

« aluminium, développement durable et énergie »

par Claude GENTAZ

Centre Universitaire des Problèmes de l'Énergie, Université de Genève,

claude.gentaz@cuepe.unige.ch

et Transtec, transtec@bluewin.ch

introduction

L'aluminium a été incontestablement un matériau du XX^{ème} siècle auquel il a largement contribué : toutes les formes de transport, aérien, automobile et ferroviaire, maritime, le transport et l'utilisation de l'électricité, l'hygiène avec les emballages souples et rigides, le bâtiment.

Sera-t-il un matériau du XXI^{ème} siècle ? pour en juger, les critères du développement durable ont été appliqués : les contributions sociales et économiques sont bien connues et satisfaites et elles ne seront pas traitées.

Quant à la contribution environnementale, elle est aussi bien connue et ne sera pas traitée ; force est de reconnaître que la métallurgie extractive de l'aluminium a mauvaise réputation : gros consommateur d'électricité, gros pollueur par ses déchets depuis la mine, puis la production d'alumine avec les boues rouges et enfin l'électrolyse avec les émissions de CO₂ et de fluor. A la décharge de l'industrie de l'aluminium, les énormes progrès accomplis et la réduction spectaculaire de toutes les émissions polluantes cependant dans les limites permises par les lois de la nature.

On a retenu trois critères définissant le développement durable d'un matériau : la durabilité, la dématérialisation et le recyclage.

L'aluminium est déjà un matériau du XXI^{ème} siècle au sens des deux premiers, durabilité et dématérialisation.

Quant au recyclage, la comparaison avec d'autres matériaux métalliques met en évidence le rang médiocre occupé par l'aluminium, avec un taux moyen de recyclage de 37% contre 50% et plus pour l'acier, le cuivre, le plomb. Ce résultat est d'autant plus surprenant que l'industrie de l'aluminium revendique un recyclage éternel associé à une très faible consommation d'énergie de recyclage.

la matière première du recyclage

Elle est constituée par les déchets de l'industrie de l'aluminium depuis la mine jusqu'aux produits finis en fin de vie ; par aluminium on entend le matériau qui est en général un alliage et par déchet des produits contenant plus de 50% d'aluminium métallique. On distingue :

- i) les déchets internes (home scrap) : apparus dans la transformation en semi-produits, leur qualité, connue, est bonne, ils sont de suite recyclés et n'entrent pas sur le marché des déchets.
- ii) les déchets de transformation (prompt scrap) : formés dans la transformation en produits finis, leur qualité, connue, est assez bonne mais variable, ils sont très vite recyclés et entrent peu sur le marché des déchets.

Déchets internes et de transformation forment le groupe des déchets neufs.

- iii) les vieux déchets (obsolete scrap) : ce sont les produits en fin de vie. Mélangés le plus souvent (quelques uns sont collectés sélectivement), leur qualité, inconnue, est très variable, il sont recyclés suivant la demande et forment l'essentiel du marché des déchets.

les bases scientifiques du recyclage

Le recyclage est exclusivement fait par fusion. L'application des lois fondamentales de la chimie et de la physico-chimie met en évidence des limitations à un recyclage éternel :

- i) il y a des pertes d'aluminium, irréversibles lorsque l'aluminium est transformé en alumine, réversibles lorsque l'aluminium est entraîné par l'alumine, le mélange alumine-aluminium étant les « crasses ». Elles conduisent à une augmentation de la concentration des autres éléments.
- ii) la purification de l'aluminium par élimination des autres éléments est limitée.

les technologies du recyclage

Pratiquement, la chaîne du recyclage comprendra 4 étapes :

- i) une étape à froid, précédée d'un broyage, élimine les poussières et les produits légers tels le papier et les plastiques par soufflage, les matériaux magnétiques par action d'un électro-aimant et les matériaux non magnétiques par densimétrie ou courants de Foucault. Les déchets sortent éventuellement humides et contaminés par des produits organiques (huile de coupe, vernis, etc...).
- ii) une étape à chaud, jusqu'à environ 400 °C, élimine l'eau et les matières organiques. Les déchets sortent purs et chauds.
- iii) une étape de fusion, entre 700 et 800 °C, est réalisée dans un four électrique (à résistance ou le plus souvent à induction) ou dans un four à flamme (aujourd'hui à gaz).
- iv) une étape de traitement de dégazage, de purification, de mise au titre et éventuellement de filtration avant solidification.

Cette chaîne est évidemment caractérisée par des bilans matière et énergie :

- i) bilan matière : il est très variable, avec des pertes d'aluminium de 1-2% pour des déchets neufs, de 3-4%, dans le meilleur des cas pour de vieux déchets. Pour ceux-ci, on a plus couramment 10% dans de bonnes conditions, et on peut atteindre 30% et plus dans de mauvaises conditions : ce fut le cas lors des premiers essais de recyclage des boîtes boissons. On ne peut donc plus parler de recyclage éternel.
- ii) bilan énergie : entre 5 et 12 GJ/t suivant le mode de calcul, rapportée à l'énergie dépensée pour produire l'aluminium, 230 GJ/t pour la chaîne complète de la métallurgie extractive, 50 GJ/t pour la seule électrolyse, on vérifie que l'énergie de recyclage est bien comprise entre 5 et 10% suivant la référence choisie.

Quant à l'environnement, les émissions du recyclage sont faibles, parfaitement gérables et concernent les étapes chaudes de la chaîne : ce sont les gaz et les crasses dont les traitements sont connus et efficaces.

On peut dire que la chaîne de recyclage est parfaitement respectueuse de l'environnement.

l'industrie du recyclage

I/ le présent :

1) les sources de déchets :

i/ les déchets neufs : quantitativement et qualitativement connus car proportionnels aux quantités et qualités de produits semi-finis et finis, on les estime, faute de données statistiques, à environ 30% de la consommation mondiale d'aluminium.

Les déchets neufs ont toujours été recyclés.

ii/ les vieux déchets : le stock est mal connu et les quantités apparaissant sur le marché sont

très variables, avec une moyenne mondiale de 10% de la consommation d'aluminium et un maximum de 20% aux USA, les 10% supplémentaires provenant du recyclage des boîtes boissons.

On notera l'imperfection de l'indicateur de recyclage, la quantité recyclée par la consommation d'aluminium, pour les vieux déchets puisque leur âge est très variable, environ 20 ans hors boîtes boisson et moins de 1 an pour les mêmes boîtes boisson.

De l'avis unanime des experts, on pourrait augmenter de suite ces quantités d'au moins 20%. Qualitativement, les vieux déchets mélangés sont inconnus, et leur recyclage est difficile. Par contre, les vieux déchets sélectivement collectés, les boîtes boisson usagées, les câbles électriques de démolition, voient leur recyclage pratiqué à grande échelle.

2) les marchés des produits de recyclage :

Les déchets neufs sont recyclés de suite dans la chaîne de production où ils sont apparus.

Les vieux déchets mélangés ont trouvé leur application grâce au développement des alliages aluminium-silicium, les alliages de fonderie dont le marché principal est l'industrie automobile. Leur consommation est fixée par la qualité et la demande.

Quant aux vieux déchets sélectivement collectés, ils retournent dans la chaîne de production dont ils sont issus ; avec le taux moyen de collecte, 60%, des boîtes boisson auquel s'ajoutent les déchets neufs, 30%, et l'aluminium de dilution, 10%, l'équilibre quantitatif est atteint ; pour un taux de collecte supérieur et on atteint 80% dans certains pays, il n'y a plus d'équilibre et 20% des vieux déchets doivent trouver d'autres marchés.

Pour tous les vieux déchets, l'équilibre offre/demande se fait pour un taux de recyclage médiocre.

3) la structure :

Les déchets neufs sont recyclés par l'industrie de l'aluminium ou par les refondeurs (remelters) et les vieux déchets par les affineurs (refiners); refondeurs et affineurs forment l'industrie du recyclage, le plus souvent indépendante, dont la capacité est caractérisée par :

i) une valeur faible de la capacité moyenne, 16.000 t/an, très variable, de 1.000 à 100.000 t/an.

ii) une augmentation spectaculaire, 78%, de cette capacité moyenne qui, sur les 7 dernières années, est passée de 9.000 t/an à 16.000 t/an

iii) une croissance importante de la capacité totale, 4%/an sur les 7 dernières années, à comparer au 2,7% de l'électrolyse sur la même période.

4/ le respect de l'environnement : il est satisfait.

5/ l'économie : un large débat s'ouvre dont les données les plus importantes concernent :

a/ les prix :

i) le prix des déchets et de l'aluminium recyclé est fixé au London Metal Exchange, comme celui de l'aluminium d'électrolyse

ii) le prix est très variable, +/- 30% autour d'une valeur moyenne historique de 1.500 US\$/t

iii) le prix du déchet dépend aussi de sa qualité.

b/ le coût du traitement :

i) il croît avec la complexité croissante des installations de recyclage

ii) il est pénalisé par la faible capacité de celles-ci

c/ le coût de l'investissement : il est d'environ 400 US\$/t de capacité contre 4.000 US\$/t pour l'électrolyse seule, 10.000 US\$/t pour toute la chaîne de la métallurgie extractive, incluant la centrale électrique, soit entre 5 et 10% suivant la référence choisie.

II/ le futur : trois aspects sont décisifs :

i) la capacité moyenne : aujourd'hui 16.000 t/an, on devrait passer à 33.000 t/an, avec les plus grandes capacités atteignant déjà 100.000 t/an

ii) l'économie : elle devrait être moins pénalisée par l'effet de taille et le prix du déchet.

iii) la technologie : on devrait voir apparaître de nouvelles technologies performantes de tri

des qualités d'aluminium, de fusion sans pertes irréversibles d'aluminium et d'affinage éliminant tous les éléments.

conclusions

Le recyclage de l'aluminium, par ses avantages évidents et remarquables, intensité capitaliste, consommation d'énergie et pollution, se montant seulement à 5-10% des valeurs correspondantes de la métallurgie extractive, doit conduire à une industrie du recyclage d'un matériau du XXI^{ème} siècle.

Elle doit cependant faire aussi face aux défis posés par l'aptitude limitée de l'aluminium au recyclage et à l'augmentation du taux de recyclage des vieux déchets ; il faut :

i) connaître la source des déchets, en particulier les vieux déchets, et la gérer dans l'optique du recyclage

ii) avoir des technologies performantes de tri, fusion et affinage

iii) augmenter les marchés, d'une part en adaptant ceux existants aux qualités de l'aluminium recyclé, d'autre part en ouvrant de nouveaux marchés exploitant les qualités toujours remarquables de l'aluminium recyclé, inaltérabilité et durée de vie, légèreté et facilité de mise en œuvre

iv) bâtir une économie viable, d'abord en ayant un prix d'usage du déchet, d'autre part en bénéficiant de l'effet d'échelle des capacités de recyclage.

L'industrie de l'aluminium a engagé tous ses moyens dans les directions indiquées pour se doter d'une industrie du recyclage nécessaire pour faire de l'aluminium un matériau du XXI^{ème} siècle.