

Zeitschrift: Revue économique et sociale : bulletin de la Société d'Etudes Economiques et Sociales
Herausgeber: Société d'Etudes Economiques et Sociales
Band: 71 (2013)
Heft: 3

Artikel: Les enjeux de l'industrie de l'aluminium
Autor: Gentaz, Claude Nicolas
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-390959>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 13.04.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

LES ENJEUX DE L'INDUSTRIE DE L'ALUMINIUM

CLAUDE NICOLAS GENTAZ
 Chercheur et consultant
 transtec@bluewin.ch

> Métal moderne, produit industriellement dans la seconde moitié du 19^e siècle, l'aluminium a connu un essor commercial à la faveur de la seconde guerre mondiale à la suite de laquelle l'industrie de l'aluminium s'est redéployée en conquérant de nouveaux marchés. L'auteur de cet article rappelle les étapes historiques de l'industrie de l'aluminium pour mieux mettre en évidence la capacité de cette industrie à affronter les défis écologiques eu égard à la forte consommation d'énergie dont elle fait preuve. La valorisation des déchets constitue une filière à côté de la métallurgie extractive du minerai. L'auteur en fait également un historique pour mieux mettre en exergue les nouveaux enjeux en termes de développement durable.

Mots-clés: aluminium, alumine, minéralogie, procédés de fabrication, valorisation des déchets.

1. L'ALUMINIUM, SES MARCHÉS, SES APPLICATIONS

L'aluminium est le nouveau métal le plus important du 20^e siècle. Il est utilisé à parts égales (environ 20%) dans le bâtiment et dans l'emballage, deux marchés extrêmes: le bâtiment est le stock principal d'aluminium en usage, et l'emballage le plus faible et en même temps le principal producteur de déchets.

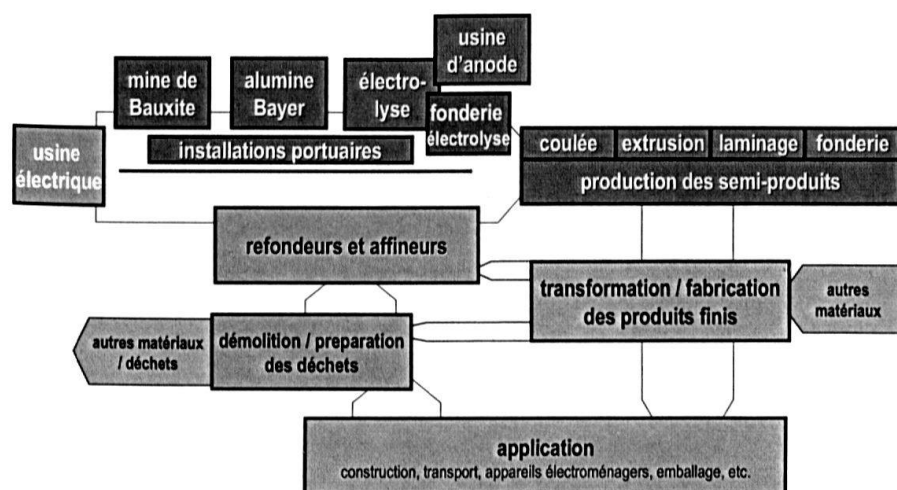


Figure 1

L'industrie de l'aluminium

marché	application	durée de vie (années) typique et (moyenne)	part de marché (en %)
construction	menuiserie	30 – 50 (40)	20
transport : automobile, rail, aérien, maritime	moteur, structure, châssis, carrosserie	10 – 15 (13) automobile 20 – 40 (30) autres	22 automobile 4 (autres)
emballage	boîte, tube, papier	< 1	20
mécanique	pièce	5 – 15 (10)	9
électroménager	pièce, carrosserie	5 – 15 (10)	6
électricité	transport (fil, câble, barre)	25 – 40 (30)	9
autres	imprimerie, article de sport	5 – 15 (10)	10

Tableau 1

Marchés, applications et durées de vie des produits en aluminium

2. HISTOIRE DES ENJEUX DEPUIS LA DÉCOUVERTE MI 19^E SIÈCLE JUSQU'EN 2000

L'aluminium est un métal moderne. Découvert au début du 19^e siècle, il a été produit industriellement à partir de 1860 (procédé SAINTE-CLAIRE DEVILLE) et utilisé alors dans des applications liées à l'orfèvrerie. Il faudra attendre 1886 pour disposer d'un procédé industriel par électrolyse de l'alumine (procédé HALL-HEROULT), produite à partir du minerai, la bauxite (procédé BAYER, en 1887).

2.1. L'ALUMINIUM A D'ABORD ÉTÉ APPLIQUÉ OU, PLUS JUSTEMENT, A ÉTÉ À LA RECHERCHE D'APPLICATIONS PENDANT LA 1^{ÈRE} MOITIÉ DU 20^E SIÈCLE

Ses propriétés de légèreté, de résistance à la corrosion, de conductibilités électrique et thermique, associées à de bonnes propriétés mécaniques jusqu'à 200°C vont ouvrir les premières applications: dans l'aéronautique – en substituant le papier, le tissu et le bois –, dans l'automobile – en concurrence avec l'acier et la fonte –, dans l'électricité (transport et machines) – en concurrence avec le cuivre. L'aluminium s'est progressivement imposé comme un matériau «technique», pénalisé par son prix élevé, favorisé par une transformation en semi-produits (barre, tube, fil, tôle, feuille) facilitée par une température, environ 800°C, bien plus basse que celle du cuivre et de ses alliages, environ 1'200°C, et à fortiori du fer et des alliages, aciers et fontes, environ 1'600°C.

A la veille de la seconde guerre mondiale, la production mondiale d'aluminium atteint un million de tonnes.

2.2. L'ALUMINIUM A ENSUITE ÉTÉ COMMERCIALISÉ OU, PLUS JUSTEMENT, A ÉTÉ À LA RECHERCHE DE MARCHÉS PENDANT LA 2^{ÈME} MOITIÉ DU 20^E SIÈCLE

Il y a un avant et un après la seconde guerre mondiale sans laquelle l'aluminium ne se serait pas développé aussi rapidement.

La seconde guerre mondiale a consommé d'énormes quantités d'aluminium dans la production des avions militaires, toutes catégories confondues (les seuls U.S.A. en auraient produit plus de 300'000 en 5 ans, et chacun des autres belligérants, l'Allemagne, le Japon, le Royaume-Uni, l'URSS en a probablement produit autant). Dans un avion de chasse, pesant entre 5 et 10 tonnes et constitué à plus de 90% d'aluminium, ce sont principalement des alliages des séries 2000 (cuivre) et 7000 (zinc), qui sont utilisés dans la structure, la voilure sous forme de barres, de tubes, de tôles, etc.

Qualité et complexité de ces pièces se conjuguent pour créer des montagnes de déchets neufs¹, environ 9 tonnes pour 1 tonne de pièces finies bonnes.

Pour satisfaire ces énormes besoins en métal, de nouvelles capacités sont créées. Par exemple, entre 1939 et 1945, le Canada a quintuplé sa production qui atteignit plus de 0,5 million de tonne/an.

Aussi, à la fin de la seconde guerre mondiale, l'industrie de l'aluminium se retrouve avec:

- > des capacités de production sous employées,
- > un catalogue d'alliages éprouvés,
- > des montagnes de déchets neufs.

Pour l'industrie de l'aluminium, l'objectif est clair: conquérir de nouveaux marchés.

Le résultat a dépassé toutes les espérances. Les applications techniques dans l'aéronautique, l'automobile, le ferroviaire, l'électricité, le bâtiment sont développées. D'autres, innovantes par la technique et, ou le marché, apparaissent: l'emballage, des produits de consommation. La production d'aluminium liquide passe de 2 millions de tonnes en 1950 à 40 millions de tonnes en 2000.

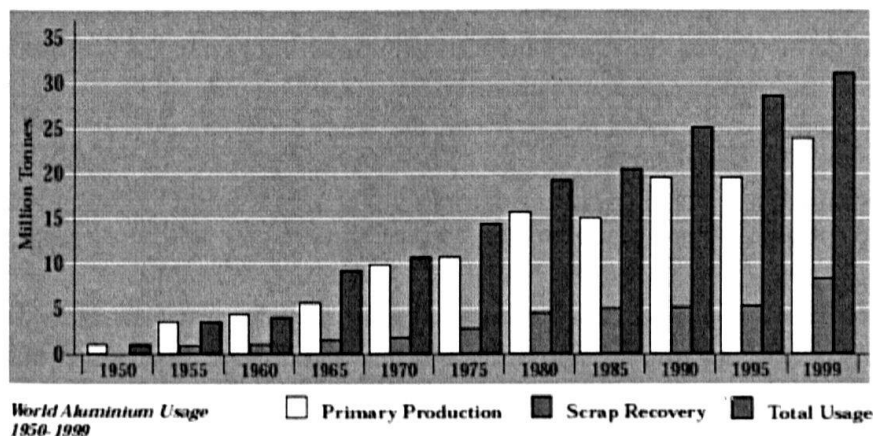


Figure 2

Production (par électrolyse et par recyclage) et consommation mondiales d'aluminium entre 1950 et 1999

(IAI, the aluminium industry sustainable development)

¹ Les déchets neufs comprennent les déchets internes (internal scrap), de l'aluminium liquide au semi-produit, et les déchets de transformation (process scrap), du semi-produit au produit fini.

2.3. L'ALUMINIUM ET LE BILAN DES ENJEUX D'UN SIÈCLE DE DÉVELOPPEMENT

Cet accroissement remarquable de la production se fait au prix de nombreuses conséquences:

> L'aluminium, de produit technique associé à des durées de vie de plusieurs dizaines d'années, est devenu aussi un produit de consommation associé à des durées de vie toujours inférieures à la dizaine d'années, et on atteint quelques mois avec la boîte boisson (communément appelé «canette») et l'emballage en général.

> Une bonne partie des nouvelles applications a été obtenue grâce à l'effort joint des commerçants et des techniciens. On emporte le marché en réalisant le produit du client, souvent avec la nuance de l'alliage, aussi du client. L'inconvénient, ce sont des séries de production limitées, source de quantités «illimitées» de déchets neufs, surtout internes. Plus tardivement que l'industrie du fer, aussi victime du trop plein de qualités, leur réduction, une division par quatre du nombre de qualités, est engagée vers la fin des années 90.

> L'augmentation de la production se fait en mettant en service de nouvelles capacités annuelles plus grandes. L'usine d'électrolyse est passée de quelques milliers de tonnes au début du 20e siècle, à plusieurs dizaines de milliers de tonnes au milieu du 20e siècle puis à plusieurs centaines de milliers de tonnes à la fin du 20e siècle.

> Cette même augmentation de la production s'est faite en partie dans des zones disposant d'une énergie électrique abondante et bon marché. Cette mondialisation avant l'heure a eu deux conséquences importantes.

- > A l'industrie intégrée, du minerai et, ou de la centrale électrique au produit fini, est venu s'adjoindre une nouvelle industrie, du minerai et, ou de la centrale électrique à la production du lingot d'aluminium, voire d'un semi-produit simple, une «commodité» et non plus un produit fini. Ceci allait avoir des répercussions sur la valorisation des déchets.
- > Très rapidement, les deux acteurs se sont livrés une guerre des prix qui s'est terminée par la victoire des nouveaux producteurs. L'ancien prix, dit prix producteur correspondant à un prix de revient majoré d'un bénéfice assurant le financement des nouvelles capacités de production, est remplacé par un prix de marché. L'aluminium est devenu une matière première cotée en bourse (London Metal Exchange ou LME).

La prise de conscience des impacts écologiques des procédés BAYER/HALL-HEROULT de production de l'aluminium.

- > Elle est très grosse consommatrice d'énergie, essentiellement électrique, avec environ 220 GJ/t (gigajoule/tonne) d'aluminium du minerai à l'électrolyse et incluant l'alumine, valeur a priori peu susceptible de diminuer notablement.
- > Elle est grosse émettrice de gaz à effet de serre, CO₂ et produits fluorocarbonés. Le CO₂ est le gaz anodique résultant de la décharge de l'oxygène de l'alumine sur le carbone de l'anode alors que les produits fluorocarbonés apparaissent lors des dysfonctionnements intermittents de l'électrolyse (effet d'anode ou brûlure).

Indirectement, lorsque l'électricité est d'origine thermique (combustion de matières fossiles, gaz naturel, charbon, fuel, etc.), il y a production de CO₂ et aussi de H₂O, autre gaz à effet de serre.

> Le développement de ce qu'on appelle alors la production d'aluminium de deuxième fusion ou aluminium secondaire, à partir des déchets. La valorisation des quantités croissantes de déchets neufs, ceux de production, est à peu près assurée par les opérateurs traditionnels, les refondeurs, au début tous intégrés à la production de l'aluminium d'électrolyse.

La situation est bien différente pour les vieux déchets, ceux de consommation, traités par les affineurs. La commercialisation de produits à durée de vie plus courte, moins de dix ans, fabriqués en grandes quantités dans les années 60, a entraîné une avalanche de vieux déchets. De nouvelles capacités d'affinage ont été créées, le plus souvent par des entrepreneurs indépendants, encouragés par la modicité de l'investissement (environ 500 US\$/t d'aluminium contre 10'000 \$ pour la filière complète à partir du minerai) et le prix élevé de l'aluminium. Les capacités unitaires d'affinage sont cependant peu importantes (20'000 t/an en moyenne en 2003, mais encore combien d'ateliers de quelques milliers de tonnes par an!) et les capacités globales insuffisantes; une partie des vieux déchets finit en décharge.

Une autre avalanche est celle des déchets créés par la fusion, les crasses noires et surtout salées, conséquences tant de la piètre qualité des vieux déchets que de la rusticité des outils. Ces déchets sont suspectés d'atteinte grave à l'environnement (pollution des nappes phréatiques). Au début des années 80, les «verts» dénoncent ces risques environnementaux et exigent l'interdiction du recyclage des déchets d'aluminium. La Suisse est en première ligne et, quelques années plus tard, le plus gros affineur suisse ferme ses portes.

> la création d'une filière industrielle d'affinage a été incontestablement différée en raison de la croissance très rapide de la production par électrolyse qui mobilisait capitaux et hommes. Nous développerons plus loin ce qui est un enjeu majeur de l'industrie de l'aluminium du 21e siècle.

Le 20e siècle aura vu apparaître des enjeux, la plupart techniques, concernant les consommations de matières et surtout d'énergie avec l'objectif qu'elles soient les plus faibles possibles avec des impacts aussi les plus faibles possibles sur l'environnement.

Le bilan est le suivant:

D'abord, dans la production de l'aluminium liquide à partir du minerai, par les procédés BAYER / HALL-HEROULT.

> Le minerai

Par rapport aux autres métaux, l'aluminium peut se targuer d'avoir des réserves importantes de minerai, la bauxite, d'au moins 150 ans au rythme de la consommation enregistrée en 2000. L'extraction, faite par une société acquise aux principes de l'exploitation minière «responsable», ne présente aucun risque y compris environnemental. Il n'y a pas d'enjeu lié à l'extraction minière.

> La fabrication de l'alumine par le procédé BAYER

Ce procédé, ayant atteint la maturité technique, présente encore aujourd'hui un risque environnemental, la production des boues rouges (encore en 2012 la rupture d'un bassin de stockage en Roumanie). Des solutions de valorisation des boues rouges existent et l'enjeu demeure encore, c'est l'image du producteur et aussi de l'aluminium.

> La fabrication de l'aluminium par le procédé HALL-HEROULT

Là aussi, c'est un procédé ayant atteint la maturité technique. Il est concerné par plusieurs enjeux:

> La consommation d'électricité

C'est l'enjeu permanent et majeur de l'industrie métallurgique la plus électro-intensive car le poste électricité représente environ 25% du prix de revient. Les efforts n'ont pas été ménagés pour la réduire et les gains les plus importants ont été faits. Plusieurs procédés laissent envisager des consommations bien plus faibles, entre 100 et 150 GJ/t d'aluminium, des usines pilotes ont été construites et exploitées, mais aucun procédé n'a encore été commercialisé.

S'agissant de la disponibilité de l'électricité, toutes origines confondues, elle est probablement d'environ 100 ans.

> Les émissions de gaz à effet de serre

Vers 1950, l'émission des produits fluorocarbonés est devenue un enjeu majeur avec la croissance des capacités des usines d'électrolyse car leur impact environnemental local sur les êtres vivants devenait trop important. Une réduction spectaculaire a été obtenue grâce à la mise en place de systèmes efficaces de captation des gaz, à la meilleure maîtrise du procédé électrolytique et au remplacement des électrolyseurs à anode Söderberg par ceux à anode précurtée.

DEVELOPMENT IN FLUORIDE EMISSIONS FROM ALUMINIUM SMELTERS KILOGRAM FLUORIDES (GAS AND PARTICULATE) PER TONNE OF ALUMINIUM PRODUCED		
1st Generation Plants	1940 - 1955	12 - 15 kg per tonne
2nd Generation Plants	1955 - 1975	2 - 6 kg per tonne
3rd Generation Plants	1975 - today	0.5 - 1 kg per tonne

Figure 3

*Les émissions de fluor et la technologie d'électrolyse
(IAI, the aluminium industry's sustainable development report)*

Dans les années 80, l'émission de CO₂ est devenue un enjeu majeur avec la prise de conscience mondiale des effets possibles des gaz à effet de serre sur le climat. La consommation d'anode et non pas la production de CO₂ avait été reconnue bien avant comme un enjeu. D'importants programmes de recherche ont été engagés en vue d'avoir des électrodes non consommables. Des électrodes prototypes en céramique ont été produites mais aucune n'est passée au stade commercial.

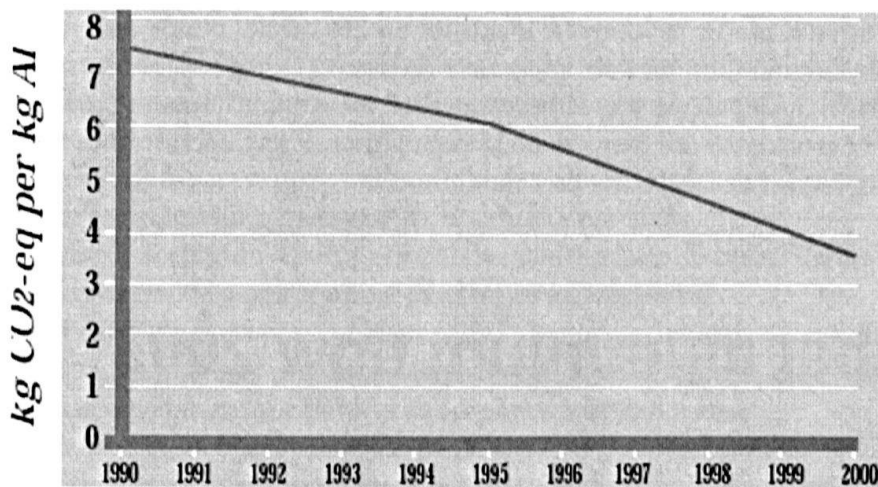
On pourrait aussi capturer le CO₂ en même temps que les produits fluorocarbonés et le valoriser plutôt que de le rejeter dans l'atmosphère.

On a surtout réalisé le rôle bien plus dommageable des produits fluorocarbonés sur les modifications climatiques et l'évolution de la couche d'ozone. La mise en place des systèmes précités a été considérablement accélérée.

Par le jeu des nouvelles capacités et des transformations des capacités anciennes, l'industrie de l'aluminium continue à réduire ce dommage majeur à l'environnement.

Globalement les émissions de gaz à effet de serre de l'électrolyse devraient atteindre, exprimées en équivalent CO₂, moins de 3,0 T/T d'aluminium, dont 1,7 à 1,9 T pour le CO₂.

Global electrolysis greenhouse gas emissions



Figures are CO₂-equivalents related to the electrolysis and included PFC emissions

Figure 4

Evolution historique des émissions globales de gaz à effet de serre par le procédé électrolytique

(IAI, the aluminium industry's sustainable development report)

Ensuite, dans la transformation en semi-produits et produits finis, on a le bilan suivant: L'aluminium liquide est d'abord purifié, puis additionné des éléments d'alliages (cuivre, manganèse, silicium, dont la teneur est assez faible, au plus 2%, et seulement importante avec le silicium, entre 5 et 15%), solidifié et transformé en semi-produits, plats, longs et moulés, puis en produits finis.

C'est dans la transformation de l'aluminium liquide en semi-produits que des gains importants sont attendus avec la réduction du catalogue de formes et de compositions, sans aucune conséquence pour l'utilisateur. La quantité de déchets est à peu près constante quelque soit l'importance de la série. Ramené à l'unité de produits, la quantité de déchets augmente comme l'inverse de la quantité de produits. Augmenter la capacité des installations et les quantités des séries, c'est diminuer les quantités de déchets de transformation et de même les consommations d'énergie, les pertes de matières et les impacts environnementaux occasionnés par la fusion, puis la transformation de ces déchets. On rappelle qu'il faut encore aujourd'hui mettre en œuvre 1,7 tonne d'aluminium liquide par tonne de produit fini contre 1,1 tonne d'acier liquide.

Cette démarche est engagée depuis plus de 10 ans.

Dans la transformation en produits finis, d'autres gains, surtout la diminution des quantités de déchets, existent tout au long de la chaîne et sont un enjeu constant pour les transformateurs. Par exemple, la fabrication d'une boîte boisson à partir du semi-produit, la tôle, génère plus de 30% de déchets neufs de transformation.

3. ENJEUX DU 21E SIÈCLE

L'an 2000 a vu se mettre en place une réflexion globale sur le futur de l'industrie de l'aluminium dans un monde dont les ressources minérales et énergétiques sont limitées et dont la pérennité repose aussi sur la maîtrise des effets anthropologiques sur la biosphère.

A côté des enjeux, plutôt techniques, identifiés au 20e siècle, plutôt du ressort direct de l'industrie de l'aluminium, on voit apparaître de nouveaux enjeux, plutôt sociétaux, déjà formulés à la fin du 20e siècle. Ces enjeux sont du ressort d'une humanité confrontée simultanément à la croissance des biens et de la population et à la décroissance des ressources plutôt que du ressort de l'industrie de l'aluminium.

Global aluminium flow 2005

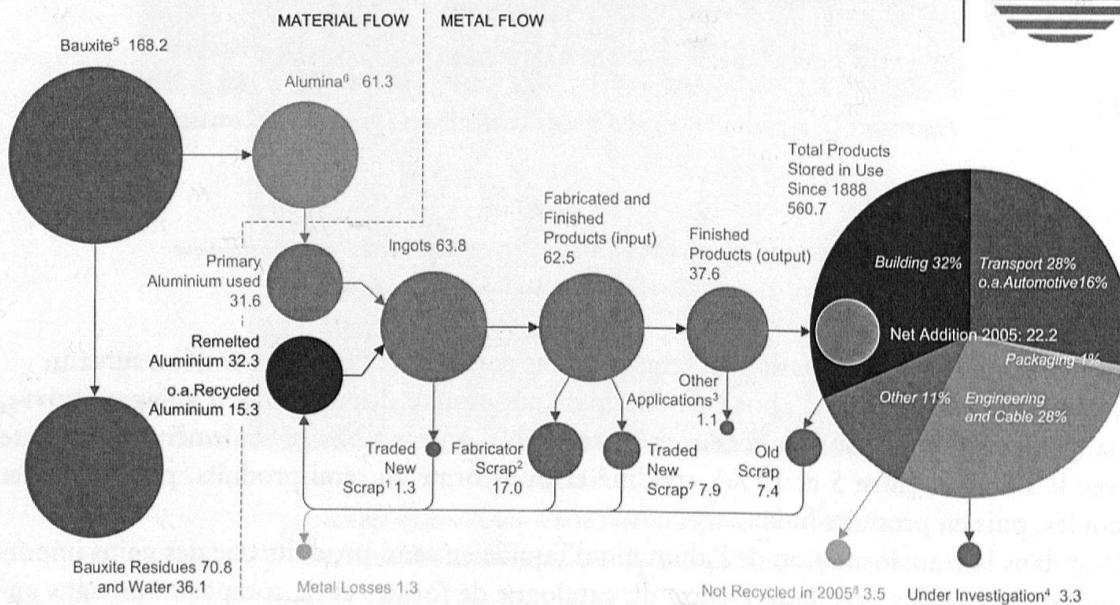


Figure 5

Les flux de déchets dans l'industrie de l'aluminium

3.1.1. L'état actuel

C'est symboliquement au changement de millénaire (de fait en 2003) que l'industrie de l'aluminium a fait sa révolution culturelle: il n'y a plus qu'un seul aluminium.

Avant 1999, la métallurgie extractive à partir du minerai était la filière noble dont le produit, de l'aluminium en lingot ou en semi-produits, était qualifié de primaire, de première fusion ou d'électrolyse, alors que la valorisation des déchets était la filière mineure dont le produit, aussi de l'aluminium en lingot ou en semi-produits, était qualifié de secondaire, de deuxième fusion ou de recyclage.

Les qualificatifs de secondaire et de deuxième fusion ont toujours désigné le produit de la valorisation des déchets dans toutes les industries métallurgiques, ainsi du zinc, du cuivre, du plomb.

Seule, l'industrie du fer a toujours appelé fer, acier ou fonte, le métal qu'il soit issu du minerai ou du déchet. Il n'y a pas de fer primaire ou de première fusion non plus que de fer secondaire ou de deuxième fusion.

Incontestablement plusieurs raisons militaient pour l'abolition de cette distinction:

- > d'abord le fer et l'aluminium partagent de nombreux marchés,
- > ensuite la nouvelle société du développement durable repose sur la valorisation des déchets et il devenait insoutenable de les confiner dans un rôle secondaire,
- > enfin l'amélioration importante d'une image de l'aluminium fortement dégradée (consommation d'énergie, de matières premières, impacts environnementaux, modification climatique) est rendue possible grâce à la valorisation des déchets.

Quelque soit le déchet, neuf, apparu dans la fabrication des semi-produits et des produits finis, et vieux, apparu après consommation des produits finis, la filière de valorisation est la même avec les étapes successives suivantes:

- > La collecte.
 - > Le tri, parfois associé à la collecte.
 - > La valorisation qui revêt différentes formes:
 - > La réutilisation (*reuse*): plus objet que déchet, en parfait état d'utilisation, mais démodé ou obsolète, il est utilisé par des consommateurs moins exigeants. C'est l'objet de deuxième main. Il peut aussi être utilisé à d'autres fins et c'est un nouveau produit.
 - > La réparation (*repair*): encore plus objet que déchet, inutilisable en l'état mais peu endommagé, il est réparé et redonne l'objet neuf. C'est aussi l'objet de deuxième main.
 - > Le reconditionnement (*reconditionning*): entre objet et déchet, plus endommagé, il est reconditionné ou reconstruit pour refaire un objet neuf qui peut être le même ou non.
 - > Le recyclage (*recycling*): déchet, car c'est un objet définitivement inutilisable, seul son contenu en matières premières et en énergie est valorisable. D'abord réservée aux déchets, neufs, puis généralisée à tous les déchets, neufs et vieux, c'est la valorisation la plus faible.
- Englobant toutes les autres formes de valorisation sur lesquelles nos connaissances sont actuellement limitées, le recyclage par fusion concerne aujourd'hui probablement plus de 90% des déchets valorisés et c'est pourquoi le recyclage s'est imposé dans le langage courant et est devenu synonyme de valorisation des déchets.

Le recyclage par fusion des déchets d'aluminium présente des bilans aujourd'hui très favorables comparés à la filière minerais. C'est le recyclage le plus performant de tous les métaux, y compris le fer, probablement en raison des difficultés rencontrées, à commencer par la très forte affinité de l'aluminium pour l'oxygène². Sans aucune précaution, la fusion du déchet conduira à de l'alumine plutôt qu'à de l'aluminium.

Item par tonne	Voie minerais	Voie déchet
Total énergie (GJ)	175 - 220	5 - 10
Total matières premières (t)	4,8 - 6,3	1,02 - 1,32
Total déchets solides (t)	2 - 6	0,01 - 0,05
Total équivalent CO2 hors énergie (t)	4,3 - 7,1	0 - 0,1
Investissement (\$)	10.000	500

Tableau 2

Comparaison des deux filières de production de l'aluminium (valeurs par tonne d'aluminium liquide)

La consommation d'énergie est d'environ 10 GJ/t d'aluminium liquide, environ 5% de celle de la filière minerais.

Aluminium	Énergie via minerais (GJ/t)		Énergie via déchet (GJ/t)		Ratio (%) énergie minerais / énergie déchet
	simple	cumulée	simple	cumulée	
Liquide	175-220	175-220	5-10	5-10	3-6 (4)
Semi-produit	10-30	185-250	10-30	15-40	8-18 (13)
Produit fini	10-30	195-280	10-30	25-70	13-25 (20)

Tableau 3

Consommation d'énergie dans la fabrication de l'aluminium liquide, du semi-produit et du produit fini à partir du minerais et à partir du déchet

² Les pertes d'aluminium dans les crasses entraînent des pertes financières tout aussi importantes. Dès le premier recyclage, on a traité les crasses pour en récupérer l'aluminium contenu. C'est pourquoi le rendement matière en aluminium est aussi élevé. Enfin, c'est probablement le traitement des crasses qui a été la première activité des affineurs.

Les pertes d'aluminium sont comprises entre 1 et 2% pour les déchets neufs et entre 2 et 6%, pour les vieux déchets, dépendant de la qualité du déchet, des prétraitements avant fusion et des retraitements après fusion.

Les impacts sur l'environnement sont très faibles, pratiquement le CO₂ de la combustion du gaz ou du fuel vecteurs de l'énergie nécessaire pour la fusion. Il n'y a aucun rejet de produits fluorocarbonés.

Les déchets solides, essentiellement obtenus lors du traitement des crasses d'aluminium (elles-mêmes apparues à la fusion), sont aujourd'hui traités et réutilisés³.

Quant à la qualité de l'aluminium produit, comme la purification de l'aluminium est physico chimiquement quasi impossible, elle va dépendre du tri préalable des déchets par classe d'alliage, voire par alliage.

C'est la raison pour laquelle le recyclage des vieux déchets est si différent de celui des déchets neufs.

Ceux-ci sont totalement collectés, de plus triés en même temps, toutes ces opérations sur place, alors que les vieux déchets sont en partie collectés là où ils apparaissent, éventuellement triés par produit (la collecte sélective des boîtes boisson).

La structure industrielle reflète ces différences. Les déchets neufs sont traités par les «refondeurs», le plus souvent intégrés à l'industrie de l'aluminium d'électrolyse. Les vieux déchets sont eux traités par les «affineurs», des indépendants.

Le système économique est propre à chacun – le «refondeur» facturant l'opération de fusion alors que l'«affineur» est soumis aux prix et aux lois du marché de l'aluminium, déchets et métal.

Enfin les statistiques de production sont séparées, celles des déchets neufs confondues avec celles des semi-produits et des produits finis, ce qui rend encore aujourd'hui très difficile la connaissance globale de l'industrie de valorisation des déchets, neufs et vieux confondus.

3.1.2. L'histoire de la valorisation des vieux déchets

La plus grande partie des déchets neufs a toujours été reprise par les refondeurs et retournée dans la chaîne de fabrication des produits. Une partie peu importante est mise sur le marché des déchets, comme une alternative à l'aluminium d'électrolyse.

La valorisation des vieux déchets a connu une histoire émaillée d'évènements déterminants. Dans les années 30 ce fut le démarrage de la production commerciale des alliages de fonderie, les alliages de silicium.

D'abord les plus utilisés titrent environ 10% de silicium et cet ajout a un effet diluant des impuretés contenues dans l'aluminium. Ensuite leurs spécifications analytiques tolèrent des teneurs en impuretés assez étendues, convenant bien à de l'aluminium, obtenu à partir de déchets plus ou moins triés. Enfin, au même moment, l'industrie automobile, gros consommateur de ces alliages, plus de 75%, se développait. Cette conjonction d'évènements heureux venait à point nommé pour assurer les débouchés de l'aluminium alors issu du recyclage croissant des vieux déchets.

³ Cf. note 2.

La qualité de l'aluminium alors secondaire était reléguée au deuxième plan pour un bon moment et on avait inventé ce qu'on appellera plus tard le recyclage en boucle ouverte.

De 1945 jusqu'à la fin des années 50, les recycleurs ont d'abord puisé dans les stocks abondants de déchets neufs de l'industrie de l'armement. La croissance des marchés de l'aluminium a d'abord créé des déchets neufs et jusque dans les années 60, en raison de la durée de vie moyenne de plusieurs dizaines d'années de la plupart des applications, d'une production encore modeste et de la collecte, très partielle, la consommation des vieux déchets, de qualité inférieure, plus difficile à collecter, à trier et à fondre, s'est peu développée.

Dans les années 70, deux évènements majeurs interviennent: la commercialisation de la boîte boisson (canette) et la production de masse de l'aluminium qui devient aussi un bien de consommation avec des durées de vie plus courtes, l'exemple extrême étant la boîte boisson. Ses promoteurs américains visaient un marché annuel se chiffant en million de tonnes d'un produit ayant une durée de vie d'environ 2-3 mois. Ils ont de suite réalisé que les villes seraient submergées de boîtes vides et qu'il fallait les valoriser, d'abord les collecter séparément, la première collecte sélective, donc mettre en place une véritable organisation de la collecte, puis les refondre et retourner l'aluminium dans la fabrication des boîtes. C'était la première boucle fermée de recyclage. C'est un succès commercial, les difficultés techniques de la fusion sont résolues, les impacts environnementaux sont maîtrisés. Par contre la collecte sélective ne dépasse pas aujourd'hui 65% des boîtes consommées (sauf en Suisse par exemple où c'est plus de 90%) et la fabrication des boîtes neuves, même avec un taux de collecte de 60%, est loin de consommer tout l'aluminium récupéré. En effet il faut aussi valoriser les déchets neufs de la fabrication des boîtes et c'est pourquoi une partie de l'aluminium des vieilles boîtes finit dans les alliages de fonderie. On recycle simultanément en boucle ouverte et en boucle fermée.

L'autre évènement majeur, la production de masse de produits de consommation, a eu pour effet une avalanche de déchets que, dans un premier temps, l'industrie n'a pas été capable de traiter.

Elle a eu aussi pour effet d'engager une transformation complète de la collecte qui est passée du stade artisanal au stade industriel.

Au début des années 80, c'est le développement durable: l'aluminium est critiqué pour sa consommation d'énergie, ses impacts environnementaux désastreux, CO₂, produits fluorocarbonés, boues rouges. L'industrie riposte en invoquant que l'aluminium est éternel, grâce au recyclage des déchets. Surtout elle entreprend une réflexion qui allait conduire à la décision de parler d'un seul aluminium.

3.2. UN ENJEU NOUVEAU: L'ADÉQUATION AU DÉVELOPPEMENT DURABLE

On recherche à minimaliser toutes les atteintes à la biosphère (énergie, matières premières, environnement, climat) induites par l'activité humaine. Elles vont de la fabrication du produit, à sa consommation puis à la valorisation du déchet après consommation.

L'intérêt de l'aluminium, ce sont, sous réserve de caractéristiques mécaniques acceptables, sa légèreté, ses conductibilités électrique et thermique et son inaltérabilité.

Les techniques de transformation, à des températures de moins de 800 °C, sont un avantage. La légèreté s'adresse à des applications où le poids est l'ennemi. Cela concerne toutes les applications mobiles, ainsi toutes les formes de transports, terrestres, aériens, marins, mais

aussi des applications statiques, le bâtiment, le transport de l'électricité, etc.

L'inaltérabilité, donc longévité ou durabilité, correspond bien à un matériau du développement durable. Transport, bâtiment, électricité, équipement ménager ont été les premiers marchés de l'aluminium et sont encore aujourd'hui des marchés importants.

L'intérêt du produit en aluminium est fixé par le bilan des impacts énergétiques et environnementaux.

Les impacts indirects relèvent de la fabrication du produit et concernent toutes les applications.

Ceux directs concernent les applications consommant de l'énergie, donc celles mobiles car souvent motorisées: on a toutes les formes de transport. L'allégement contribue à diminuer la consommation d'énergie et les émissions de polluants liés à l'utilisation du produit.

Dans l'automobile, on a de plus en plus recours à l'aluminium. Cependant, alors qu'on visait et attendait une réduction, c'est bien une augmentation conséquente, plus de 30%, du poids de l'automobile qui a été observée dans le même temps.

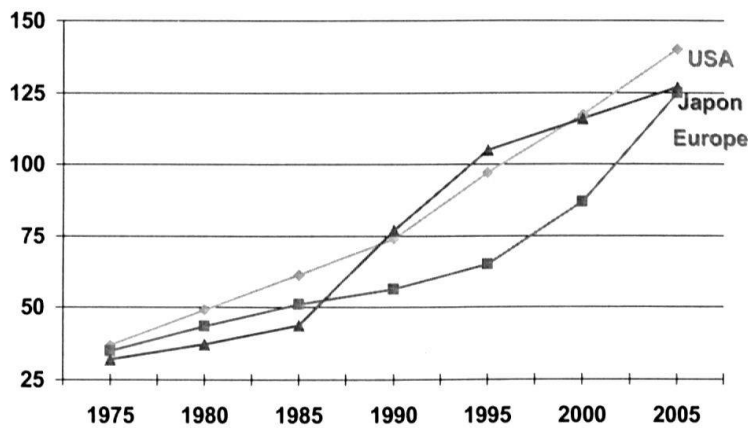


Figure 6

Quantité d'aluminium contenue dans un véhicule (Europe, USA, Japon)

Diverses raisons en sont cause, certaines bonnes, la sécurité des passagers (air bags, systèmes de freinage), d'autres discutables, le confort (air conditionné dans les régions tempérées), d'autres enfin superflues avec une connotation fortement psychologique (la traction 4x4, l'automobile toute assistée grâce à l'abondance de moteurs électriques, dont le cuivre restera définitivement dans l'acier obtenu à partir des automobiles démolies).

Dans l'emballage, dans la boîte boisson tout en aluminium, la légèreté (l'aluminium représente environ 10g pour un poids total de la boîte pleine d'environ 340 g, soit 3%), et l'inaltérabilité (la paroi intérieure est recouverte d'un film protecteur «alimentaire» et la durée de vie est de 2 mois), sont inutilisées.

Toujours dans l'emballage, la capsule nespresso, un produit d'exception pour un utilisateur d'exception, il n'y a aucune exception pour justifier l'emploi de l'aluminium.

Producteurs et consommateurs partagent la responsabilité de ces applications inutiles. La terre n'en mourra pas mais l'image «durable» de l'aluminium en sort bien malmenée.

La valorisation après consommation

C'est l'éco conception qui concerne tant le producteur que le consommateur. On doit prendre en compte la collecte, le tri, le démontage, toutes les formes de valorisation de tous les matériaux utilisés dans le produit.

L'enjeu majeur est d'avoir une méthodologie acceptée par tous les acteurs.

Au bilan, tous les enjeux du 21^e siècle sont bien connus, ils sont nombreux, interdépendants, et appellent autant de réponses.

Ceux pleinement du ressort de l'industrie de l'aluminium sont:

> Mieux valoriser les vieux déchets: c'est la seule façon d'améliorer notablement l'image de l'aluminium.

Mieux valoriser, c'est mieux collecter, mieux trier, mieux réutiliser, la fusion étant la valorisation ultime, avec des capacités plus importantes qu'aujourd'hui. C'est ne pas perdre de vue que,

- > valoriser, boucle ouverte ou fermée, c'est avoir un marché pour l'aluminium obtenu;
- > le taux de valorisation est le produit du taux de collecte par le taux de fusion (environ 94% pour les vieux déchets). Pour égaler le rendement matière de la filière minéral, il faut un taux de collecte supérieur à 80%. C'est effectivement l'objectif minimum retenu en Europe;
- > la durée de vie du produit joue un rôle majeur puisque, plus elle est courte, plus la valorisation doit être rapide. Une boîte boisson avec une durée de vie de 2 mois retourne donc 6 fois par an dans la fabrication des boîtes et chaque retour se fait avec un taux de valorisation moyen de 60%. La boîte boisson est surtout faite d'aluminium d'électrolyse;
- > l'évolution du marché intervient; or jusqu'à aujourd'hui, on a plutôt eu affaire à des marchés croissants. En cas de décroissance, on utilisera moins de déchets et donc on réduira la collecte ou on augmentera le stock de déchets.

> Mieux produire, c'est:

- > faire moins de déchets neufs: c'est surtout la production des semi-produits qui doit bénéficier de la réduction du nombre de qualités, de l'augmentation des capacités de production. Par exemple, alors que les taux de déchets internes sont aujourd'hui d'environ 30% du métal liquide, ils devraient se rapprocher de ceux du fer, environ 14%;
- > faire des produits conçus aussi pour être valorisés, pas uniquement par fusion.

L'enjeu de ces enjeux, c'est de savoir comment y répondre, ce qui passe par l'adaptation des structures de l'industrie de l'aluminium fondées il y a encore 10 ans sur deux aluminium. Aujourd'hui il n'y en a plus qu'un, avec deux filières de production, l'une à partir du minéral, l'autre du déchet. Alors quelle structure pour fédérer les nombreux acteurs, producteurs de métal, transformateurs en semi-produits, producteurs de produits finis, collecteurs, recycleurs, consommateurs, tous interdépendants, avec pour objectif commun de faire de l'aluminium le matériau du 21^e siècle?

Les autres enjeux sont sociétaux, ceux d'une société du développement durable, ou mieux supportable. C'est aussi mieux consommer, un des enjeux qui implique le plus l'industrie de l'aluminium. C'est éco concevoir, repenser et adapter les applications aussi pour mieux valoriser les déchets de consommation.

Les autres enjeux, économiques, sociaux, politiques, avec l'objectif d'instaurer une société du développement supportable, amène bien loin de l'industrie de l'aluminium.

Industrie et Société sont à la veille de changements formidables: des choix sont inéluctables, difficiles à prendre et les décisions reportées rendent leur application chaque jour plus difficile.

