'initier à celui des techniques utilisées par la firme. Les fonds d'archives, s'ils existent, ne sont pas très bien classés ; ils sont, entre autres, denses et lacunaires. Les solutions de continuité sont très nombreuses. D'autre part, l'objet même de l'étude impliquait que l'on eût accès aux archives scientifiques et techniques. Or, ces archives sont un terrain particulièrement sensible. Il fallait se soumettre à la confidentialité qui protégeait l'entreprise. Ce contrat est à respecter quand il s'agit du devenir de l'entreprise, mais à négocier lorsqu'il s'agit de son histoire. D'où une difficulté supplémentaire pour l'historien, qui doit répondre à une double exigence, éthique vis-à-vis de l'entreprise, et déontologique vis-à-vis de sa discipline. Ces exigences ont été quelquefois difficiles à concilier.

PRÉSENTATION TECHNIQUE DE LA PRODUCTION D'ALUMINIUM

L'aluminium est un des éléments les plus abondants de la croûte terrestre, mais il n'y existe qu'à l'état combiné et non pas à l'état pur. La production d'aluminium consiste donc à décomposer les éléments naturels qui comportent de l'aluminium pour en séparer celui-ci. Le seul minerai industriellement utilisé est la bauxite rouge, qui contient moins de 8% de silice, dont la présence est une forte contrainte du procédé actuel d'obtention de l'alumine.

Le principe de la production de l'aluminium consiste, dans un premier temps, à produire de l'alumine à partir de la bauxite, puis dans un second temps, à produire de l'aluminium pur à partir de l'alumine.

L'extraction de l'alumine de la bauxite se fait maintenant universellement grâce au procédé Bayer, inventé en 1887, appliqué dès 1893 à Gardanne.

Le principe du procédé Bayer est de dissoudre, vers 250°C et sous pression, l'alumine présente dans la bauxite par la soude caustique en la transformant en aluminate de soude soluble, mettant ainsi à profit les propriétés amphotères de l'alumine hydratée. Après séparation des inertes insolubles, une hydrolyse de l'aluminate décompose celui-ci en trihydrate d'alumine et en soude récupérée.

Un concassage, puis un séchage et une calcination, et enfin un broyage (l'attaque à la soude est d'autant plus efficace que la bauxite est sous forme de poudre fine) préparent la bauxite à son attaque (effectuée entre 140 et 230° C) par une solution de soude. Cette attaque a lieu dans des autoclaves cylindriques en acier de plusieurs dizaines de mètres-cubes. La bauxite est transformée en aluminate de soude soluble. La solution passe alors dans des décanteurs, où décante, de façon accélérée grâce à l'amenée de flocculants, le résidu insoluble : les « boues rouges », oxyde de fer. Celles-ci sont séparées et lavées. La liqueur d'aluminate est de nouveau filtrée, puis une fois recueillie est décomposée à 50-60°C par hydrolyse, puis catalysée par addition d'une importante « amorce » d'alumine hydratée provenant d'une précipitation antérieure. Après cinquante à cent heures, une fraction notable de l'alumine est précipitée. Intervient ensuite la calcination, pendant laquelle des appareils à effets multiples évaporent toute l'eau et transforment la solution en corindon (alumine déshydratée).

En 1980, le procédé Bayer, appliqué aux bauxites européennes, extrait en moyenne 86% de l'alumine totale contenue dans le minerai.

Les usines modernes d'alumine fonctionnent maintenant en continu, ce qui permet de traiter de grandes quantités de produits et de

suivre fidèlement la qualité de la production. Pour fabriquer une tonne d'alumine calcinée destinée à l'électrolyse, il fallait en 1980 environ 2,6 tonnes de bauxite (2 tonnes pour les bauxites riches), 0,075 à 0,1 tonne de soude, la même quantité de chaux, 6 à 8 tonnes d'eau, 2 900 thermies. La production d'alumine est destinée à 92% à la fabrication d'aluminium.

L'industrie de l'alumine est une industrie à lourds investissements, qui est caractérisée par la recherche d'économies d'échelle poussant les unités de production vers le gigantisme. La tendance actuelle localise les unités de production d'alumine sur les lieux d'extraction de la bauxite.

Dans la seconde phase du procédé, l'alumine est transformée en aluminium par électrolyse. On utilise encore aujourd'hui le principe du procédé de fabrication de Héroult de 1886.

Le schéma de la production électrolytique de l'aluminium est le suivant : une cuve garnie de charbon contient de la cryolithe fondue avec quelques pour-cent d'alumine en solution. L'alumine fond à 2 040°C, température difficile à atteindre et à maintenir, et plus encore à exploiter industriellement. Héroult eut l'astuce de travailler sur un mélange eutectique (l'électrolyte) à 2 à 8% d'alumine + 75 à 85% de cryolithe + du fluorure d'aluminium (environ 5 à 7%) et du fluorure de calcium (5%) qui abaisse la température de fusion à environ 1 000°C, température beaucoup plus compatible avec l'exploitation industrielle. L'électrolyse de l'alumine donne de l'aluminium, qui se dépose au fond de la cuve (cathode), et de l'oxygène, qui brûle les anodes en carbone pur plongeant dans l'électrolyte.

Tout se passe comme si le courant électrique continu décomposait l'alumine (Al_2O_3), l'aluminium se déposant sur la cathode et restant au fond de la cuve, l'oxygène allant brûler l'anode, qu'il faut donc continuellement remplacer, pour donner du gaz carbonique et de l'oxyde de carbone.

L'élément central de l'unité de production est donc la cuve où s'effectue l'étape essentielle du processus de production : l'électrolyse.

Le caisson en acier, spécialement construit pour résister à des températures élevées et éviter des déperditions thermiques, contient un creuset en blocs de carbone cuits liés par de la pâte à brasque (mélange de coke métallurgique et d'antracite) afin de constituer une cathode électriquement continue. Cette pâte cuit au démarrage de la cuve. Le courant est amené par des barres cathodiques en fer. Les côtés de la cuve sont garnis de dalles de carbone de 12 cm d'épaisseur, qui brûlent partiellement en service et se trouvent remplacées par un magma de bain figé et d'alumine.

La cuve présente deux aspects différents, selon le type de système anodique auquel on a affaire : une cuve à anodes précuites, ou une cuve à anodes Söderberg.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Les anodes précuites sont des blocs de carbone très pur (coke de pétrole ou coke de brai) qu'on plonge dans le bain. Pour maintenir la densité de courant inférieure à 1 A/cm^2 , on utilise en France 18 anodes de $35 \times 65 \text{ cm}$ tenues par deux barres collectrices reliées à la cathode de la cuve précédente de la série. Le procédé Söderberg consiste à charger de la pâte crue de coke de pétrole ou de brai à 30% de brai sec, directement dans une gaine de tôle de fer qui enserre l'anode unique de la cuve ; la chaleur du bain cuit cette pâte, à mesure que l'on descend l'anode pour compenser son usure. Il suffit de recharger à la partie supérieure pour compenser l'usure de l'anode dans le bain. La préférence pour l'un ou l'autre système anodique a varié dans le temps. L'anode Söderberg utilise un charbon moins coûteux, mais les coûts énergétiques sont légèrement inférieurs pour le système précuit. Dans les années 1960, on montait surtout des anodes Söderberg, dans les années 1970 et 1980, plutôt des anodes précuites.

En 1980, pour produire une tonne d'aluminium, il fallait 1890 kg d'alumine, 420 kg d'anodes précuites ou 500 kg de pâte Söderberg, 30 kg de fluor et environ 13 000 kWh en basse tension. Le rendement Faraday est toujours supérieur à 85% ; il peut atteindre 90%³. La nature de ces intrants explique l'importance, dans une usine d'aluminium, de deux installations annexes : la centrale électrique et l'atelier d'électrodes.

Concrètement, au moment de la mise en route d'une cuve, on introduit le bain électrolytique à $1\ 000^\circ\text{C}$; le passage du courant provoque le déclenchement de l'électrolyse. Durant l'opération, le bain s'appauvrit en alumine. Lorsqu'il ne reste plus que 1,5 à 2% d'électrolyte, un déficit d'ions apparaît et l'électrolyse commence à décomposer le fluorure d'aluminium et même la cryolithe : du fluor se dégage alors à l'anode. Une brutale augmentation de la tension (proche des 40 v.) s'ensuit : la cuve « s'emballe », consommant inutilement beaucoup d'énergie et de produits fluorés. Il faut donc réalimenter la cuve en alumine et, en agitant le bain, supprimer le matelas gazeux qui s'est accumulé sous l'anode. Autrefois, les cuves s'emballaient trois à quatre fois par jour. Quotidiennement, en outre, il faut purger la cuve de l'aluminium produit : autrefois, un trou de coulée au fond du creuset était débouché au burin puis rebouché à la pâte d'anode ; ou bien un « pot de fleur » plongé dans le bain permettait de récupérer le métal. Aujourd'hui, un siphon est plongé jusqu'au métal ainsi transvasé dans une poche où est fait un vide partiel aspirant.

Pendant l'électrolyse, les anodes s'usent à la base tandis que la quantité d'aluminium augmente, ce qui implique, afin de maintenir une distance interpolaire constante nécessaire au bon déroulement de l'électrolyse, la modification permanente de la hauteur des anodes.

La correction des bains a essentiellement pour but de maintenir le volume du bain liquide par addition de cryolithe en ajustant la teneur en fluorure d'aluminium pour conserver un bain de composition optimale

pour le meilleur rendement énergétique. Le contrôle du bain se fait grâce à la mesure de son PH. Celle-ci permet de déterminer les déficits dont souffre le bain.

Trois personnages s'agitent donc autour de la cuve : le « cuviste » qui contrôle la qualité du bain, le « chargeur d'alumine » qui alimente la cuve en alumine afin d'éviter son emballement et le « couleur » qui évacue quotidiennement l'aluminium par siphonnage à dépression. Dans le passé, ces trois intervenants devaient développer un savoir-faire acquis à force d'expérience, véritable capital culturel technique de l'entreprise. Ce nécessaire tour de main obligea l'entreprise à élaborer une politique de gestion des ressources humaines afin de s'attacher durablement la main-d'œuvre qualifiée. Mais, désormais, l'essentiel du travail est automatisé et dirigé grâce à l'ordinateur. Du point de vue de la recherche, derrière cette évolution sociale, c'est le problème de la longue quête de la mise en place des conditions nécessaires à l'automation et à l'informatisation de la production qui trouve sa place. La recherche dans le secteur de l'aluminium n'a pas laissé de côté l'enjeu de l'ordinateur.

Le processus de production provoque une usure du garnissage réfractaire des cuves qu'il faut changer au bout de quelques années. En 1980, la durée de vie moyenne d'une cuve était de cinq ans.

L'électrolyse ignée obéit à la loi de Faraday :

$$m = K \times \frac{1}{96\,500} \times \frac{A}{n} \times I \times T$$

m : masse d'aluminium déposée

K : rendement Faraday

A : masse atomique de l'aluminium (27)

n : valence de l'aluminium (3)

I : intensité du courant d'électrolyse

T : temps de l'électrolyse

Mais la théorie de l'électrolyse reste un sujet de recherche difficile, en particulier les phénomènes exacts qui se déroulent dans la couche de passage au voisinage de la cathode ne sont pas complètement décrits par la théorie.

Le but de la production est donc d'atteindre m maximum en un minimum de temps et avec un minimum de coût, c'est-à-dire en augmentant le rendement Faraday, l'intensité des cuves (voir le tableau sur l'évolution de l'intensité des cuves) et la productivité des intrants. La question centrale est que l'accroissement de l'intensité des cuves pose de graves problèmes de maîtrise des effets magnétiques qui ont constitué de véritables butoirs à l'innovation.

Étape essentielle de la production de l'aluminium, la cuve a accaparé une partie considérable des efforts de recherche des

intervenants industriels. C'est pourquoi le processus de production a essentiellement bénéficié des perfectionnements du matériel d'électrolyse et d'une amélioration du contrôle ; ces progrès ont amené en particulier une augmentation régulière de la taille et de la puissance des cuves.

Évolution de l'intensité des cuves

| Années | Intensité des cuves (ampères) |
|--------|----------------------------------|
| 1889 | 4 000 |
| 1910 | 10 000 |
| 1914 | 20 000 |
| 1936 | 50 000 |
| 1944 | 100 000 |
| 1970 | 150 000 |
| 1979 | 175 000 |
| 1985 | 270 000 |

Mais une cuve qui produit davantage ne coûte pas forcément plus cher. Des économies d'échelle considérables sont donc possibles, qui justifient la course à l'intensité malgré la contrainte des effets magnétiques.

Coûts d'investissement à la tonne de production annuelle de quelques cuves françaises

| Années | Intensité de la cuve (ampères) | Coût d'investissement à la tonne par an en francs constants |
|--------|-----------------------------------|---|
| 1960 | 65 000 | 7 200 |
| 1968 | 95 000 | 5 200 |
| 1972 | 130 000 | 4 800 |
| 1980 | 175 000 | 4 200 |

(Sources : archives Pechiney, IHA)

**Nombre d'heures de main-d'œuvre directe
par tonne d'aluminium produite**

| Années | Nombre d'heures de main-d'œuvre directe par tonne produite |
|--------|--|
| 1927 | 200-250 |
| 1936 | 150 |
| 1947 | 52 |
| 1952 | 48 |
| 1960 | 14 |
| 1968 | 4 |
| 1972 | 3 |
| 1981 | 2 |

Progrès de la consommation énergétique des cuves

| Années | Consommation énergétique des cuves (kWh/t) |
|--------|--|
| 1896 | 90 000 (Frogès) |
| 1903 | 47 000 (Calypso) |
| 1914 | 30 000 (Saint-Jean) |
| 1935 | 23 000 (Auzat) |
| 1943 | 19 000 (USA) |
| 1952 | 16 500 (Saint-Jean) |
| 1960 | 14 600 (Noguères) |
| 1965 | 13 700 (Auzat) |
| 1980 | 13 500 (Saint-Jean) |
| 1994 | 13 200 (Dunkerque) |

Cependant, au delà de l'innovation technique, l'autre enjeu central du processus de production est également d'assurer sa régularité afin de standardiser les lingots obtenus pour réduire le coût unitaire et les déchets. L'activité de contrôle apparaît ici prépondérante.

Le résultat combiné de l'activité de recherche et de l'amélioration des capacités de contrôle est la diminution du prix du kg d'aluminium.

Évolution du prix du kg d'aluminium en francs or

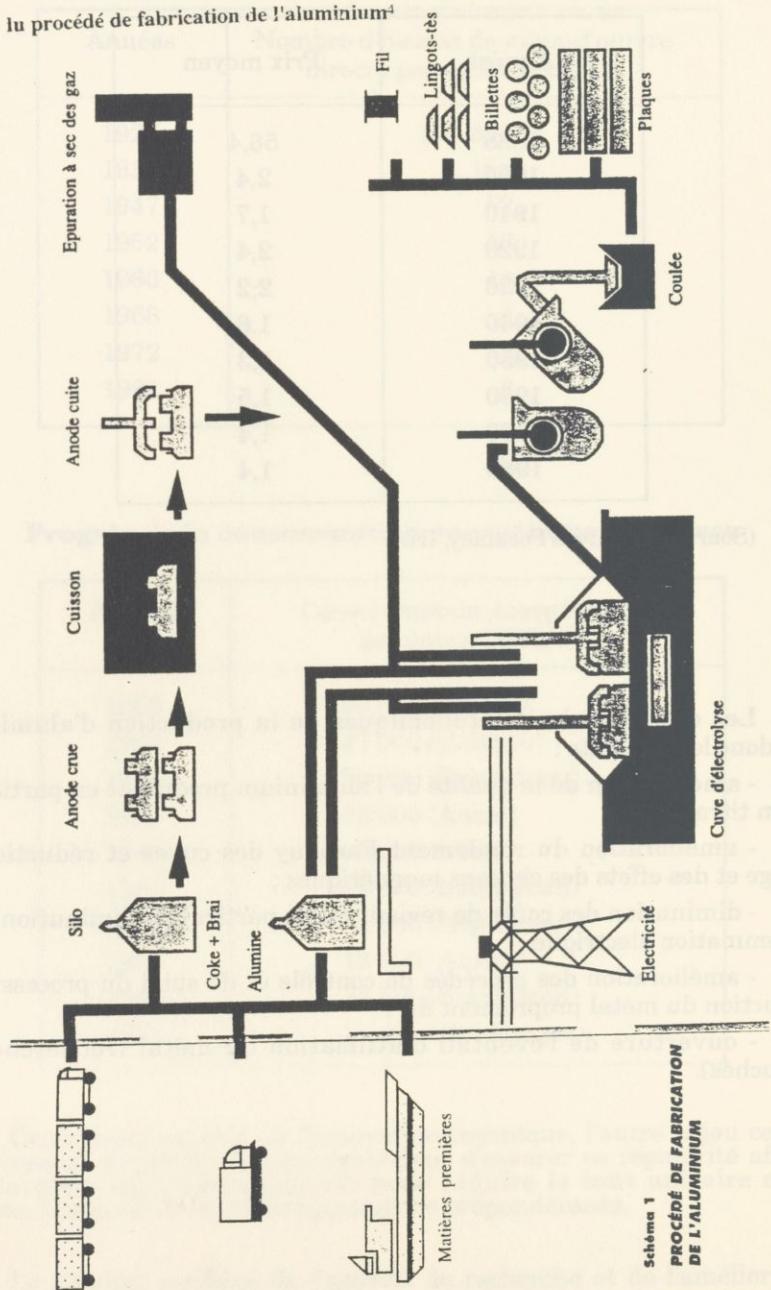
| Années | Prix moyen |
|--------|------------|
| 1888 | 56,4 |
| 1900 | 2,4 |
| 1910 | 1,7 |
| 1920 | 2,4 |
| 1930 | 2,2 |
| 1940 | 1,6 |
| 1950 | 1,3 |
| 1960 | 1,5 |
| 1970 | 1,4 |
| 1980 | 1,4 |

(Sources : archives Pechiney, IHA)

Les enjeux technico-économiques de la production d'aluminium sont donc les suivants :

- amélioration de la qualité de l'aluminium produit et en particulier de son titrage ;
- amélioration du rendement Faraday des cuves et réduction du voltage et des effets des champs magnétiques ;
- diminution des coûts de revient et, en particulier, diminution de la consommation électrique ;
- amélioration des procédés de contrôle et de suivi du processus de production du métal proprement dit ;
- ouverture de l'éventail d'utilisation du métal (recherches de débouchés).

Schéma du procédé de fabrication de l'aluminium¹



PREMIÈRE PARTIE

DE L'UNIVERSITÉ À L'ENTREPRISE : LE PROCESSUS D'INDUSTRIALISATION DE LA RECHERCHE (DE L'ORIGINE À 1921)

Bien que les services de recherche n'aient été officiellement créés qu'en 1921, à la Compagnie A.F.C., il était nécessaire de consacrer au sein de l'étude la période 1856-1921, car les pratiques qui se mirent en place au cours de ces décennies marqueraient durablement les processus d'innovation ultérieurs. Cependant, écrire sur la période hercynique des débuts de l'industrie de l'aluminium née de la découverte d'Éroult, a posé quelques difficultés concernant les sources.

Il a très souvent été nécessaire d'avoir recours à des sources de seconde main, ce qui n'est pas fréquent pour un historien ayant comme objet d'étude un sujet appartenant à la période contemporaine. Les archives de ces temps, qui ne sont pas classées à l'échelle de l'histoire mais considérées comme antédiluviennes par les industriels, furent en majorité détruites dans les années cinquante. Les documents préservés sont pauvres pour le sujet. Il n'existe aucun fonds propres aux laboratoires et encore moins un fonds « recherche ». Les archives conservées sont souvent des documents qui permettraient d'écrire une nomenclature technique de l'entreprise ou du moins une « nomenclature officielle ». Les papiers évoquent les mêmes faits glorieux, ignorant les faux pas et les échecs. Un voile épique recouvre cette période pionnière. Pourtant, après avoir dépouillé les archives des services du contentieux, il était certain que des cahiers de laboratoire étaient utilisés au cours des procès que le S.E.M.F.¹ intentait à ses contrefacteurs². Il avait donc existé des laboratoires, et les cahiers qu'ils emportaient situaient que les travaux effectués avaient une validité sur le plan juridique. Tout cela suggérait

La plus ancienne des entreprises étudiées est celle qui fut fondée par Henry Merle, en 1855, pour fabriquer de la soude caustique, du chlore et de l'alumine. En 1860, la fabrication de l'aluminium selon le procédé chimique inventé par Sainte-Claire Deville démarrait à Salindres, berceau de la Compagnie des Produits Chimiques d'Alais et de la Camargue Henry Merle et Cie. Cette production devait continuer jusqu'en 1889, où la concurrence de la Société Électrométallurgique Française, fondée par Héroult, inventeur du procédé de fabrication de l'aluminium grâce à l'électrolyse, rendait la production de Salindres caduque. A. R. Pechiney, gérant de P.C.A.C. ayant succédé à Merle, avait refusé l'offre d'Héroult. C'est ainsi que de 1888 à 1921, année de la fusion, une forte rivalité anima les relations entre ces deux entreprises. Il y eut d'autres entreprises fabriquant de l'aluminium en France, mais elles furent progressivement absorbées par P.C.A.C. La seule qui ait résisté aux deux premières fut l'Électrochimie fondée par Henri Gall, plus connue sous le nom d'Ugine. Ainsi, de 1921 à 1971, la Compagnie Alais Froges et Camargue (Pechiney à partir de 1950) et Ugine furent les deux seules entreprises à fabriquer du métal primaire en France.

Bien que les services de recherche n'aient été officiellement créés qu'en 1921, à la Compagnie A.F.C., il était nécessaire de conserver au sein de l'étude la période 1886-1921, car les pratiques qui se mirent en place au cours de ces décennies marquèrent durablement les processus d'innovation ultérieurs. Cependant, écrire sur la période héroïque des débuts de l'industrie de l'aluminium née de la découverte d'Héroult, a posé quelques difficultés concernant les sources.

Il a très souvent été nécessaire d'avoir recours à des sources de seconde main, ce qui n'est pas fréquent pour un historien ayant comme objet d'étude un sujet appartenant à la période contemporaine. Les archives de ces temps, qui ne sont pas éloignées à l'échelle de l'Histoire mais considérés comme antédiluviens par les industriels, furent en majorité détruites dans les années cinquante. Les documents préservés sont pauvres pour le sujet. Il n'existe aucun fonds propre aux laboratoires et encore moins un fonds « recherche ». Les archives conservées sont souvent des documents qui permettraient d'écrire une hagiographie technique de l'entreprise ou du moins une « monographie officielle ». Les papiers évoquent les mêmes faits glorieux, ignorant les faux pas et les échecs. Un voile amnésique recouvre cette période pionnière. Pourtant, après avoir dépouillé les archives des services du contentieux, il était certain que des cahiers de laboratoire étaient utilisés au cours des procès que la S.E.M.F.⁵ intentait à ses contrefacteurs⁶. Il avait donc existé des laboratoires, et les cahiers qu'ils émettaient attestaient que les travaux effectués avaient une validité sur le plan juridique. Tout cela suggérait

que la recherche en tant qu'activité existait, mais qu'elle n'était pas structurée ni organisée. Cependant aucun autre élément n'existait pour guider le travail de dépouillement des archives.

En conséquence, on a dû « pister » l'information, la rechercher systématiquement partout, ne négliger aucun fonds d'archives *a priori*, ni aucune source imprimée. Des informations ont été retrouvées en consultant les fonds photographiques, où certaines photographies datées attestaient de l'existence de laboratoires. Les correspondances des divers personnages importants, sur papier pelure et à l'encre violette, ont été lues pour trouver la mention d'un résultat de recherche intéressant, perdu au milieu d'une foule de considérations sans le moindre intérêt pour le sujet. Car, malheureusement, les cahiers de laboratoire ont disparu. Quant aux « projets ou rapports de recherche » de ces temps anciens, si l'on peut se permettre cet anachronisme, il n'en a jamais été trouvé la trace. Ont-ils existé ? Rien n'est sûr, tout au moins pour la S.E.M.F. Mais très probablement. Leur forme devait différer de celle des rapports plus récents, car pour cette nouvelle technique qu'était l'électrolyse de l'aluminium, le tour de main fut aussi important et ces savoir-faire n'ont pas donné lieu à de nombreux écrits. Des rapports ont dû exister au moins sous la forme de notes d'information (évoquant la qualité des matières premières, les difficultés rencontrées avec les cuves, les anodes...) adressées soit au directeur de l'usine, soit – et c'est le plus vraisemblable – à la direction générale et même aux conseils d'administration des entreprises étudiées : la S.E.M.F. et la Cie P.C.A.C.⁷. L'hypothèse selon laquelle les conseils et les directions n'auraient pas été informés n'est guère envisageable, alors que, par ailleurs, ils contrôlaient minutieusement, et même de façon parfois tatillonne, toute la marche des usines.

C'est au moment de la préparation de la fusion de ces deux entreprises, en 1921, que la nécessité de classer plus systématiquement les archives administratives est apparue, et que, par effet d'entraînement, les archives techniques – au sens large – ont été mieux conservées, sans toutefois être classées. La façon dont ont été classés ces documents confirme l'hypothèse de départ : l'activité de recherche, sa dynamique intellectuelle et ses pratiques quotidiennes étaient présentes, mais elles n'étaient pas perçues pour autant comme une activité spécifique en soi, plutôt comme un élément intégré au cycle de la production. Ne peut-on se demander si cela n'est pas également représentatif de la valeur que les contemporains accordaient à ce type de documents ? Il était évident, pour eux, de tenir une comptabilité, bien que la conservation des documents comptables fût également toute relative. Pourquoi s'encombrer d'archives lorsqu'un problème technique, un « *bug* », a été résolu ? Il est intéressant de constater que cela change partiellement entre les deux guerres.

C'est donc, à travers ce qu'il reste des archives de cette époque : plans cadastraux, documents administratifs, comptabilité, correspondances des responsables classées chronologiquement, publications à caractère scientifique et technique (les brochures d'entreprise ne sont apparues qu'après 1921) et surtout grâce aux mémoires écrits par les

premiers témoins que l'obligation de retenir la période 1886-1921 ait apparue, car on y faisait référence à des « études ». En outre, on discernait des indices qui laissaient penser que les deux entreprises étudiées étaient dynamiques. Les Français, co-inventeurs du procédé de fabrication de l'aluminium avec les Américains, semblaient être parmi les meilleurs producteurs de métal ; cela restait à vérifier. Si l'information était exacte, cette suprématie reposait sur une excellence technologique qu'il fallait maintenir, soit en cherchant soit en achetant la technologie. D'autre part, les producteurs devaient trouver à ce métal précieux, utilisé jusque là en joaillerie, et devenu ordinaire grâce au procédé Héroult, de nouveaux débouchés qui pussent absorber les importantes productions. Si l'on devait créer de nouveaux produits, il fallait les inventer. Qui assumait cela ? Quand et comment innovait-on ? Pourquoi ? Quels ont été les moyens qui ont permis aux pionniers de l'industrie de l'aluminium d'imposer le nouveau métal ? Pour répondre à cette question, il fallait remonter jusqu'à l'inventeur-fondateur Paul Héroult, car l'histoire et la mémoire de l'entreprise laissaient espérer que l'on trouverait dans l'analyse des événements de cette période des éléments de réponse.

Lorsque l'on a retrouvé les plans d'usines où la mention « laboratoire » était explicite, et attestait que si effectivement la R&D au sens américain du terme n'avait pas existé à cette époque, il y avait des lieux que l'on appelait laboratoires. Il restait à savoir quelles étaient leurs missions ; faisaient-ils de la recherche ? Dans ce cas, pourquoi n'en avoir trouvé aucune trace ? Cependant, pour produire un métal de qualité, il fallait « travailler » sur le sujet, donc si les Français ne faisaient pas de recherche, ou n'appelaient pas ce travail ainsi, ils avaient développé des pratiques⁸ qui avaient quelque chose à voir avec ce que les Américains commençaient à appeler de la recherche industrielle.

Pour cela, le dépouillement systématique de tout le fonds subsistant⁹ (les comptes-rendus de conseil d'administration, les correspondances usines-direction, celles faisant état des relations avec l'Aluminium Français, la comptabilité, etc.) a permis de reconstituer, mais seulement partiellement à cause de certaines solutions de continuité dans le temps, les activités de ces laboratoires. Mais heureusement, l'apparition des « traités techniques » fut précoce, aux alentours de 1910. Ces « mises au point » étaient encore un compromis entre l'empirisme de l'expérience quotidienne et les apports de la science des matériaux en cours d'élaboration, et elles le restèrent longtemps. Mais c'est grâce à cette source que l'on a déterminé les moments importants de l'évolution de la technologie et ainsi borné les périodes chronologiques dans le dépouillement des archives.

Enfin, dernier handicap, et non des moindres, il a souvent été constaté que la fiabilité de la littérature spécialisée ou des notices techniques, biographiques ou historiques, était toute relative, qu'il s'agisse des dates, des faits relatés ou de l'orthographe des noms. Il n'y a que le contenu technique qui soit fiable. Des inexactitudes reprises au fil du temps ont posé problème pour dater l'ouverture d'un laboratoire, ou la création des services de recherche. Il fut parfois difficile de convaincre les

interlocuteurs, document original à l'appui, de l'existence de ces laboratoires, tant la tradition née des différents « historiques » avait force de loi. Or ils ne faisaient aucune place à ces laboratoires, ni n'évoquaient une quelconque activité de recherche.

Donc, chaque fois que cela fut possible, le document original a été retenu, mais lorsque celui-ci avait été détruit, on a opté pour la version qui était confirmée par au moins trois sources différentes, en faisant plus facilement confiance aux auteurs qui avaient personnellement connu ces temps anciens, comme Paul Toussaint¹⁰, collaborateur de Paul Héroult. Il a écrit une histoire des sociétés fondatrices qui s'associèrent et fusionnèrent pour constituer l'entreprise Alais Froges et Camargue¹¹ en 1921¹². À chaque fois que les informations citées dans cet ouvrage ont pu être vérifiées, elles étaient exactes. En outre, l'auteur a cité des archives dont nous avons retrouvé les fantômes portant la mention « détruites ». Ce document, essentiel à bien des égards, semble donc tout à fait fiable et mériterait d'être mieux connu. Une citation de cet ouvrage allait dans le sens de l'hypothèse :

« Tandis que la Cie P.C.A.C., au cours de ses cinquante premières années, mettait surtout en œuvre des procédés inventés ou expérimentés par des étrangers en leur payant au besoin des redevances, (...), la S.E.M.F. s'efforçait de rester indépendante.

Elle poussait ses recherches en vue de prendre des brevets qu'elle exploitait elle-même, ou dont elle tirait bénéfice, en concédant des licences.

Alors que Merle et Pechiney, si on met à part la production du chlore, s'étaient contentés d'acheter des brevets, la société Froges, sous l'impulsion d'Héroult, était peut-on dire une société d'inventeurs toujours avides de progrès. »¹³

La recherche, tâche non individualisée, avait un rôle actif dans la stratégie menée par cette entreprise, et grâce à Paul Toussaint il n'était plus possible de douter de la légitimité du sujet. Reconstituer l'histoire de cette activité était l'objectif à atteindre. Cependant, la corrélation entre laboratoire, recherche et innovation n'allait pas de soi. Quelles étaient les missions des laboratoires retrouvés ? Existait-il d'autres lieux d'études ? Qui cherchait, y avait-il un personnel spécifique ? Autant de questions auxquelles il fallait essayé d'apporter des réponses. Cependant, les réponses n'ont pas comblé toutes les espérances et il n'a pas été possible de reconstituer la totalité des étapes qu'a empruntées le progrès technique, et donc de présenter un modèle complètement argumenté du processus d'innovation.

Pourtant, suffisamment d'informations ont été réunies pour affirmer que la possession et le contrôle des technologies étaient au cœur de la stratégie des deux entreprises, même si ces mots sont anachroniques. Cela implique la création d'un concept pour qualifier, définir et comprendre, puisque les outils proposés par l'historiographie ne sont pas pertinents pour évoquer cette première période.

L'essor de l'industrie de l'aluminium ne fut possible qu'après que la puissance des génératrices électriques a crû. « Fils de la lumière »,

l'aluminium était encore un objet de laboratoire comme bien d'autres matériaux au début des années 1880. Dans le prolongement des Lumières, le XIX^e siècle vit la science aller à la rencontre de l'industrie. Les expériences de Berthollet et celles de Gay-Lussac et leurs applications industrielles restèrent dans les esprits, et les connexions science-industrie s'affirmèrent. Dans ce contexte, certains se sont plus à travailler aidés par des instruments et des outils sans cesse plus performants. Par un mouvement de balancier, la science informa, suggéra et l'industrie questionna... De ces échanges sont nées des filières industrielles parmi lesquelles celle de l'aluminium. Afin de situer les inventions de Paul Héroult et de Charles Hall dans leur contexte, retraçons les étapes qui ont conduit à « *L'Aluminium à bon marché* »¹⁴ de 1808 à 1886. Ensuite, il faudra examiner le rôle de la recherche dans la naissance de la filière industrielle et enfin, voir comment cette activité s'est développée au sein des deux entreprises étudiées.

*Comme sous les champs inexploités,
l'aluminium à bon marché a vu passer
beaucoup de chercheurs et d'enthousiastes.
La plupart des inventeurs, (...) ont fait que
des essais qui ne sont pas sortis du domaine
du laboratoire, ni le plus souvent de la
littérature technique.*

Paul Héroult¹⁵

A... COMPÉTITION SCIENTIFIQUE POUR LA NAISSANCE DE L'ALUMINIUM (1808 - 1880)

Le propos n'est pas d'écrire ici un chapitre d'histoire des sciences. Il s'agit de suivre les principes de Bertrand Gillis qui voulait que l'histoire des inventions quitte le domaine de la mythologie et de l'hagiographie : « *Mythologie dans la mesure où l'on fait intervenir des forces autonomes, souvent mal définies, hagiographie dans la mesure où l'inventeur apparaît comme un personnage doté de facultés supra naturelles (...)* »¹⁶. Pour replacer dans son contexte la naissance d'un procédé industriel que Michel Caron¹⁷ a qualifié « d'invention scientifique » ne fallait-il pas reconstituer les liens scientifiques et techniques, le milieu qui permit l'invention décisive et la création d'une industrie dont les ramifications furent importantes ? Est-ce que la mise au point d'un procédé industriel permettant une production de masse fut le fruit à la fois de recherches menées en laboratoires par des savants et/ou des universitaires, de l'expérimentation des hypothèses avancées, et de leur développement au stade préindustriel (niveau où intervient la connaissance technique) et d'un savoir pratique (né de l'expérience quotidienne), ou s'agissait-il d'une invention isolée ?

Les recherches effectuées au sujet de l'industrie pendant la période 1920-1930 ont permis de constater que les entreprises ont été créées en France à la suite de la découverte de la bauxite en Indochine. Les recherches effectuées au sujet de l'industrie pendant la période 1930-1940 ont permis de constater que les entreprises ont été créées en France à la suite de la découverte de la bauxite en Indochine. Les recherches effectuées au sujet de l'industrie pendant la période 1940-1950 ont permis de constater que les entreprises ont été créées en France à la suite de la découverte de la bauxite en Indochine. Ce document, essentiel à nos yeux, a été communiqué à nos collègues de l'Institut de la Recherche Économique de la Sorbonne. Une citation de cet ouvrage abait dans le sens de l'hypothèse :

« Tandis que le CIE P.C.A.C., au cours de ses cinquante premières années, mettait surtout en œuvre des procédés basés sur l'expérience par des étrangers ou leur paysan au besoin des résistances, (...) le S.E.M.F. s'efforçait de rester indépendante.

« Elle poursuit ses recherches en vue de prendre des brevets qu'elle exploitait elle-même, ou dont elle tirait bénéfice, ou concédait des licences.

« Alors que Merle et Puchiny, si on met à part la production du chlorure, s'efforçait continuellement d'acheter des brevets, la société Krupps, sous l'apparence d'un contrat, était peut-être une société d'inventeurs toujours au bout de progrès. »

La recherche, riche non individualisée, avait un rôle actif dans la stratégie menée par cette entreprise, et grâce à Paul Toussaint il n'était plus possible de douter de la légitimité du sujet. Reconstituer l'histoire de cette activité était l'objectif à atteindre. Cependant, la corrélation entre laboratoire, recherche et innovation n'allait pas de soi. Quelles étaient les missions des laboratoires rattachés ? Existait-il d'autres lieux d'études ? Qui, cherchant, y avait un personnel spécifique ? Autant de questions auxquelles il fallait essayer d'apporter des réponses. Cependant, les réponses n'ont pas comblé toutes les espérances et il n'a pas été possible de reconstituer le détail des étapes qu'a empruntées le progrès technique, et donc de présenter un modèle complètement argumenté du processus d'innovation.

Pourtant, suffisamment d'informations ont été réunies pour affirmer que la possibilité et le contrôle des technologies étaient au cœur de la stratégie des deux entreprises, même si ces mots sont anachroniques. Cela implique la création d'un concept pour qualifier, définir et comprendre, puisque les outils proposés par l'historiographie ne sont pas pertinents pour évoquer cette première période.

Dessin de l'industrie de l'aluminium ne fut possible qu'après que la puissance des génératrices électriques a crû. - *Fils de la lumière* -

Chapitre I

DU MÉTAL DE LABORATOIRE À « L'ALUMINIUM À BON MARCHÉ » (1808 - 1888)

« Comme tous les champs inexplorés, l'aluminium à bon marché a vu passer beaucoup de chercheurs et d'enthousiastes. La plupart des inventeurs, (...) n'ont fait que des essais qui ne sont pas sortis du domaine du laboratoire, ni le plus souvent de la littérature technique. »

Paul Héroult¹⁵

A . COMPÉTITION SCIENTIFIQUE POUR LA NAISSANCE DE L'ALUMINIUM (1808 - 1880)

Le propos n'est pas d'écrire ici un chapitre d'histoire des sciences. Il s'agit de suivre les principes de Bertrand Gille qui voulait que l'histoire des inventions quitte le domaine de la mythologie et de l'hagiographie. *« Mythologie dans la mesure où l'on fait intervenir des forces autonomes, souvent mal définies, hagiographie dans la mesure où l'inventeur apparaît comme un personnage doué de facultés supra naturelles (...) »*¹⁶. Pour replacer dans son contexte la naissance d'un procédé industriel que Michel Caron¹⁷ a qualifié *« d'invention scientifique »* ne fallait-il pas reconstituer les liens scientifiques et techniques, le milieu qui permirent l'invention décisive et la création d'une industrie dont les ramifications furent importantes ? Est-ce que la mise au point d'un procédé industriel permettant une production de masse fut le fruit à la fois de recherches menées en laboratoires par des savants et/ou des universitaires, de l'expérimentation des hypothèses avancées, et de leur développement au stade préindustriel (niveau où intervient la connaissance technique) et d'un savoir pratique (né de l'expérience quotidienne), ou sagissait-il d'une invention isolée ?

Aussi, avant de présenter l'expérience Héroult-Hall, il était intéressant de présenter le cheminement intellectuel qui a précédé l'exploitation industrielle d'une idée :

« Car la liberté de l'inventeur est étroitement circonscrite, étroitement limitée par les exigences auxquelles doit répondre l'invention. Ainsi s'imposent des choix, (...), mais aussi des moments où l'invention voit le jour, déterminés par le progrès scientifique, par les progrès parallèles de toutes les techniques (...) »¹⁸

Mais avant tout, une donnée fondamentale d'ordre technique de la production de l'aluminium doit absolument être conservée en mémoire. Au cours de cette période, deux approches furent explorées pour obtenir de l'aluminium : la voie électrochimique (travaux de Davy, Bunsen) et la voie chimique (ceux de Ørsted, Wöhler). Henri Sainte-Claire Deville expérimenta les deux¹⁹.

1808 fut l'année où Humphrey Davy, (1778-1829), chimiste et physicien anglais, après avoir échoué dans ses tentatives pour isoler de nouveaux éléments métalliques à l'état pur, réussit cependant à en prouver l'existence et, de fait, les nomma. Il s'agissait du silicium, de l'aluminium, du zirconium et du glucium²⁰. Hans-Christian Ørsted, physicien et chimiste danois (1771-1851) isola, quant à lui, en 1825, l'aluminium non allié. Informé des travaux de Davy et de Ørsted, l'Allemand Friedrich Wöhler obtint, deux ans plus tard, un culot d'aluminium²¹. Peu de temps après, R. Bunsen (1811-1899) « eut l'incomparable mérite de résoudre les problèmes que posait la fabrication de l'aluminium par électrolyse »²². Il utilisa pour ses expériences un minerai qu'un minéralogiste français Pierre Berthier (1782-1861) avait découvert en 1821 : la bauxite²³.

En suivant la chronologie, viennent ensuite les travaux d'Henri Sainte-Claire Deville (1818-1881). Le chimiste français, après avoir étudié toutes les expériences antérieures, les reprit et en fit d'autres dans son laboratoire²⁴ de l'Ecole Normale Supérieure de la rue d'Ulm. En 1854, il reprit les travaux de Wöhler et, pour la première fois, il obtint une certaine quantité de métal permettant d'en déterminer les propriétés. C'était un « métal blanc et inaltérable comme l'argent, qui ne noircit pas à l'air, qui est fusible, malléable, ductile et tenace et qui présente la singulière propriété d'être plus léger que le verre »²⁵. La méthode Sainte-Claire Deville était plus efficace et relativement bon marché : il utilisait du chlorure double d'aluminium et de sodium, et du sodium comme réducteur ; il ajoutait un fondant, du spath-fluor, qu'il remplaça ensuite par de la cryolite. Ce fondant dissolvait l'alumine. Reprenant ensuite les travaux de Bunsen, il produisit de l'aluminium en électrolysant des sels fondus.

A une époque de diffusion massive des résultats des sciences et des techniques, l'information circule plus largement et plus rapidement. Les savants voulaient faire connaître les résultats de leurs travaux afin de montrer leur contribution au « progrès ». De fait, tous publièrent les résultats de leurs travaux dans les meilleures revues du moment :

Philosophical Transaction, Poggendorff's Annalen der Physik und Chemie, Annales de Chimie et de Physique, Liebig Annalen der Chemie und Pharmacie, les Comptes-Rendus de l'Académie des Sciences, etc. De plus, certains d'entre eux se connaissaient personnellement : Sainte-Claire Deville a travaillé avec Wöhler, celui-ci avait travaillé sous l'égide d'Ersted qui l'encouragea dans la direction des recherches à suivre..., Bunsen succéda à Wöhler à l'École Supérieure de l'Industrie de Cassel quand ce dernier fut nommé à Göttingen pour y remplacer le maître de Bunsen... ; Karl Joseph Bayer²⁶, encore doctorant, fut le préparateur de Bunsen à Heidelberg.

Ajoutons à cela que l'Académie des sciences, en France, était le lieu où étaient examinées toutes ces publications, où s'exerçaient des joutes intellectuelles et oratoires, chaque membre prenant parti pour une théorie, une école de pensée. L'Académie possédait des correspondants dans tous les pays européens ; la Société royale de Londres, l'Académie de Saint-Petersbourg, celle de Berlin, la Société des sciences naturelles de Genève également. Ces Académies avaient demandé à Sainte-Claire Deville d'être un de leurs membres ou leur correspondant. Ainsi, quand les savants ne correspondaient pas entre eux, les Académies se chargeaient de confronter et de critiquer leurs théories. Les congrès organisés par ces sociétés eurent un rôle également considérable dans la progression de la connaissance en physique et en chimie. On ne citera qu'un exemple : le 49^e congrès de la Société helvétique des sciences naturelles de Genève rassembla, au mois d'août 1865, Sainte-Claire Deville, Tyndall, Claude Bernard, Dumas, Wöhler... Les travaux des uns donnèrent à réfléchir aux autres et initièrent de nouvelles recherches. C'est donc à l'intérieur d'un solide réseau scientifique qu'il faut replacer les résultats de Sainte-Claire Deville ainsi que ses premières tentatives de production d'aluminium²⁷. Eux aussi donnèrent lieu à de nombreux débats et publications²⁸. Il est intéressant de relever les connexions qui existaient entre les savants européens. L'enchaînement chronologique de leurs découvertes atteste de la complémentarité de leurs travaux et combien ils les utilisaient rapidement. Ainsi, la découverte de l'aluminium, des deux grandes théories pour le fabriquer et de son procédé de fabrication chimique sont les résultats de la science européenne du XIX^e siècle car :

« Si on reconnaît à Davy, Ersted et Wöhler leur rôle de précurseurs, il revient à Deville d'avoir jeté les bases chimiques de la préparation électrolytique de l'aluminium, et à Bunsen, en tant que créateur incontesté de l'électrolyse ignée, les bases électrochimiques. »²⁹

En 1856, Paul Morin, un ami de Sainte-Claire Deville, fonda la société Paul Morin et Cie³⁰ en vue d'exploiter le procédé. Après maints déménagements, la société s'installa à Nanterre où Sainte-Claire Deville mit au point le procédé industriel de fabrication en utilisant cette fois-ci de la bauxite comme minerai de départ. Ces travaux débouchèrent sur un brevet déposé le 11 août 1858 sous le n° 37 682³¹ tandis que les débats qu'ils avaient soulevés l'incitèrent à publier en 1859 l'ouvrage intitulé *De l'aluminium ; ses propriétés, sa fabrication et ses applications*³². Pendant

que Sainte-Claire Deville travaillait, la voie chimique continuait à être explorée aussi bien en Allemagne qu'en Angleterre³³ donnant lieu, là aussi, à des tentatives industrielles et à des améliorations du procédé Deville. En France, à partir de 1860, la compagnie des Produits Chimiques d'Alais et de la Camargue (Cie P.C.A.C.)³⁴ fut chargée à Salindres de la production industrielle d'aluminium. Cependant, comme le montre le tableau ci-dessous, l'aluminium restait cher et sa production (en kilogrammes) ainsi que son prix irréguliers.

**Production et prix de vente de l'aluminium
à Salindres (1860-1889)** ³⁵

| Années | Production (en kg) | Prix (en F/kg) |
|----------|--------------------|----------------|
| 1860 | 505 | 101 |
| 1863 | 1 000 | 72 |
| 1867 | 1 712 | 58 |
| 1869 | 545 | 74 |
| 1872 | 1 790 | 82 |
| 1875 | 920 | 79 |
| 1879 | 1 766 | 72 |
| 1880 | 1 146 | 69 |
| 1886 | 2 430 | 66 |
| 1889 (*) | 2 959 | 61 |

(*) Prix de revient avec le procédé électrolytique de Paul Héroult
1890 = 29,6 F/kg ; 1891 = 18,1 F/kg ; 1892 = 6 F/kg.

Les débouchés se limitaient encore aux produits de luxe (lorgnettes de spectacle, besicles, bijoux par exemple) sans d'ailleurs avoir réellement conquis le goût des consommateurs qui, aussi bien par méfiance que par inclination, préféraient l'argent et l'or ou les premiers objets plaqués or à l'aluminium, dont on ignorait s'il garderait dans le futur sa valeur du moment. L'instabilité même de la production et, dans une certaine mesure, la fluctuation du cours du métal³⁶ et la précarité des débouchés³⁷ prouvent que cette production n'avait pas atteint une « maturité industrielle ». L'absence d'un important marché n'incita pas les industriels à se lancer dans la fabrication de l'aluminium selon le procédé Deville. Seule l'usine de Salindres maintint une production continue par le procédé chimique entre 1860 et 1889 car, pour explorer la voie électrolytique, il manquait encore la puissance électrique.

C'est pourquoi, au début des années 1880, malgré l'existence de la production industrielle de Salindres, (et sans doute parce que chacun avait espoir d'en améliorer les coûts de production, en ne sachant toujours pas exactement quels pourraient être les débouchés potentiels), l'aluminium relève encore de la préoccupation des chercheurs, comme l'attestent les publications scientifiques du moment, et surtout le nombre de brevets déposés dont certains n'ont jamais donné lieu à la moindre expérimentation de type industriel³⁸. Aussi, à la croisée des préoccupations des savants et des intérêts d'industriels ou d'hommes d'affaires virtuels, se trouvait l'aluminium, comme d'autres métaux dits nouveaux à cette époque. L'exemple de ce métal illustre bien que « *tout au long du XIX^e siècle, les chimistes avaient accumulé en laboratoire un important corpus de données(...)* »³⁹. Il restait à associer cette accumulation de savoir à l'électricité, nouvelle puissance énergétique disponible, pour que de nouvelles applications industrielles voient le jour.

Une volonté commune de compréhension et de connaissance de la matière a constitué le point commun des motivations de tous ceux qui, d'une façon ou d'une autre, ont participé à la naissance de ce métal léger qu'est l'aluminium. Dès lors que ses propriétés essentielles (légèreté, inaltérabilité, conductibilité) furent connues, ce sont les perspectives de gains espérés qui ont été le moteur des recherches entreprises pour fabriquer de « *l'aluminium à bon marché* », de l'aluminium électrolytique.

B . COMPÉTITION SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE POUR LA GENÈSE DU PROCÉDÉ INDUSTRIEL PERFORMANT (les années 1880)

1 . Les vaines tentatives

Avant que Paul Héroult n'ait commencé à s'intéresser à l'aluminium, d'autres s'étaient penchés sur le sujet.

Grâce aux recherches effectuées tout au long du XIX^e siècle, et plus spécifiquement celles de Sainte-Claire Deville, les propriétés du métal étaient connues, quelques idées d'utilisation avancées, et grâce aux travaux de Bunsen, les principes de l'électrolyse de sels fondus posés. Il ne restait qu'à reprendre les résultats acquis et à entamer de nouvelles expériences avec cette fois un potentiel électrique accru puisque, entre-temps, le Belge Zénobe Gramme avait non seulement inventé la dynamo (1871)⁴⁰, mais mis au point sa version industrielle (1875).

Tous avaient compris que l'industrie allait pouvoir exploiter de nouveaux matériaux grâce à cette nouvelle puissance, à cette énergie disponible, car :

« Les installations mises en place pour la production de l'électricité se trouvaient dans une situation de surcapacité certaine, qui devait entraîner la recherche de nouvelles applications, dans l'électrochimie et l'électrometallurgie particulièrement. »⁴¹

Ainsi le Français Lontin avait songé dès 1879 à utiliser la dynamo de Gramme pour « l'électrolyse des solutions salines en milieux aqueux ou ignés, (...). Est citée comme exemple l'électrolyse du chlorure double d'aluminium et de sodium (...) »⁴². En 1883, ce même Lontin « essaya d'électrolyser de l'alumine qu'il supposait dissoute dans un bain fondu composé d'un mélange de chlorure et fluorure d'aluminium et de métaux alcalins » ; il continua en 1886⁴³, ce qui fit écrire à Louis Ferrand que « Paul Héroult [eut] (...) le mérite d'inventer un mode d'application valable de ce brevet de principe, avec un flux salin convenable »⁴⁴. En Allemagne, en 1886, Grätzel von Gratz essaya de transposer à l'aluminium le brevet qu'il avait mis au point pour la fabrication du magnésium en 1883, en vain. En Suisse, à Zurich, le Dr. Kleiner-Fiertz, élève du professeur Rathenau et inspirateur du Dr. Kiliani⁴⁵, déposa deux brevets en 1886 et 1887 relatifs à la fabrication de l'aluminium ou d'autres métaux légers. D'autres tentatives aboutirent à la production d'alliages d'aluminium (procédé Lossier 1884), tandis qu'aux États-Unis les frères Cowles⁴⁶ avaient, dès 1885, breveté un procédé qui aboutit à la construction de deux usines expérimentales où l'on produisait par électrothermie du bronze d'aluminium, (un alliage de cuivre et d'aluminium). C'est d'ailleurs dans une des deux usines, à Lockport (New York), que Hall essaya, pendant un an, de convaincre les frères Cowles de l'intérêt de son invention avant de s'adresser au *Pittsburgh Testing Laboratory*⁴⁷.

Le recensement des principaux brevets et des quelques tentatives industrielles montre que Paul Héroult et Charles Hall⁴⁸ ne furent ni les premiers ni les seuls à penser à utiliser l'électricité pour fabriquer de l'aluminium grâce à l'électrolyse. Il faut ajouter que tous avaient dans l'esprit une application industrielle, tant était forte la conviction que ce nouveau métal pur ou sous forme d'alliages allait connaître un avenir florissant, tant était forte l'idée que les applications de la science pouvaient avoir des retombées économiques, même si, au total, la métallurgie, en tant que discipline, par bien des aspects relevait plus de l'empirisme que de la science.

Les dépôts de brevets de Paul Héroult, de Charles-Martin Hall, en 1886, et de Karl Joseph Bayer⁴⁹, en 1887, eurent lieu dans un court laps de temps. Cela confirme que ce sont bien les progrès scientifiques et techniques du XIX^e siècle qui, en créant un nouveau système technique dont la clef de voûte était l'électricité, permirent d'aboutir à ces inventions. L'aluminium électrolytique appartient à ces lignées d'innovations « à l'horizontale » suscitées par le système technique électrique (les industries électrochimiques et électrometallurgiques ne

