

**Communication de
Monsieur le Professeur Jean-Marie Schissler**



Séance du 21 novembre 2008



**Les alliages métalliques peuvent-ils
être recyclés indéfiniment ?**

En préambule, une remarque : toute évolution du monde, qu'elle soit économique, sociale, technique ou industrielle, dépend de l'essor de l'outil métallique. Depuis l'avènement de l'outil métallique, il y a quelque 7 000 ans, et après les quelques balbutiements associés à son développement, deux constats s'imposent :

-1- on ne trouve aucun objet, au sens strict du terme, qui n'ait été, soit, ou sera fabriqué sans l'intervention, à un moment ou à un autre, d'un outil métallique.

- 2 - la notion de recyclage de l'outil métallique s'est pratiquement imposée peu après la création de l'outil préhistorique.

Si on connaît bien la filière classique de production d'un acier, par exemple, on connaît mal la filière recyclage.

Qu'entend-on par recyclage ? Il y a deux possibilités : la réutilisation de la pièce métallique en l'état, après réparation si nécessaire, ou bien l'élaboration d'un nouvel alliage, processus nécessitant une opération de refusion des déchets métalliques sélectionnés. Cette dernière filière représente quasiment LA source des alliages métalliques recyclés.

Dans cet exposé, on ne prendra en compte que les deux principales familles d'alliages métalliques :

- Les alliages ferreux (aciers, fontes),
- Les alliages à base d'aluminium.

Si on définit la production brute d'un alliage comme étant la production de cet alliage à l'état liquide, on peut estimer qu'actuellement 40 à 50 % de la production brute d'acier provient du recyclage et que ce pourcentage est de l'ordre de 30 % dans le cas de l'aluminium.

L'évolution de la production brute ne cesse d'augmenter. En effet, en 1900, au niveau mondial, la production d'acier était de 28 millions de tonnes. En 2007, elle a atteint 1,344 milliards de tonnes. La production d'aluminium a été de 45 millions de tonnes en 2006.

La comparaison des deux observations précédentes montre clairement que la filière recyclage ne permet pas d'approvisionner, à l'échelle mondiale, la très forte demande en alliages métalliques ferreux, demande qui était en hausse jusqu'aux événements boursiers d'octobre 2008.

La filière recyclage, aussi appelée «industrie de deuxième fusion», ou «seconde fusion», présente aussi un intérêt indéniable qui est l'économie d'énergie engendrée par ce procédé en comparaison au processus classique issu du minerai, processus appelé «filiale intégrée».

□ Le recyclage de l'aluminium ne nécessite que 5 à 20 % de l'énergie consommée lors de l'élaboration d'aluminium primaire, c'est-à-dire à partir du minerai : la bauxite.

□ Le recyclage de l'acier ne nécessite que 25 à 30 % de l'énergie nécessaire à la production de l'acier à partir du minerai, essentiellement de l'oxyde de fer Fe_2O_3 . L'économie d'énergie induite par le recyclage d'une tonne d'acier est équivalente à l'énergie consommée par une personne pendant un an, et la consommation en eau pour cette filière correspond à la consommation d'une personne pendant quatre mois.

Les économies d'énergie sont en parfait accord avec l'esprit du Protocole de KYOTO et montrent bien l'intérêt de la filière recyclée par rapport à la filière dite «intégrée» (basée sur la filière minerai). Il ne faut pas oublier que dans le cas de l'acier recyclé, l'élaboration du liquide se fait à 1600° C minimum alors que pour l'aluminium la température est de l'ordre de 700° C.

D'une manière générale, les déchets proviennent de plusieurs sources : déchets municipaux, déchets industriels, biens en fin de vie.

Les déchets intégrant la filière recyclage ont diverses origines. Les déchets neufs sont issus de l'élaboration du produit fini. Les autres déchets proviennent du processus de transformation ultérieure ou sont composés de déchets vieux provenant de produits en fin de vie. On parle de V.H.U. : véhicules hors d'usage, par exemple. Les provenances diverses de ces déchets modulent la qualité de leur traçabilité. Si elle est excellente dans les déchets neufs, elle est quasi impossible dans le cas des déchets vieux ou dans le cas de certains déchets importés.

Ces remarques montrent la difficulté parfois extrême d'obtenir, par la voie recyclage, un alliage de composition strictement définie, apte à la fabrication d'un produit à caractéristiques mécaniques et conditions d'emploi très précises.

En 2004 le poids moyen d'un véhicule européen était de 1 290 kg dont 61,6 % étaient constitués d'alliages ferreux dont la composition était extrêmement variable, d'où la nécessité d'un tri sélectif très sévère dans le cas de V.H.U.

Si on prend l'ensemble des pièces métalliques recyclées, on est surpris par l'éventail des analyses chimiques et états structuraux présents dans la filière. Dans le cas des alliages ferreux, on a de l'ordre de 50 000 «ferreux» différents. Dans le cas de pièces en aluminium, on assiste, là aussi, à une mise en place d'une filière recyclage.

On assiste à une diversification des analyses, mais les classes d'alliage sont relativement simples. On a trois grandes classes d'alliages à base d'aluminium qui sont les suivantes :

- non allié,
- faiblement allié,
- fortes teneurs en silicium, cuivre, zinc.

La détermination de ces classes entraîne un recyclage impossible dans le cas des deux dernières classes d'alliage.

En outre, les pièces de type ferreux et non ferreux type aluminium possèdent, en général, un revêtement de surface dont le rôle et l'importance varient selon l'emploi de la pièce. Le revêtement peut être de type anti-corrosion, anti-usure, ou simplement esthétique. Ces revêtements sont de type métallique, organique ou base émail.

L'ensemble de toutes ces remarques importantes détruit partiellement la notion du recyclage à l'infini des alliages métalliques car la pollution induite par ces éléments dits «résiduels» ne fait que croître avec le nombre de recyclages. Cette observation est très importante car elle explique la nécessité absolue de recourir à l'apport d'alliage «propre» de manière à minimiser ou maximiser l'influence du taux croissant de ces éléments dits «polluants».

Bien entendu, la quantité d'apport d'alliage «propre» sera fonction de la sévérité du cahier des charges final. La cible sera l'analyse chimique imposée qui, associée aux traitements thermiques ultérieurs, donnera naissance aux diverses caractéristiques d'emploi recherchées. L'origine de cet apport en alliage «propre» ne peut être que celle d'un alliage neuf donc issu de la filière intégrée, donc provenant de la voie minéral.

Afin de déterminer quels pourraient être les impacts de cette pollution et préciser les solutions éventuelles, l'ADEME a lancé une étude dont le rapport a été rendu fin décembre 2006 (convention ADEME n° 06-74c.0049). Cette étude a été menée par la société MAGETEX.

Toutes les observations précédentes soulignent que le recyclage à partir d'un état liquide transitoire ne permet pas de cibler une composition. La présence supplémentaire de types de traitements et/ou revêtements s'avère globalement pénalisante quant au recyclage des aciers ou alliages à base d'aluminium. On parle alors de contraintes spécifiques à la refusion. On note une utilisation croissante de revêtements, part importante dans le cas de ferreux, plus modeste dans le cas de l'aluminium.

Dès l'instant où ces revêtements, pour la plupart d'entre eux, ont pour rôle d'allonger la durée de vie des pièces traitées, l'impact de ces revêtements aura une importance non seulement croissante mais également variable quant à leur interaction avec le recyclage.

Les durées de vie moyennes sont extrêmement variables, aussi bien dans la classe des biens «ferreux» que dans celle des «aluminium». Quelques chiffres clés peuvent être cités :

- inférieure à un an pour les boîtes de boisson,
- 12 ans pour les automobiles,
- 35 ans pour les équipements mécaniques,
- jusqu'à 100 ans pour un bâtiment.

Cela signifie que si la durée de vie moyenne est de 10 ans, on recycle en 2008 les biens élaborés datant de 1998.

Un traitement superficiel ou un revêtement aura deux effets possibles :

- immédiat sur les déchets neufs,
- beaucoup plus tardif dans le cas de déchets vieux récupérés en fin de vie.

Il est toutefois primordial de s'interroger sur la durée de protection induite par le revêtement, durée qui dépassera probablement celle des biens revêtus !

En cours de refusion, si cette opération est acceptable, les traitements et/ou les revêtements vont, plus ou moins, être considérés comme des impuretés potentielles.

On observe plusieurs cas de ces revêtements ou traitements en fonction de leur possibilité de mise en solution dans le liquide à haute température :

- soit ils sont solubles et modifient l'analyse chimique,
- soit ils sont non solubles et vont créer des inclusions non-métalliques,
- soit ils se volatilisent (cas du zinc, cadmium),
- soit ils s'agglomèrent au laitier.

Mais tous les revêtements n'autorisent pas une refusion de la pièce métallique :

- soit par contamination importante de l'alliage élaboré,
- soit par possibilité d'émissions de poussières toxiques.

Toutes ces remarques restreignent le champ d'application du recyclage.

Il est important de signaler l'opération de récupération du zinc à partir du recyclage de tôles zinguées issues du secteur automobile (VHU ou chutes au moment de l'emboutissage donnant naissance à la carrosserie).

Actuellement, la question qui se pose est la suivante : « Comment récupérer et traiter les déchets revêtus pour en faire une matière acceptable à la refusion ? » On doit, à nouveau, séparer les déchets en deux groupes :

- dans le cas des déchets neufs, on peut identifier et isoler ces déchets, mais il est très difficile de dévêtir économiquement ces déchets afin de récupérer la matière première qui est de très haute qualité métallurgique,
- dans le cas des vieux déchets qui pourraient s'avérer nocifs au moment de la refusion, un tri sélectif serait souhaitable. Cette opération appliquée aux boîtes métalliques est possible et permet de récupérer un alliage de base de haute qualité. Dans le cas des V.H.U., l'opération de tri avant broyage est trop complexe. Après broyage, on a un mélange et on ne peut pas, de manière fiable, séparer les éléments revêtus de produits nocifs.

La recherche de solutions techniques est importante et le nombre de brevets déposés indique l'ampleur et la complexité du problème.

Au niveau scientifique, de nombreuses recherches fondamentales tentent d'analyser tous les processus mis en jeu durant la refusion de déchets ferreux émaillés ou déchets revêtus de couches minces à base oxydes, carbures, nitrures ou carbonitrures. Une des questions principales est la suivante : durant la fusion et les mouvements de brassage du liquide à 1600° C ou 1700° C, quels sont

les mécanismes gérant le partage des métaux constituant le revêtement entre liquide, laitier, fumées ? Au niveau équipement industriel, de nouveaux matériels permettant de dévêtir de manière efficace et continue doivent être créés.

Une autre question d'avenir est la suivante : « Comment rendre un alliage réellement recyclable ? ». De nombreuses pistes sont actuellement étudiées et le marché étant important, toute étude devient hautement confidentielle.

Autre question, encore : « Peut-on envisager de nouveaux revêtements ? ». Il semblerait que la Chine et le Japon se soient lancés sur de nouvelles voies en créant des nanostructures superficiellement. D'autres nations, telle les USA, développent des poudres d'acier amorphe déposées par projection de type cold spray.

Tous les éléments qui viennent d'être exposés permettent donc d'affirmer qu'actuellement tous les alliages métalliques ne peuvent pas être recyclés indéfiniment et cela contrairement à l'idée généralement admise.

A ce point de cet exposé, on conçoit parfaitement que la filière recyclage ne répond pas à une demande de plus en plus importante. Dans ces conditions, la production croissante d'alliages fait obligatoirement appel à la filière intégrée, donc la filière minerais. En effet, il avait été fait état, au début de cet exposé, de l'écart notable entre la filière intégrée et la filière recyclée, à savoir 60-40 pour l'acier et 70-30 pour l'aluminium.

Diverses raisons peuvent expliquer ces écarts :

□ dans le cas des ferreux :

- une stabilisation de la production de fonte (fonderie) utilisant des déchets et une augmentation de fonte neuve (filiale intégrée),
- un déclin d'acier moulé,
- une augmentation notable de produits plats ou bas carbone (exemple des tôles de carrosserie) qui nécessitent une analyse de haute qualité dans une filière vierge d'impureté donc la filière intégrée.

□ dans le cas des bases aluminium, on assiste actuellement à une croissance de la filière recyclage. En Europe, 30% de l'aluminium vient de la filière recyclage.

□ au niveau mondial le gisement de déchets ferreux en attente de recyclage est situé entre 5 et 10 milliards de tonnes. En France il serait de l'ordre de 500 millions de tonnes.

Les chiffres sont à comparer à la production mondiale d'acier brut 2007 qui était de 1,35 milliards de tonnes !

□ au niveau mondial, le gisement base aluminium est évalué à 420 millions de tonnes dont 120 à 150 pour la France. On dispose de peu de données quant aux flux de déchets au niveau mondial.

Cet ensemble de remarques montre donc l'importance des efforts à accomplir pour améliorer la filière recyclage, donc réduire la filière intégrée.

On ne peut terminer cet exposé sans noter quelques points importants.

En 2004, la production d'acier brut a subi une croissance plus forte qu'auparavant, ce qui n'a pas été le cas de la filière recyclage. Cette variation est à comparer à la production d'acier en Chine, production dont la croissance est à peu près identique à celle de la production mondiale. Toutefois, en 2004, on assiste à une inversion des flux importés et exportés par la Chine. Cette même année, on a assisté à une raréfaction des déchets en Europe et à une augmentation sensible des métaux stratégiques.

Si on connaît mal le flux des déchets en vue du recyclage, on connaît parfaitement le flux des minerais et on observe que la Chine est le principal consommateur de minerai de fer. Malheureusement, on ne connaît pas ou très peu sa consommation en déchets recyclables.

Il est certain que ce pays et d'ici peu de temps l'Inde vont probablement influencer à la fois la filière intégrée et la filière recyclage. Il sera alors intéressant de savoir si de nouveaux procédés d'élaboration et traitements du liquide associés ou non à de nouveaux revêtements recyclables auront été découverts et mis en œuvre.

Pour conclure cet exposé, certainement trop bref, compte-tenu de l'importance du sujet et de sa complexité, on peut faire les remarques suivantes :

- on ne peut pas recycler systématiquement tous les déchets car certains d'entre eux ont un revêtement nocif quant à la qualité du produit ultérieur recyclé,
- nécessité d'effectuer un tri extrêmement sélectif afin de ne pas mélanger plusieurs nuances. Comment identifier correctement les composants d'un bien métallique ?
- on ne peut pas recycler indéfiniment un alliage sans risquer une augmentation constante d'éléments résiduels qui, à force, ne seraient plus de type résiduels,
- nécessité de découvrir de nouveaux types de revêtements,
- dans le cadre des alliages ferreux ou base aluminium, il est impératif de développer encore plus la recherche scientifique afin de mieux maîtriser

les processus fondamentaux mis en cause durant l'élaboration du liquide à partir de déchets revêtus ou traités,

- étendre le champ de recherches à l'ensemble de tous les déchets métalliques,
- mettre en place des filières de récupération entièrement automatisées,
- broyer des lots homogènes, ce qui n'est pas le cas actuellement,
- prévoir un démontage facile automatisable des biens métalliques afin d'obtenir des lots homogènes en qualité,
- valoriser les processus d'extraction à partir des poussières récupérées durant l'élaboration aux fours d'aciérie électrique, cubilots, fours à induction.