



L'élaboration de l'aluminium de Sainte-Claire Deville à nos jours

Maurice Keinborg ¹

C'est à Sainte-Claire Deville que l'on doit, dès 1854, à la fois le premier procédé chimique de fabrication industrielle de l'aluminium et la première élaboration de ce métal par électrolyse d'un sel fondu.

En 1886, Hall aux U.S.A. et Héroult en France imaginent simultanément l'électrolyse de l'alumine dissoute dans un bain de fluorures, procédé qui est aujourd'hui encore universellement employé.

La fabrication, puis l'électrolyse du chlorure et divers modes de réduction directe de l'alumine ou de minerais silicoalumineux ont été essayés, mais, jusqu'à présent, aucun n'a pu supplanter le procédé Hall-Héroult.

Depuis 1886, la fabrication d'aluminium par électrolyse de l'alumine a considérablement progressé. La consommation spécifique d'énergie est passée de 40 000 à moins de 13 000 kilowatt-heures par tonne de métal produite. Le rendement Faraday s'est amélioré, passant de 88 à 94 % au cours des dix dernières années. Les rejets de fluor, qui pouvaient atteindre 15 kg par tonne de métal produite avant les années 50, sont maintenant réduits à moins de 1 kg (F)/t. A l'électrolyse seule, pour élaborer une tonne de métal, il faut environ trois fois moins d'heures qu'en 1960.

Ces résultats sont essentiellement dus à une meilleure connaissance des processus et à leur modélisation, à une augmentation de la taille des cuves et une réduction des effets magnétiques, à une baisse des densités de courant, à une automatisation et mécanisation poussées et à un captage quasi intégral des émanations fluorées.

La cuve moderne d'Aluminium Péchiney, dont l'intensité dépasse 175 kA, illustre bien les options déjà décrites. Les résultats industriels obtenus situent cette technologie au plus haut niveau mondial.

Dans l'avenir, des progrès importants restent encore possibles en technologie conventionnelle, notamment en matière de coût d'investissement, de consommation d'énergie et de productivité.

De plus, deux voies nouvelles méritent attention :

- *l'utilisation de matériaux cathodiques spéciaux émergeant hors de la nappe de métal liquide, tel le diborure de titane, qui permettrait de réduire la distance anode-cathode, donc la chute ohmique correspondante, tout en éloignant le métal de l'anode;*
- *l'utilisation de matériau anodique non consommable qui pourrait avoir un effet favorable sur les performances.*

L'aluminium, métal de Sainte-Claire Deville, bénéficie de cette dynamique de progrès en matière de coût d'élaboration qui lui permet de conquérir, grâce à ses performances métallurgiques, de nouveaux marchés.

En cette journée commémorative, quelle meilleure introduction serait-il que de rappeler que c'est précisément Henri Sainte-Claire Deville qui présenta, en 1854, à l'Académie des Sciences, le premier lingot d'aluminium ?

Depuis cette date, les méthodes d'élaboration de ce métal n'ont cessé de progresser.

L'apport des savants, techniciens et industriels français, Paul Héroult, Alfred Péchiney, Henri Merle, Adrien Badin a été considérable.

Notre pays, par l'Aluminium Péchiney, se situe aujourd'hui au

troisième rang mondial, avec une position de tout premier plan en matière de technologie de fabrication d'aluminium par électrolyse.

Dans l'exposé qui suit, un survol rapide du passé nous permettra de comparer les différents procédés d'extraction de l'aluminium. Nous essaierons ensuite de dégager les grands axes économiques et technologiques qui ont guidé les progrès de l'élaboration de ce métal par électrolyse jusqu'à sa technique la plus performante dont nous donnerons un exemple de réalisation française.

Nous tenterons, enfin, d'explorer les voies d'améliorations encore possibles dans ce domaine.

¹ Directeur du Laboratoire de recherches des fabrications, Aluminium Péchiney, Saint-Jean-de-Maurienne.

De Sainte-Claire Deville à Hall et à Héroult

Sainte-Claire Deville peut réellement être considéré comme le fondateur de notre industrie.

En 1854, il fabrique non seulement le premier lingot par électrolyse du chlorure double $\text{AlCl}_3 \cdot \text{NaCl}$ fondu, mais il imagine aussi le procédé industriel qui porte son nom et qui permet d'obtenir le métal par voie chimique en attaquant ce même chlorure double par le sodium dont il vient de mettre au point un mode de fabrication par voie chimique.

C'est ce dernier procédé qui se développe alors, faute de générateur de courant électrique autre que la pile.

Il est également le premier à ajouter des fondants au mélange réactionnel: d'abord du spath fluor puis de la cryolithe.

Enfin, c'est lui qui, en 1859, imagine un procédé de fabrication industrielle de l'alumine à partir de la bauxite, mettant ainsi à la disposition du futur procédé d'électrolyse sa matière première de base.

Son ouvrage sur l'aluminium suscite l'intérêt passionné des deux jeunes inventeurs: Hall et Héroult qui, à des milliers de kilomètres de distance, déposent, quasi simultanément, en 1886, des brevets voisins concernant l'électrolyse de l'alumine dissoute dans un bain fondu de fluorures.

Le procédé Hall-Héroult, encore universellement employé de nos jours, est né...

Héroult réussira à intéresser les entrepreneurs qui donneront naissance à l'industrie de l'aluminium par électrolyse chez Alusuisse et Pechiney, tandis qu'Hall donnera l'impulsion initiale à la future Société Alcoa.

Les procédés concurrents

La réduction directe de l'alumine par le carbone (procédé Alcar de Pechiney) aurait pu constituer la voie la plus simple pour produire le métal. Malheureusement, il faut opérer à plus de 1 900 °C, température à laquelle on produit également du carbure et on brûle beaucoup de carbone en produisant du monoxyde CO.

Malgré près de dix ans d'efforts, dans les années 1960, qui aboutirent à la production de 1 000 tonnes d'un excellent aluminium « Alcar », Pechiney ne put établir l'avantage économique de cette voie.

En utilisant la bauxite ou l'argile, avec excès de fer ou silicium, la réduction peut se faire en haut fourneau ou même en bas fourneau, mais on obtient un alliage très impur qu'il faut traiter par dissolution sélective dans un métal liquide. Cette voie, abandonnée par Pechiney et, semble-t-il, par Alcoa, est actuellement explorée par Mitsui avec un important financement public (MITI).

Elle peut présenter de l'intérêt si, à défaut de bauxite et d'électricité, on dispose en abondance de charbon et d'argile. Cependant, sa faisabilité n'est pas démontrée.

Le procédé au sous-chlorure, étudié par Alcan dans les années 50, consiste à fabriquer le mono-chlorure AlCl par réaction sous vide à 1 000 °C du trichlorure AlCl_3 sur un alliage Al-Si-Fe obtenu par réduction directe. On dismute ensuite le mono-chlorure à plus basse température avec dépôt d'aluminium pur et production d' AlCl_3 à recycler.

Reprenant l'idée de Sainte-Claire Deville, Alcoa travaille depuis plus de dix ans sur l'électrolyse du chlorure produit par carbochloration de l'alumine.

Si le bilan énergétique de l'électrolyse du chlorure semble séduisant, le gain énergétique global est plus douteux et les difficultés de mise en œuvre semblent importantes en ce qui concerne l'utilisation du chlore à 700 °C, la tenue des matériaux et la pureté du chlorure obtenu. Alcoa, qui dispose d'un atelier pilote de 7 500 tonnes/an à Palestine (Texas), paraît y piétiner depuis plusieurs années.



Henri Sainte-Claire Deville

(Photo H. Roger Viollet).

Il semble donc probable, sauf surprise toujours possible, que le procédé Hall-Héroult reste, au moins encore pour une décennie, le procédé universel de production d'aluminium de première fusion et c'est à lui que nous consacrerons la suite de notre exposé.

Le procédé Hall-Héroult : critères d'optimisation socio-économiques

Pour bien mesurer les progrès accomplis dans le domaine de l'électrolyse Hall-Héroult, il convient d'abord d'examiner les principaux facteurs qui conditionnent le prix de revient du métal et l'insertion d'une usine d'électrolyse dans l'environnement.

L'utilisation d'énergie électrique, élément essentiel du prix de revient, se chiffre sous deux aspects :

- la consommation spécifique d'énergie exprimée en kilowatt-heures nécessaires pour produire une tonne de métal (kWh/t);
- le rendement de courant, ou Faraday, qui mesure le rapport entre la quantité de métal effectivement produite et celle qu'on aurait été en droit d'attendre par application des lois de l'électrolyse. C'est donc, en fait, un terme de « productivité » de la cuve.

Le coût d'investissement constitue évidemment aussi un élément très important qui sanctionnera les options technologiques retenues. On l'exprime en coût d'investissement rapporté à une tonne produite par an ou « tonne installée ».

Il faut donc intervenir la production unitaire que l'on caractérise par la taille de la cuve et qui dépend, en première approximation, de l'intensité de courant choisie et du rendement Faraday obtenu.



Paul Héroult

A Faraday constant, la capacité de production d'une cuve d'électrolyse est proportionnelle à son intensité.

Enfin, la productivité du travail, exprimée en heures par tonne produite, qualifie le degré de mécanisation et d'automatisation de la

cuve, mais est, par ailleurs, fonction de la production unitaire de celle-ci.

A ces critères purement économiques, il faut ajouter ceux qui concernent l'ergonomie et l'environnement car il ne suffit pas de produire à bon compte et de vendre pour être un industriel heureux, encore faut-il réduire les rejets à un niveau négligeable pour l'environnement et procurer à son personnel des conditions de travail acceptables.

Les constituants technologiques du procédé Hall-Héroult

• Source d'énergie

En amont de l'électrolyse proprement dite, il y a d'abord un générateur de courant continu délivrant, sur une série moderne, 100 000 à 300 000 ampères sous plus de 1 000 volts.

Les cuves, toutes identiques, sont en effet branchées en série et fonctionnent sous environ 4 volts chacune. On limite, pour des raisons de sécurité, le nombre maximal de cuves à 250 environ.

• La cuve

Le cœur du système cathodique est constitué par un creuset en carbone dont le courant est extrait par des barres cathodiques en acier.

Ce creuset est calorifugé et l'ensemble contenu dans un caisson résistant, en acier (figure 1).

Le système anodique est également réalisé avec du carbone dans lequel plongent des amenées de courant en acier, mais on distingue deux conceptions :

1. L'anode Söderberg (figure 2) à autocuisson où la pâte crue, constituée d'un mélange de brai et de coke dans une gaine métallique, se cokéfie au cours de sa descente sous l'effet du courant et de la chaleur de la cuve. Les amenées de courant qui plongent dans le carbone sont appelées « goujons ». Elles descendent avec l'anode et, périodiquement et séquentiellement, sont arrachées et remplacées à la cote haute. Les gaz de combustion sont collectés à la base de la gaine au moyen d'une jupe sous aspiration, envoyés sur un brûleur puis vers une installation de traitement.

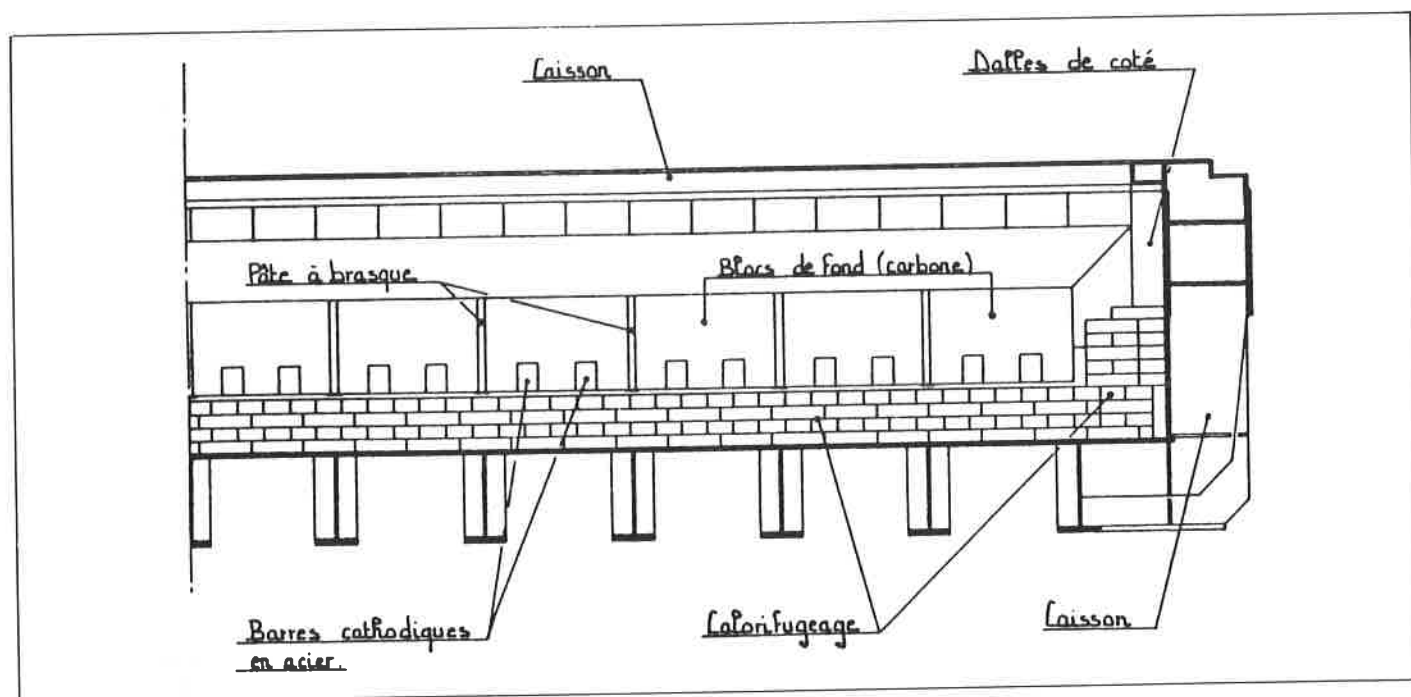


Figure 1. Cuve d'électrolyse : demi-coupe longitudinale du creuset.

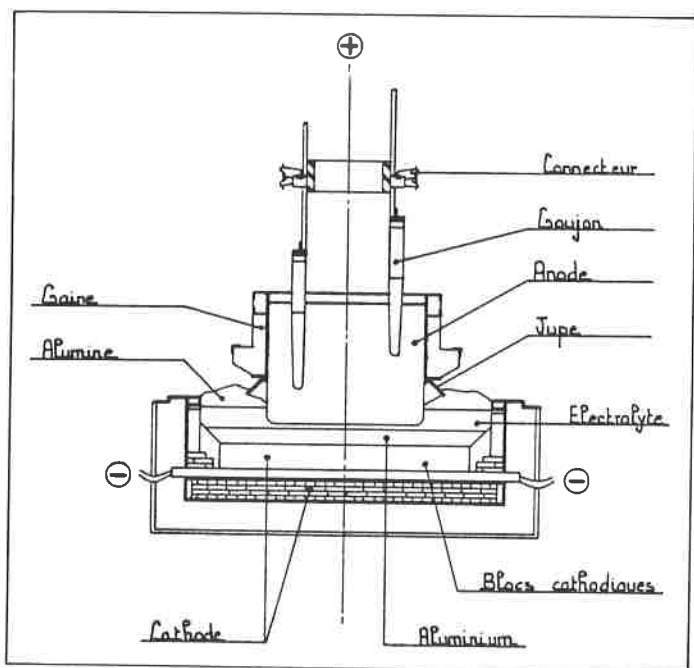


Figure 2. Schéma d'une cuve d'électrolyse à goujons verticaux.

L'alumine, déposée sur la croûte du couloir périphérique, participe à l'étanchéité de ce circuit de collecte des gaz par les jupes.

Elle est périodiquement introduite dans le bain par plongée de ce couloir à l'aide d'un marteau brise-croûte, puis une nouvelle quantité est rechargée sur le couloir.

2. Le système à anodes précuites (figure 3) implique la confection de blocs de carbone précuits à 1 100 °C scellés généralement à la fonte, à une amenée de courant dont la base est en acier.

L'anode en fin de vie, qui comporte encore un talon de carbone, est arrachée et remplacée par une anode neuve. Le système peut comporter 10 à 20 groupes anodiques, changés séquentiellement. Le carbone et la fonte du déchet sont recyclés.

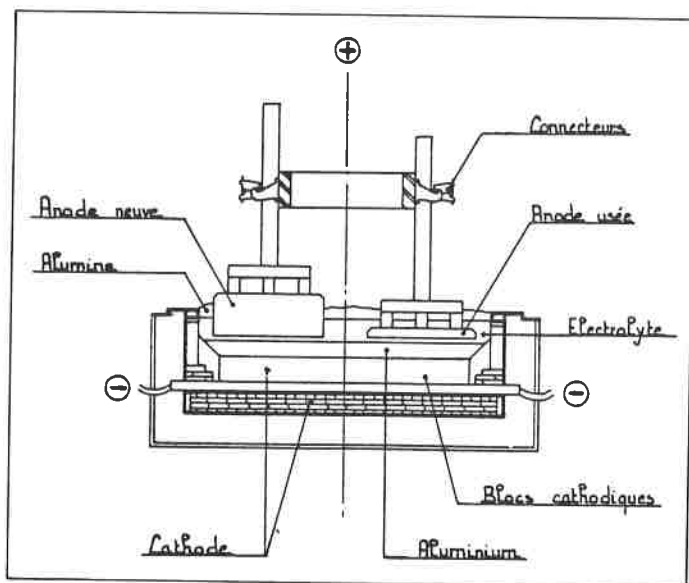


Figure 3. Schéma d'une cuve d'électrolyse à anodes précuites.

La confection des blocs anodiques précuits est un véritable procédé en soi, avec conditionnement du coke et du brai, malaxage, formage et cuisson.

L'alumine est périodiquement introduite dans le bain, soit par plongée du couloir périphérique (technique du « piquage périphérique ») sur lequel l'alumine a été déposée, soit par plongée du couloir central par des herse et déversement d'alumine (« piquage central »), soit encore par percée ponctuelle du couloir central avec un vérin piqueur et injection de doses d'alumine (« piquage ponctuel »).

La densité de courant, rapport entre l'intensité I et la surface S du système anodique, est l'un des paramètres les plus importants de la conception d'une cuve.

En effet, avec les notations de la figure 4, soit : F le Faraday et W la consommation spécifique d'énergie en kWh/t, on a :

$$W = \text{cste} \times \frac{U}{F} \quad \text{et} \quad U = e + \sum_1^6 \rho_i l_i \frac{I}{S_i}$$

$S_2 \neq S_3 \neq S_4 \neq S_5$ posés égaux à S ; l_1, l_2, l_4, l_5 sont fixés. l_3 distance interpolaire est optimisée pour assurer le meilleur couple Faraday-kWh/t toutes choses égales par ailleurs.

Ni les ρ_i , ni e ne dépendent directement de la géométrie de la cuve. On voit donc que les kWh/t sont une fonction croissante de la densité de courant.

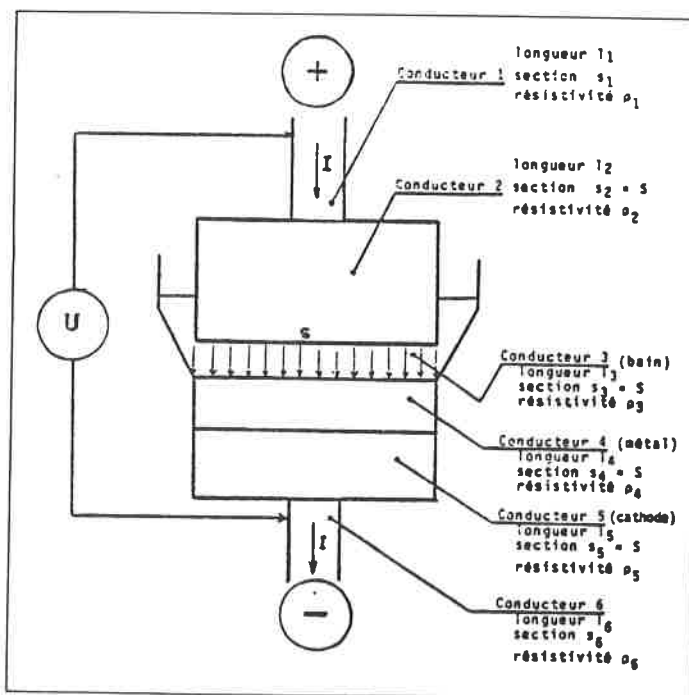


Figure 4. Décomposition de la tension d'une cellule d'électrolyse.

Pour abaisser le coût d'investissement de la cuve rapporté à l'ampère, il faudrait augmenter la densité de courant, alors que, pour réduire la consommation d'énergie, il faut l'abaisser. L'équilibre économique entre ces contraintes antagonistes dépendra donc des coûts respectifs de l'argent et de l'électricité.

Parcourus par des courants continus intenses, les conducteurs de liaison entre cuves et les conducteurs propres à la cuve vont créer des champs magnétiques élevés dans la nappe de métal liquide. Cette dernière, également parcourue par des courants, va être le siège d'effets magnétohydrodynamiques engendrant vagues, déformations et mouvements d'ensemble du métal. Il faut réduire ou supprimer ces effets qui peuvent être extrêmement néfastes pour le rendement Faraday.

L'électrolyte à 950 °C donne lieu à des émissions fluorées sous forme de gaz fluorhydrique et de poussières fluorées dont la moitié est submicronique. Il faudra capter ces émissions et les traiter avant rejet à l'atmosphère.

Les progrès du procédé Hall-Héroult

Notons d'abord que la technologie auxiliaire des générateurs de courant continu a considérablement progressé en rendement. Du rendement de 85 % des premières machines tournantes, on est successivement passé à 93 % avec des redresseurs à vapeur de mercure, puis à 96,5 % avec les redresseurs au germanium et enfin à plus de 98 % avec les cellules au silicium.

La consommation spécifique d'énergie basse tension continue a été considérablement réduite depuis les 40 000 kWh/t des cuves de 1896, à moins de 13 000 kWh/t aujourd'hui (cf. figure 5).

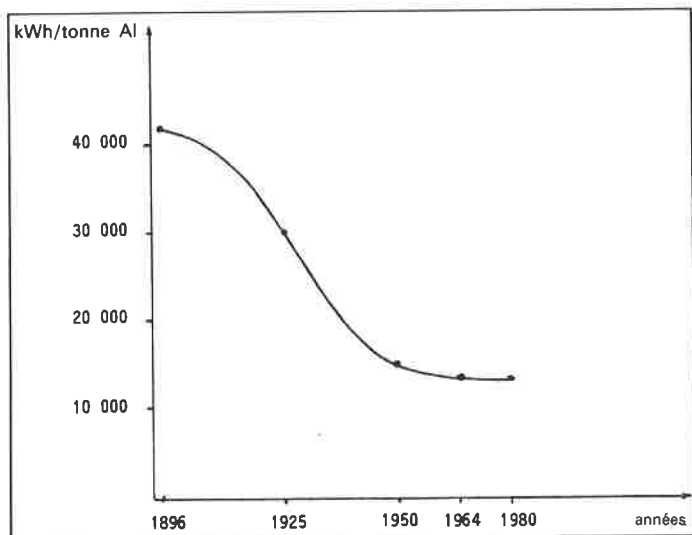


Figure 5. Amélioration des consommations énergétiques.

Ces progrès résultent de la maîtrise progressive des problèmes thermiques et magnétiques, d'un contrôle plus fin du processus, d'une baisse volontaire des densités de courant et d'une augmentation de la taille des cuves.

De même, le rendement Faraday qui, il y a dix ans, ne dépassait guère 88 % pour des séries industrielles, atteint maintenant souvent 93 à 94 % pour les séries les plus modernes.

Outre les raisons de meilleure conception thermique et magnétique des cuves, ce progrès s'explique par un contrôle précis de la teneur en alumine et par l'utilisation de bains plus chargés en additifs, notamment en fluorure d'aluminium.

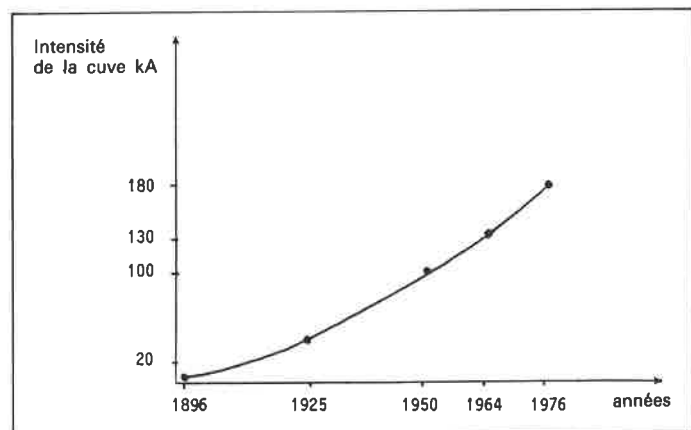


Figure 6. Augmentation de la taille des cuves.

Le grossissement des cuves, atout majeur des gains d'investissement et de productivité, s'est inexorablement poursuivi comme le montre la figure 6.

Seuls les progrès considérables de l'équilibrage magnétique l'ont rendu possible.

En matière de rejets, notre industrie a pleinement pris conscience de l'acuité des problèmes de pollution fluorée, au début des années 1960, lorsqu'on a commencé à atteindre ou dépasser des tailles de sites de 100 000 tonnes/an.

Ont été successivement employés :

En Söderberg, un système de captage primaire sous jupes, déjà décrit précédemment, auquel on a associé, soit un système de lavage secondaire en toiture par pulvérisation d'eau à pH basique, soit un capotage intégral de la cuve.

Des quelques 25 kg (F)/t (Al) (kilogrammes de fluor gaz et poussières émis par la cuve par tonne d'aluminium produite), on est ainsi parvenu à environ 3 kg (F)/t (Al) de rejets et, par des améliorations techniques récentes, on espère accéder à moins de 2 kg (F)/t (Al).

En « Précuites », un simple lavage en toiture permet d'abaisser le rejet à 5 kg (F)/t (Al) environ. Avec captage primaire par hotte, analogue au circuit de jupe Söderberg, sans lavage en toiture, on peut aussi limiter le rejet à 5 kg (F)/t (Al). En combinant les deux, on arrive à 2 kg (F)/t (Al) de rejet.

Le capotage intégral permet un nouveau progrès et figure dans toutes les technologies récentes :

- en « piquage périphérique », il faut pouvoir rapidement ouvrir intégralement le capotage d'un côté complet de la cuve pour la plongée périodique de l'alumine.

L'ouverture du panneau, généralement monobloc, couvrant chaque côté de la cuve, doit donc être mécanisée.

L'efficacité du capotage, excellente hors opération, est un peu dégradée par la nécessité d'ouvrir tout un côté pour travailler la cuve.

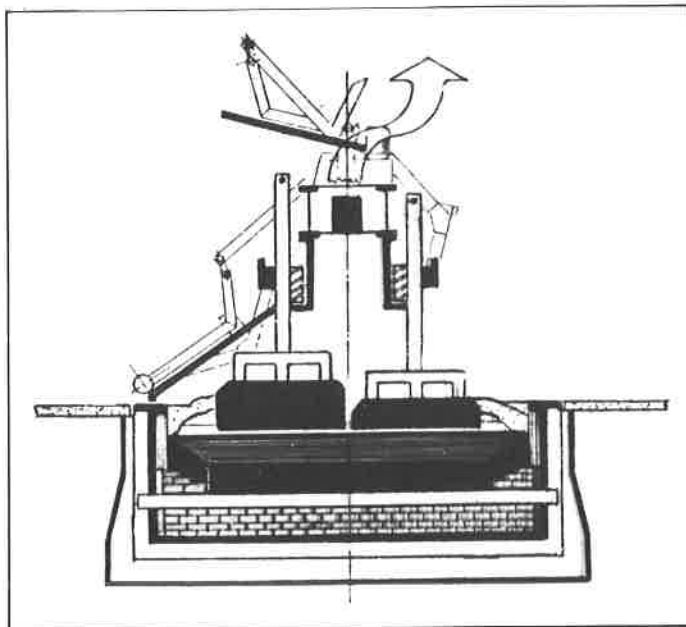


Figure 7. Cuve capotée; piquage périphérique.

On ne peut alors, en moyenne, réduire le rejet dans la salle qu'à 2,3 kg (F)/t (Al) et il y faut associer un lavage en toiture pour descendre en dessous de 1 kg (F)/t (Al) (figure 8).

- En « piquage central », l'alimentation en alumine est intégrée sous le capot.

Le capotage est réalisé par des panneaux légers dont seule une zone réduite doit être ouverte pour des opérations de courte durée telles que le changement d'anode ou la coulée. Dans ces conditions

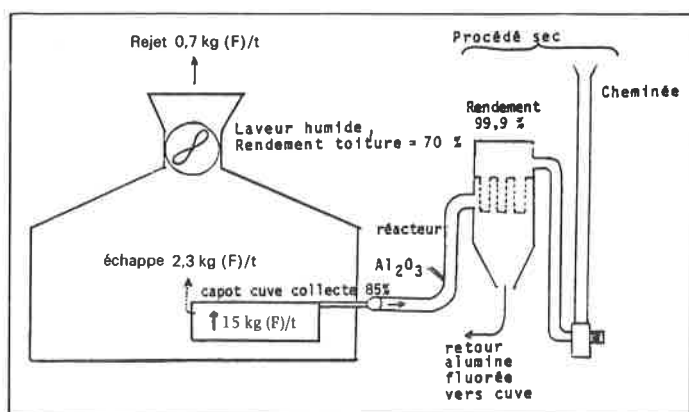


Figure 8. Contrôle des émissions d'une cuve à piquage périphérique.

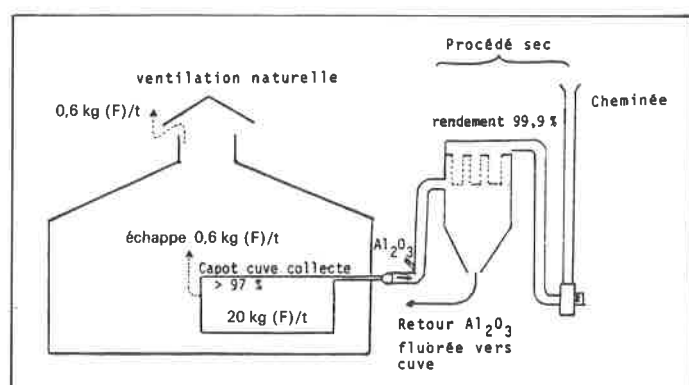


Figure 9. Contrôle des émissions d'une cuve à piquage ponctuel.

(figure 9), le rendement moyen de captage des fumées dépasse largement 97 % dans les technologies les plus modernes. Le rejet descend nettement en-dessous de 1 kg (F)/t (Al), sans lavage secondaire en toiture dont la suppression a pour conséquence, outre une importante économie d'investissement, une économie d'énergie équivalente à 300 kWh/t.

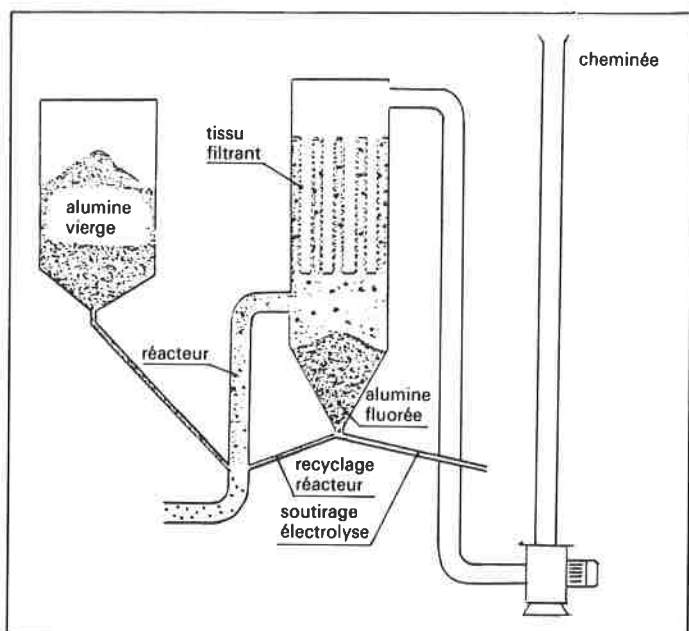


Figure 10. Principe du procédé sec Pechiney-Air Industrie.

A noter que, dans tous les cas où l'on recherche de bons rendements sur des fumées relativement concentrées, on utilise maintenant le procédé d'épuration dit « par voie sèche » : on injecte dans le flot gazeux l'alumine vierge destinée à l'électrolyse qui, si elle est à forte surface spécifique, a la propriété de fixer le gaz fluorhydrique à plus de 99,5 % (figure 10).

L'ensemble gaz-poussière-alumine fluorée est ensuite épuré dans une station de dépoussiérage, généralement avec filtre à manches, et l'alumine fluorée ainsi que les poussières fluorées émises au cours de l'électrolyse sont ensuite retournées vers les cuves.

La productivité de l'électrolyse a également accompli des progrès considérables puisque l'on est passé de 4,6 h/t, en 1960, à moins de 1,7 h/t dans les technologies les plus récentes. L'augmentation de taille des cuves a bien entendu joué un rôle important, mais des gains considérables ont aussi été obtenus grâce à la mécanisation et l'automatisation des opérations.

Des ponts spéciaux (figure 11), munis de chariots porte-outils et d'une cabine climatisée, exclusivité de notre filiale E.C.L., assurent d'une manière fonctionnelle coulée, changement d'anodes, relevage du cadre d'amenée de courant sur les anodes et, si besoin est, piquage des croûtes et alimentation en alumine.

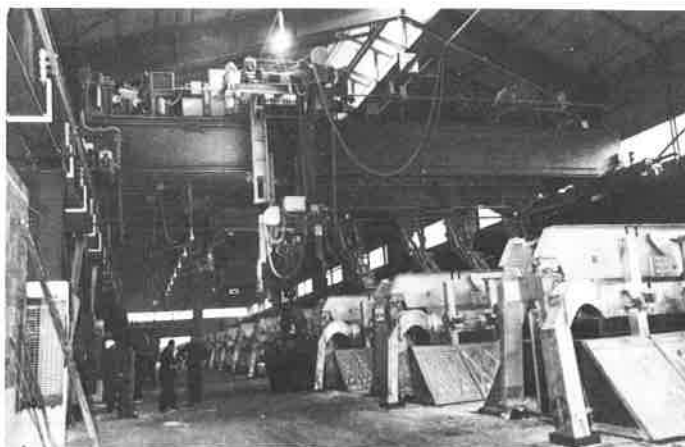


Figure 11. Pont E.C.L. de service des cuves.

Sur les cuves les plus récentes, l'alimentation en alumine se fait par piquage central ponctuel, entièrement automatisé et intégré à la cuve.

En plus des gains de productivité, l'utilisation des derniers progrès en matière de mécanisation, automatisation et captation permet d'obtenir des conditions de travail (empoussièrément, chaleur, effort musculaire) d'une qualité qui est sans commune mesure avec ce que l'on pouvait réaliser il y a seulement quelques années.

Une usine moderne

Dans la compétition pour la meilleure technologie de l'électrolyse, où tous les producteurs rivalisent d'ingéniosité, Aluminium Pechiney occupe depuis longtemps une place de choix.

Depuis quelques années, notre Société a développé une technique à hautes performances qu'elle utilise pour ses propres projets d'usines et ceux de ses licenciés — Série F de Saint-Jean-de-Maurienne, Tomago (Australie), Lochaber (British Aluminium), Karmoy (Norsk-Hydro), Orissa (Inde), Baie-Comeau (Reynolds).

Le constituant essentiel en est une cuve 175 ~ 180 kiloampères, conçue et mise au point par le Laboratoire de recherches des fabrications (L.R.F.) à Saint-Jean-de-Maurienne. La disposition particulière des conducteurs, d'ailleurs protégée par des brevets, permet un équilibrage magnétique excellent avec des champs magnétiques verticaux ne dépassant pas le cinquième de ceux qui étaient habituels sur les 130 kiloampères de la génération précédente.

La cuve comporte seize groupes anodiques à blocs pré-cuits vibrotassés de grande dimension.

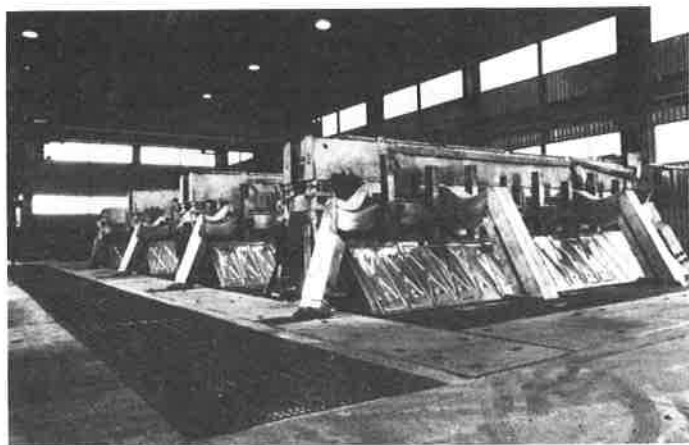


Figure 12. Aluminium Pechiney, cuve 180 kiloampères.

Le dispositif d'alimentation en alumine comporte quatre piqueurs et quatre doseurs volumétriques gérés par un microprocesseur relié à un ordinateur central.

Le capotage intégral par panneaux amovibles en alliage léger permet des rendements de collecte de plus de 98 %.

Les gaz sont épurés, par un procédé sec Pechiney-Air Industrie; à plus de 99 % de rendement d'arrêt.



Figure 13. Procédé sec Pechiney-Air Industrie.

La ventilation de la salle est particulièrement étudiée et, avec le seul captage primaire, les rejets sont inférieurs à 1 kg (F)/t (Al).

Coulée, changement d'anode, relevage de cadres, chargement en alumine des trémies de cuves sont assurés par un pont polyvalent E.C.L.

Avec une densité de courant de 0,78 A/cm², les résultats industriels obtenus depuis plusieurs années sont de l'ordre de 13 000-13 200 kWh/t et 94-95 % de Faraday. Ils représentent une performance mondiale du plus haut niveau.

Le futur

Sauf percée technologique difficile à prévoir aujourd'hui sur les nouveaux procédés, il semble que le procédé d'électrolyse Hall-Héroult conserve l'avantage pour bien des années.

Des progrès substantiels sont encore possibles en technologie conventionnelle :

- la taille des cuves peut encore être économiquement augmentée;
- la modélisation intensive des phénomènes physiques et physico-chimiques, déjà bien avancée, fera encore progresser conception et exploitation;
- l'utilisation de nouveaux matériaux de calorifugeage peut permettre d'abaisser encore la densité de courant, donc la consommation d'énergie;
- on devrait encore gagner sur les chutes ohmiques dans l'anode et la cathode;
- le contrôle du processus, avec les moyens modernes de l'automatisme, s'affinera encore, avec une incidence favorable sur Faraday et kWh/t.

On entrevoit également deux possibilités d'amélioration importante du procédé :

- l'utilisation en matériau cathodique de diborure de titane ou autres R.H.M. (refractory hart metal) permettrait de diminuer considérablement la distance interpolaire, c'est-à-dire la chute ohmique dans l'électrolyte, sans rapprocher la nappe de métal de l'anode puisque le film d'aluminium liquide qui s'écoulerait sur ce matériau en y adhérant fortement serait collecté en nappe dans une zone plus éloignée.

L'économie d'énergie correspondante pourrait atteindre 1 000 à 1 500 kWh/t mais l'intérêt économique de ce dispositif dépendra du coût des matériaux et de la longévité de la cathode ainsi obtenue;

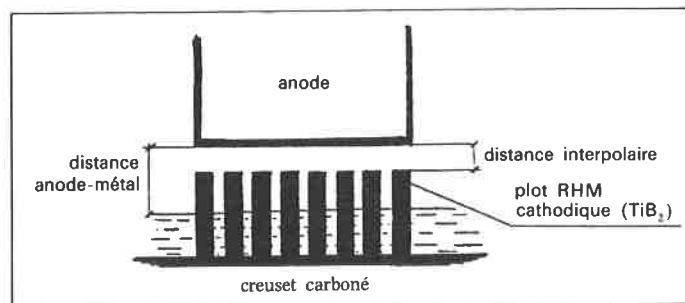


Figure 14. Cathode à diborure de titane.

- l'anode dimensionnellement stable ou inconsommable en réfractaire conducteur où l'oxygène électrolytique se dégagerait directement. Les anodes n'auraient plus besoin d'être remplacées fréquemment, on gagnerait sans doute sur la distance interpolaire et la conception de la cuve pourrait en être entièrement transformée.

Le procédé, quasi centenaire, a donc un potentiel d'amélioration encore considérable, en partie conditionné par l'utilisation de techniques nouvelles et de matériaux réfractaires nouveaux dont l'élaboration a considérablement progressé ces dernières années.

C'est donc avec confiance que l'on peut envisager l'avenir de l'aluminium dont les possibilités d'utilisation augmentent sans cesse et cette confiance est une dernière façon de rendre hommage à Sainte-Claire Deville qui fit accomplir, à l'industrie de ce métal, ses premiers pas.