



## DES PNEUS USAGÉS UTILISÉS EN ACIÉRIE ÉLECTRIQUE : UN SUCCÈS INDUSTRIEL.

L'ANTHRACITE REMPLACÉ PAR DU PNEU USAGÉ :  
LE PROCÉDÉ EST EFFICACE, ÉCONOMIQUE ET ÉCOLOGIQUE.

**ALIAPUR et LME exploitent depuis deux ans avec succès  
une nouvelle technologie de valorisation des pneus usagés  
en aciérie à four électrique, développée par ARCELOR RESEARCH.**

Un décret , publié le 29 décembre 2002, impose que tout pneu neuf vendu en France soit valorisé par son producteur. La société ALIAPUR regroupe les principaux producteurs de pneumatiques présents en France et a assuré en 2005 la collecte et l'élimination de près de 294 000 tonnes de pneus usagés. ALIAPUR promeut les nouvelles voies de valorisation des pneus usagés et recherche des industriels pour qui le pneu peut devenir une matière première de substitution. Etude de cas de cet échange d'intérêts communs avec l'aciérie LME et le Groupe Arcelor.

Auteur : C.CLAUZADE / ALIAPUR



 **ALIAPUR**  
COLLECTE ET RECYCLAGE DE VOS PNEUS



# LES FOURS A ARC ELECTRIQUE UTILISENT DES PRODUITS CARBONÉS<sup>(1-2-3)</sup>

LA SIDÉRURGIE DISPOSE DE FOURS À HAUTE TEMPÉRATURE POUVANT ÊTRE UTILISÉS POUR RECYCLER DES PRODUITS RICHES EN CARBONE. C'EST PARTICULIÈREMENT VRAI DES FOURS D'ACIÉRIE À ARC ÉLECTRIQUE, MOINS CRITIQUES EN TERMES DE FILIÈRE ET DE TEMPS DE CYCLE.

La fabrication de l'acier en four à arc électrique repose sur la fusion de ferrailles à haute température (1 650 °C), pendant 45 minutes environ, pour qu'elles soient fondues. Un arc électrique de température supérieure à 15 000°C assure cette montée progressive en température. Habituellement, dans un four électrique on ajoute aux 100 tonnes de ferrailles environ 3 300 kg de chaux et 1 150 kg de **carbone** sous forme **d'anthracite** et de **coke**.

- **L'anthracite** fournit du carbone dont une partie est dissoute dans le bain métallique liquide, où il joue le rôle de réducteur des oxydes de fer : la rouille.

Dans un premier temps, des lances (oxygène O<sub>2</sub> + méthane CH<sub>4</sub>) placées dans le four opèrent comme des brûleurs. Ces brûleurs chauffent la ferraille située dans les points froids du four que l'électrode n'atteint pas efficacement. Une fois la ferraille fondue, ces lances injectent de l'oxygène pur pour générer la "décarburation" et la "post-combustion" de la partie du carbone excédentaire, ajouté avec les ferrailles, créant ainsi de l'énergie supplémentaire par réactions exothermiques.

$C + 1/2 O_2$	→	CO	Decarburization	1.35 kWh / kg C
$CO + 1/2 O_2$	→	CO <sub>2</sub>	Post-combustion	6.0 kWh / kg C
Total :				7.35 kWh / kg C

- **Le laitier, sous-produit métallique** (matières oxydées : oxyde de fer, silicates...) nage au-dessus du métal en fusion. Il génère une couverture permettant une concentration du rayonnement de l'arc sur la charge et assure, de fait un meilleur rendement énergétique.
- **Le coke** lui est injecté sous forme de charbon pulvérisé dans le laitier, afin de le faire mousser en produisant du CO<sub>2</sub>.

La fin des opérations intervient sur un autre poste dans un four à poche, avec, notamment, les mesures de carbone et de phosphore, l'injection d'oxygène si nécessaire, ainsi que l'analyse d'éléments indésirables, pour valider le grade d'acier.



← Chargement des paniers →

**Process de fonte du métal avec l'arc électrique :**

**L'arc électrique :**

Cathode : électrode en graphite

(Plasma)  $T > 15\ 000\ K$

Anode : acier

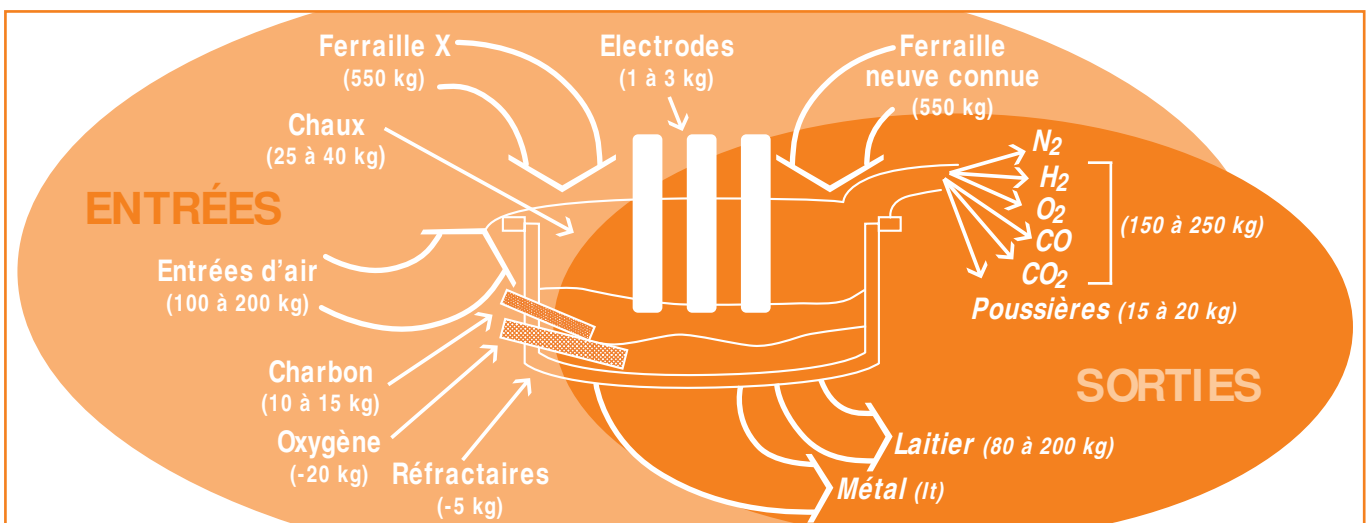
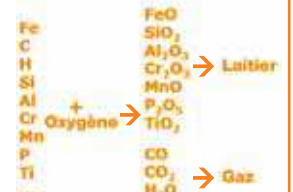


Solide 20 C°  
Liquide 1600 C°

**L'énergie chimique :**



La majorité des matériaux dans un EAF sont combustibles, i.e. oxydables. Toutes les réactions présentées à droite sont exothermiques libérant de l'énergie.





# LES PNEUS USAGÉS SONT UTILISÉS COMME SUBSTITUT D'ANTHRACITE

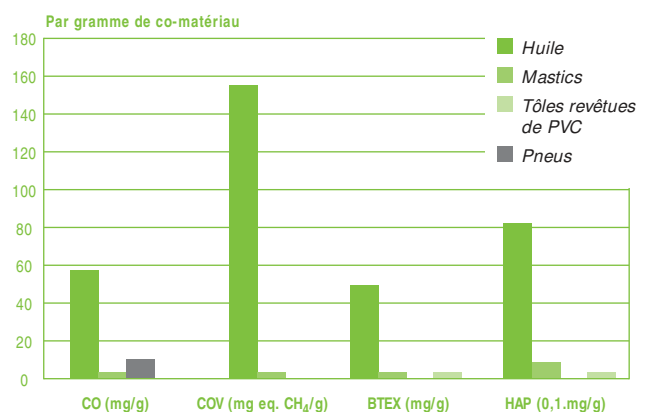
UN PNEU EST COMPOSÉ DE CARBONE ET DE FER. LA POSSIBILITÉ DE SUBSTITUER TOUT OU PARTIE DE L'ANTHRACITE ENFOURNÉ DANS LES FOURS ÉLECTRIQUES PAR DES PNEUMATIQUES USAGÉS, OUVRE LA VOIE À UNE NOUVELLE TECHNOLOGIE DE RECYCLAGE DES PNEUMATIQUES.

## LES ESSAIS EN LABORATOIRE<sup>(5)</sup>

ARCELOR, via son pôle de recherche ARCELOR RESEARCH, a travaillé dès 1997 avec différents partenaires (ADEME, MICHELIN) sur cet axe de recherche.

ARCELOR RESEARCH a tout d'abord conduit des essais de pyrolyse de pneus dans un simulateur de four électrique permettant de reproduire la gamme de températures et d'atmosphères rencontrées. Cette démarche a permis, à la fois, de rechercher la formation éventuelle de certaines molécules organiques et a mis en évidence le bilan de décomposition du pneu. Une comparaison avec des co-matériaux couramment enfournés a également été réalisée (huile, mastics, tôles revêtues de PVC).

Le pneu a pu ainsi être positionné par rapport aux autres co-matériaux sur des critères d'émissions.



CO : monoxyde de carbone COV : composés organiques volatiles BTEX : benzène, toluène, éthylbenzène, xylène HAP : hydrocarbures aromatiques polycycliques.



← Alimentation du four →

## LES ESSAIS SUR LE SITE <sup>(5) (6) (7) (8) (9)</sup>

Les premiers essais ont été menés dans deux aciéries lorraines en France. La technique a d'abord été testée puis affinée lors d'essais sur le four électrique d'Ascométal à Hagondange. Enfin, pour valider le principe, une marche industrielle régulière et prolongée a été réalisée sur le four de SAM Neuves-Maisons.

Après avoir vérifié qu'il était possible de fonctionner sans incident, différents modes d'introduction ont été testés, des pneus entiers jusqu'à de la poudrette, **en suivant les bilans matière, thermique ainsi que les émissions du four.**

### Des bonnes pratiques ont été identifiées :

- 1 Contrôler avec précision les quantités de pneus ajoutées
- 2 Ajouter les pneus au bon endroit dans la charge, ni sur le dessus, ni sur le pied de bain
- 3 Adapter l'utilisation des brûleurs et la mise en œuvre de la post combustion. Il faut avant tout que la combustion du CO se produise dans le four, et non pas en partie dans le circuit de captage.

### Les résultats :

- Une plage d'addition de 5 à 12 kg de pneus par tonne d'acier, voisine de celle utilisée pour le charbon, n'est accessible que pour du pneu découpé en morceaux d'une dizaine de centimètres, ajouté dans la charge en vrac.
- Le bilan thermique du four n'établit aucune distinction entre le carbone issu de l'antracite et celui issu de pneus.
- Le taux de substitution calculé est de 1,7 kg de pneus pour 1 kg d'antracite.
- Les résultats métallurgiques, concernant le soufre en particulier, ne sont pas affectés.

### Les émissions environnementales

Ces mesures ont été réalisées par le LECES. Les aspects relatifs à l'environnement, sur 30 coulées, sont :

**Mesures dans le captage :** aucune incidence (COV, SO<sub>2</sub>),

**Rejets en cheminée :** pas d'incidence sur les concentrations mesurées en HAP, BTEX et PCDD/F (PolyChloroDibenzoDioxines et Furanes) dans la phase gazeuse et en C, S, Cd, Zn, Pb, TMS (taux de matières solubles) et HAP dans les poussières,

**Enceinte du four :** pas de modification notable.

Un brevet américain (10) existe depuis 1993. Cette invention concerne une méthode pour fondre l'acier en utilisant des chutes de métal, ainsi que des chutes de caoutchouc (environ 0,25% du poids au moins), comme les pneus usagés des véhicules à moteur. Les chutes de métal et les pneus usagés entiers sont déposés dans un four de fonte, comme un four à arc électrique, et les pneus usagés entiers sont brûlés avec de l'air ou de l'oxygène, pour fournir une source auxiliaire de chaleur permettant de fondre les chutes de métal.



# UNE RÉUSSITE INDUSTRIELLE ET UN SUCCÈS ENVIRONNEMENTAL

SUITE À CES ESSAIS CONCLUANTS,  
LE PROJET D'UTILISATION DES PNEUS USAGÉS  
A ÉTÉ MIS EN PLACE INDUSTRIELLEMENT  
SUR LE SITE LME DE TRITH-SAINT-LÉGER (59),  
EN PARTENARIAT AVEC ALIAPUR.

LME et ALIAPUR ont souhaité, durant la première année d'exploitation industrielle (2004-2005), confirmer la faisabilité et les bonnes pratiques identifiées lors de la phase d'essai sur site.

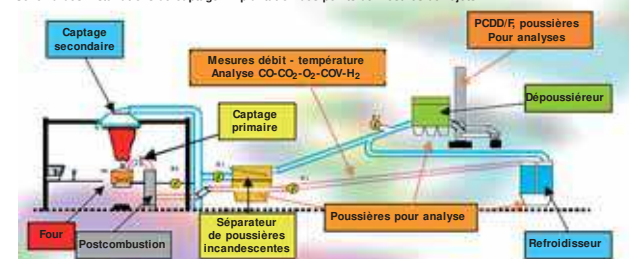
Sur le site de LME, environ **1 tonne de pneus sous forme déchiquetée** est incorporée à la ferraille par coulée en remplacement de l'antracite, soit environ 1% de pneus par coulée.

L'évaluation environnementale «avec ou sans pneus» est **positive**. L'observation conduite conjointement par ALIAPUR et LME a porté sur l'évaluation environnementale d'une telle substitution :

- impact sur les poussières (LRCCP)
- impact sur les effluents gazeux (Air Liquide).

L'étude des poussières et effluents gazeux émis a porté sur l'analyse comparative de coulées avec ou sans pneumatiques usagés. Les analyses ont porté sur **30 prélèvements** de poussières effectués le long du système de captage des fumées du four et sur l'observation en continu de la composition des effluents.

Schéma des installations de captage. Implantation des points de mesures de rejets.



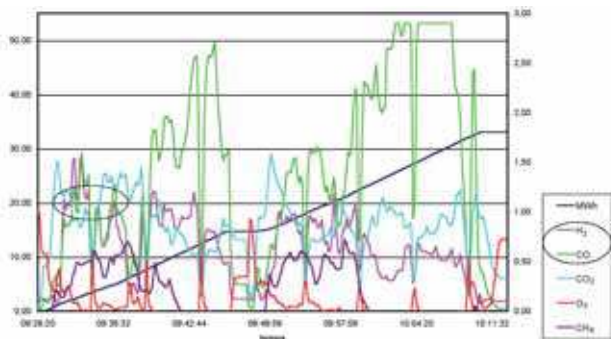
Les analyses sur les poussières ont consisté en des observations macroscopiques et microscopiques, granulométrie, colorimétrie, densité apparente, taux de matières volatiles, composition pondérale et nature des éléments minéraux et métalliques. Le bilan de ces analyses a permis de mettre en évidence que l'ensemble des opérations s'était déroulé de manière normale et que **les poussières prélevées ne présentaient pas de différences significatives selon que du pneu ou de l'antracite avait été utilisé.**



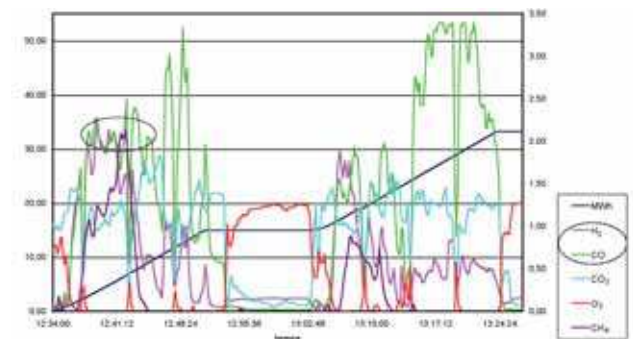
← Coulée →

A noter que la perte de masse globale à haute température (850°C) des poussières des coulées avec pneus est supérieure à celle des poussières sans pneus. Ceci mettrait en évidence une combustion incomplète (défaut d'oxygène) au niveau du four dans le cas de ces coulées avec pneus.

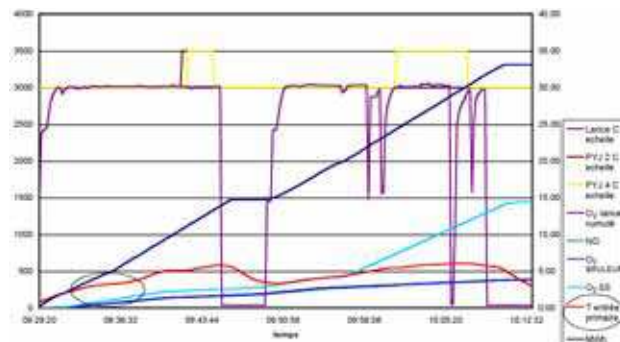
**Adapter les paramètres de post-combustion** lors de cette même campagne d'essai, la société Air Liquide a effectué des relevés de la température et des concentrations en CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> et CH<sub>4</sub> au niveau du captage en sortie immédiate du four. Les résultats (12) ont montré la **présence d'un phénomène exothermique induisant une hausse de la température durant les 5 à 10 minutes suivant l'incorporation des pneus dans le four**. Les taux de CO et H<sub>2</sub> mesurés ont été 10 à 20% supérieurs à ceux des coulées sans pneu.



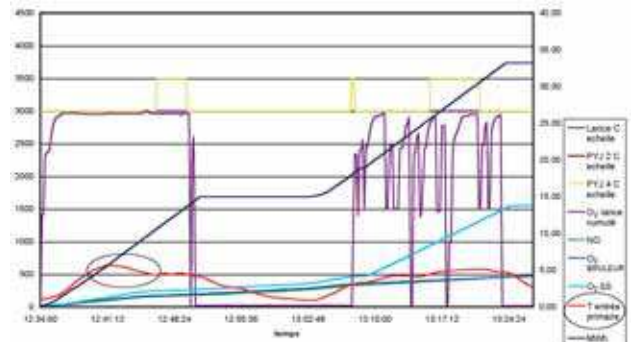
Coulée sans pneus (H<sub>2</sub> en rose, CO en vert)



Coulée avec pneus (H<sub>2</sub> en rose, CO en vert)



Coulée sans pneus (température en rouge)



Coulée avec pneus (température en rouge)

Ces essais confirment que l'utilisation de pneus nécessite d'adapter les paramètres de post-combustion (oxydation du CO en CO<sub>2</sub>), afin que la combustion du CO se produise dans le four, et non pas partiellement dans le circuit de captage, ce qui occasionnerait une perte d'énergie dans les fumées ainsi qu'une sollicitation thermique excessive de l'installation.



# UNE SUBSTITUTION FIABLE, ÉCONOMIQUE ET ÉCOLOGIQUE !



La piste qui est suivie en France a pour partenaires de grands groupes industriels, ayant les moyens de se projeter dans une démarche de développement. En outre, elle vise à encourager une synergie entre deux métiers, dans laquelle les différents acteurs recherchent une stratégie d'intérêts communs :

- d'une part, **ALIAPUR favorise de nouvelles solutions écologiques et viables pour la valorisation des pneumatiques en fin de vie ;**
- d'autre part, **la sidérurgie découvre une matière première de substitution de l'antracite plus économique mais tout autant adaptée à ses besoins spécifiques, ainsi qu'un moyen de jouer son rôle d'industrie citoyenne.**

A ce jour, la part d'énergie apportée par le pneu n'a pas été évaluée de manière certaine. Elle ne représente pas l'objectif visé par les aciéristes dans cette substitution.

Aujourd'hui en 2006, le site de LME de Trith-Saint-Léger (59), capable de traiter 7 000 tonnes de pneus par an, montre la viabilité de la valorisation des pneumatiques usagés non réutilisables (PUNR) en four à arc électrique.

## RÉFÉRENCES :

- (1) THE EAF PROCESS - X. LE COQ - J.C. HUBER (IRSID)
- (2) PYREJET™ - A MULTI-FUNCTION SYSTEM FOR EAF STEELMAKING : INDUSTRIAL RESULTS AT LME (FRANCE) - J.M. THEBAULT - R. CERVI (LME), L.COUDURIER - M. DEVAUX V. SHIFRIN - J.C. VUILLERMOZ (Air Liquide), 7<sup>th</sup> European Steel Making Conference, 26-29 May 2002, Venice Italy
- (3) PYREJET™ AND ALARC PC™ - COUPLED SYSTEM FOR EAF STEELMAKING : INDUSTRIAL RESULTS AT LME (FRANCE) - J.M. THEBAULT - R. BECAN (LME), L.COUDURIER - M. DEVAUX - K. KAISER - J.C. VUILLERMOZ (Air Liquide), 2<sup>nd</sup> International Conference, 19-21 September 2004, Riva del Garda Italy
- (4) CHARGING TIRES IN THE EAF AS A SUBSTITUTE FOR CARBON - B. GROS (ARCELOR), BLIC meeting, 13 November 2003
- (5) CHARGING TIRES IN THE EAF AS A SUBSTITUTE FOR CARBON - J.P. GOREZ (MICHELIN), B. GROS (USINOR), J.P. BIRAT - C. GRISVARD - J.C. HUBER - X. LE COQ (IRSID, ARCELOR Research), La Revue de métallurgie-CIT, janvier 2003
- (6) RECYCLAGE DES PNEUMATIQUES AU FOUR ÉLECTRIQUE D'ACIÉRIE - Rapport IRSID RC200.19, septembre 2000
- (7) RECYCLAGE DES PNEUMATIQUES AU FOUR ÉLECTRIQUE D'ACIÉRIE - J.C. HUBER - C. GRISVARD - D. PERNET - J.P. BIRAT, Rapport IRSID RC00.33, janvier 2001
- (8) ASPECTS RELATIFS À L'ENVIRONNEMENT CARACTÉRISÉ PAR LE LECS - rapport IRSID F&A 01 N.6422/A, novembre 1999
- (9) MELTING A MIXTURE OF SCRAP METAL USING SCRAP RUBBER - Patent Number 5,322,544
- (10) RAPPORT LRCCP, R. LIARDO, JANVIER 2005
- (11) AIR LIQUIDE, S. BOCKEL-MACAL, NOVEMBRE 2004