

Gilles Tihon (CTIF), Sandra Gaspar (FMGC), Catherine Clauzade (Aliapur)

GAINS POTENTIELS RESULTANT DU CHARGEMENT DE BROYATS DE PNEUS USAGES DANS UN CUBILOT A VENT CHAUD

D'un côté, les pneus usagés doivent être recyclés, de l'autre côté, l'acier, la fonte neuve, le carbure de silicium et le coke sont des matières premières coûteuses. Les pneus pour poids lourds contiennent approximativement 25% d'acier et 21% de noir minéral. Le chargement de broyats de pneus usagés dans les cubilots à vent chaud permet le remplacement partiel de ces matériaux onéreux.

Les pneus contiennent approximativement 43% de caoutchouc. Lorsqu'ils sont chargés, les pneus pyrolysent et produisent de grandes quantités de composés organiques gazeux qui doivent être brûlés dans la chambre de combustion. Les fumées doivent ensuite être refroidies.

La taille et la forme des broyats de pneus dépendent de l'outil de transformation et de l'usure des couteaux. Il faut procéder à une sélection attentive de cette matière première pour pouvoir la charger sans problème.

Cette communication présente également une évaluation des bénéfices possibles résultant du changement de matière chargée au cubilot.

1) Les pneus usagés en France

En 2006, 360 000 tonnes de pneus ont été mis sur le marché français, dont 240 000 tonnes de pneus VL (véhicules légers), 84 000 tonnes de pneus PL (poids lourds) et 21 000 tonnes de pneus agraires. Environ 369 000 tonnes ont été collectées et éliminées.

Les débouchés des Pneus Usagés Non Réutilisables en tant que pneumatiques (PUNR) se sont répartis de la manière suivante : 38,6% en granulation, 25,7% en combustion - principalement en cimenteries - 8,6% en occasion et 8,0% en rechapage - donc 16,6% en réutilisation-, et 15,7% en TP (Travaux Publics) et GC (Génie Civil) (Figure 1) [1].

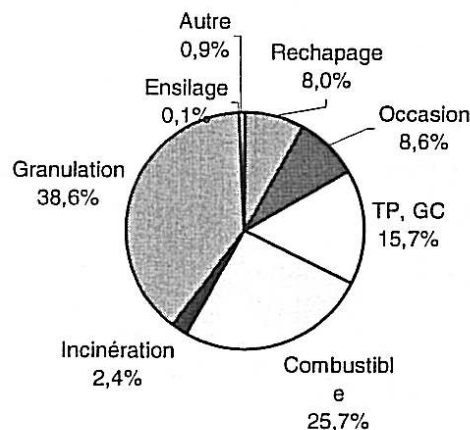


Figure 1 : Répartition des valorisations de PUNR en 2006 (Image Ademe)

La granulation consiste à séparer le caoutchouc des renforts métalliques et textiles et de le valoriser. Les granulats sont utilisés dans la réalisation de sols synthétiques, de gazons synthétiques ainsi que de sols équestres.



Figure 2 : Valorisation de PUNR en sols sportifs

Les pneus usagés sont utilisés comme combustibles de substitution dans les cimenteries principalement. Le rechapage consiste à remettre une nouvelle bande de roulement et se concentre sur les PL. Les PUNR sont valorisés en TP en renforcement de digues, protection de berges, matériaux de drainage dans les bassins de rétention, etc.



Figure 3 : Valorisation de PUNR en bassin de rétention

Les PUNR sont également utilisés en aciéries en remplacement de l'antracite utilisé dans les fours à arc électriques (Figure 4). Le ratio d'enfournement est proche de 1 à 1,3% de la charge métallique. Il faut 1,7 kg de pneus pour remplacer 1 kg d'antracite [2,3].



Figure 4 : Valorisation de PUNR en aciérie

2) L'intérêt des pneus

Les pneus sont des produits très sophistiqués, qui sont obtenus en appliquant une série de traitements bien précis à diverses matières premières fortement sélectionnées. On peut parler de matériaux composites. Ils contiennent de l'acier, du noir de carbone, du caoutchouc, et divers autres éléments dont du textile pour les pneus VL.

La composition chimique moyenne des pneus est la suivante [3]:

| Elément | Pneu VL | Pneu PL |
|--------------|------------|------------|
| % Carbone | 71 | 62 |
| % Hydrogène | 7 | 6 |
| % Oxygène | 4 | 3 |
| % Azote | 0,5 | 0,5 |
| % Soufre | 1 | 1 |
| % Fer | 15,5 | 25,5 |
| % Zinc | 1 | 2 |
| Total | 100 | 100 |

Le chargement de PUNR au cubilot procure trois avantages :

- 1) participation à la valorisation des pneus usagés générés par le marché annuellement
- 2) valorisation du métal et du noir minéral contenus dans les pneus poids lourds (environ 50% en poids)
- 3) diminution du taux de coke utilisé par la fonderie et donc de la consommation de carbone fossile.

La diversification des possibilités de valorisation est nécessaire à la filière pour lui assurer à long terme des solutions à moindre coût. Le recyclage du métal et du noir minéral ainsi que la réduction de la consommation de coke permet à la fonderie de se défendre dans un milieu économique difficile. Il permet à la fonderie de participer au développement durable en valorisant du fer et du noir minéral et en diminuant la consommation de carbone fossile.

3) Historique des essais en fonderie

CTIF avait déjà fait des essais d'enfournement de pneus dans des cubilots en 1984 [4] et 1993 [5]. Une première série d'essais de chargement par le gueulard avait montré que les pneus doivent être chargés après avoir été découpés. Leur chargement sous forme entière provoque une descente de la charge du cubilot perturbée.

Les essais complets ont montré que la paillasse se maintient sur de longues périodes, que la température et la composition chimique de la fonte sont correctes, mais que les fumées émises colmatent les filtres et que la quantité de poussières passe de 0,8% à 3% par rapport à la charge métallique [4].

En 1991, R.H. Nafziger [6] a étudié les divers combustibles de substitution au coke pour les cubilots. Il a pu remplacer 20% du coke par des pneus sous forme de broyats. La température de la fonte a baissé de 40°C et la recarburation de la fonte était correcte.

Quatre difficultés principales sont mentionnées dans la littérature :

- 1) Lors de leur descente dans la colonne du cubilot, les morceaux de pneus tombent en ruines, ce qui résulte en la libération de nombreuses particules carbonées [6] ;
- 2) Il y a risque d'une augmentation de la pression dans la boîte à vent ; ceci serait la conséquence d'une diminution de la perméabilité de la charge à cause des broyats de pneus insérés entre les pièces métalliques et les morceaux de coke ;
- 3) Il y a parfois des difficultés au chargement ;
- 4) Il n'est pas envisageable de charger des pneus quand il y a un traitement des fumées par voie humide avant leur combustion. Les COV lourds et les huiles de pyrolyse se concentrent dans l'eau qu'il faut traiter après.

Deux études de recyclage des pneus au cubilot plus récentes ont permis de répondre aux questions posées par la bibliographie mais également de déterminer la difficulté principale à l'enfournement de PUNR. La première recherche a eu lieu en 2004-2005 et a été financée par CTIF et par l'ADEME [7,8,9]. La deuxième recherche a eu lieu en 2006 et a été financée par les sociétés FMGC et Aliapur qui ont reçu un soutien de l'Ademe [10,11]. Elles ont abouti aux essais d'enfournement en continu qui sont en cours.

4) Recherche CTIF-ADEME

La recherche CTIF-ADEME a fait des essais dans deux cubilots à vent chaud. Il a été montré que:

- L'acier des pneus passe dans la fonte sans nuire à sa qualité. Le noir minéral des pneus permet la carburation de la fonte. Il n'y a pas augmentation des teneurs en zinc, azote et oxygène dans la fonte. Les teneurs en soufre restent dans les limites requises.
- Le chargement de pneus peut se réaliser sans nuire aux conditions opératoires quand le débit de fonte est modéré. L'essai exploratoire a montré la stabilité de fonctionnement du cubilot A lors du chargement de 1.06% de pneus durant 7,5 heures à débit de fonte réduit. Les essais à la fonderie D ont montré un chargement possible de 1.6% de pneus durant 4 heures, également à débit de fonte réduit, et de 1.1% de pneus à débit normal durant plus de six heures.
- Les fumées émises doivent être brûlées puis refroidies avant rejet final. La limitation à l'enfournement de pneus se trouve dans le traitement ultérieur des fumées, pas dans l'enfournement de pneus ni dans la conduite du cubilot.
- La partie métallique des broyats de pneus poids lourds (environ 20%) et leur noir minéral (environ 23%) passent dans la fonte.
- Lors de leur descente dans le cubilot, les pneus pyrolysent. Leur caoutchouc se décompose thermiquement pour donner des molécules plus légères qui sont emportées dans les fumées. Cette pyrolyse des pneus augmente considérablement la charge de travail du système de traitement des fumées. Les quantités d'air supplémentaire nécessaire pour brûler puis refroidir les fumées lorsque des pneus sont chargés ont été calculées à l'aide des bilans matières et des mesures de débit des fumées. Un kilogramme de pneus PL demande 9,8 Nm³ d'air de combustion et 12,5 Nm³ d'air de refroidissement, soit un total de 22,3 Nm³.
- Il vaut mieux charger des broyats de pneus PL que VL car ils contiennent plus de métal et moins de caoutchouc.

La valorisation matière des pneus permet de réduire le taux de coke qui doit fournir moins de carbone à la fonte. Lors des premiers essais de CTIF, un kilo de pneu a remplacé un demi-kilo de coke. Ces valeurs sont proches de celles observées en sidérurgie [3] et dans nos essais actuels.

5) Recherche Aliapur-FMGC

Aliapur est une société qui retraite plus de 80% des pneus usagés en France. FMGC est une fonderie produisant près de 100 000 tonnes par an, principalement des contrepoids.

La recherche Aliapur-FMGC a été faite sur différents broyats de pneus poids lourds. Les lots de broyats étaient constitués de morceaux de pneus de taille variable, d'environ 5 centimètres sur 20 centimètres. Le procédé de cisailage des pneus et l'usure des couteaux confèrent des caractéristiques différentes à ces morceaux.

La Figure 5 montre des broyats PL chargés dans le cubilot de la FMGC.



Figure 5 : Broyats de pneus PL



Figure 6 : Chargement de broyats de PL

Il a été montré que :

- Les broyats de pneus poids lourds ont des caractéristiques variables ainsi que toutes les matières premières et les vieilles ferrailles. Certains broyats conviennent tandis que d'autres sont à éviter.
- Les broyats corrects peuvent être chargés par le système de chargement de la fonderie mais il y a des arrêts de fonctionnement. Ce système fonctionne par vibration. Une vibration provoque le déversement des broyats depuis la trémie sur le tapis déroulant. Si la vibration dure trop longtemps, les broyats s'entassent et provoquent des bourrages qui bloquent le déversement de pneus et par conséquent de tout le chargement (Figure 6). Une adaptation de l'équipement faciliterait le chargement de broyats.
- Les broyats peuvent être chargés au taux de 1,05% de la charge métallique sans perturber le processus de fusion dans le cubilot. Le traitement des fumées constitue la limite à l'enfournement de pneus.

- Les émissions en rejet final présentent des concentrations négligeables à l'exception des teneurs mercure et en dioxine et furanes supérieures à la valeur de 0,1 ng TEQ/Nm³ qui constitue un objectif de performance pour le cubilot à vent chaud dans le BREF fonderie.

En conclusion de ces deux premières études :

- 1) 56% des broyats de PUNR PL vont dans le métal liquide sous forme de fer et de carbone.
- 2) Le chargement de 1,05% de pneus permet de réduire le taux de petit coke de 0,6%. Mille kilogrammes de broyats remplacent 255 kilos de ferraille ainsi que 571 kilos de coke.
- 3) La fonte possède les caractéristiques requises.
- 4) Le chargement de broyats de PUNR sollicite fortement le système de traitement des fumées. En 2006, le système de traitement des fumées a montré des difficultés de fonctionnement et CTIF a aidé à en éliminer quelques unes. Le traitement des fumées reste cependant le facteur limitant la production.
- 5) La durée des essais a été trop faible pour déterminer la faisabilité technique et économique d'un enfournement pérenne. Aliapur et FMGC ont donc décidé de poursuivre les essais durant une campagne de six mois.

6) Format des broyats

Les premiers essais ont montré clairement que les broyats de pneus PUNR doivent être considérés comme une matière première lors de leur chargement dans le cubilot. Leur forme est fonction du type de pneu broyé et de l'engin de broyage. La Figure 5 a montré des broyats corrects, et la Figure 7 montre des broyats impossibles à charger à la FMGC. Les barbules (fils métalliques sortant du morceau de broyat de pneu) s'enchevêtrent et bloquent le système de chargement.



Figure 7 : Broyats de PL contenant de nombreuses barbules

Les normes françaises expérimentales XP T 47-751 et XP T 47-753 ont été élaborées pour caractériser la répartition dimensionnelle d'un lot de broyats issus de la fragmentation de PUNR.

Sur cette base, Aliapur a défini et fournit des lots de broyats Small, Medium ou Large selon les besoins des utilisateurs. La fonderie FMGC utilise des broyats de type Large (50 à 200 mm, maximum 230mm).

La méthode d'analyse d'images Visiopur© a été mise au point pour caractériser les fournitures de broyats. Cette méthode analyse le nombre de pièces présentes dans l'échantillon, la plus grande longueur projetée des pièces, le nombre de barbules dans l'échantillon, le nombre moyen de barbules par pièces, la plus grande longueur projetée des barbules. Ceci permet de caractériser les lots de broyats fournis à la fonderie et de déterminer ceux qui conviennent à l'enfournement.



Figures 8 et 9 : Analyse d'images Visiopur©

7) Essais de longue durée en cours

FMGC et Aliapur ont décidé conjointement de réaliser une campagne de six mois de validation industrielle avec enfournement permanent de 0,8% de broyats de PUNR poids lourds et ont confié à CTIF la mission d'assurer le pilotage et la validation des essais. Le taux de 0,8% de PUNR est inférieur à ce qui a déjà été testé mais il a été choisi afin d'assurer un traitement des fumées complet. Cette première campagne de six mois s'est révélée positive, et les partenaires ont décidé de la renouveler.

Ce projet a pour objectifs :

- la mise au point de la qualité des broyats (vis à vis de l'écoulement dans la trémie du chargement et de la régularité de la fourniture) ;
- la confirmation de la stabilité de la qualité de la fonte coulée ;
- le suivi des impacts environnementaux ;
- la détermination de l'incidence de l'enfournement sur la stabilité du procédé ;
- la vérification de l'influence du taux de PUNR sur la capacité de débit de fonte ;
- l'impact de l'utilisation de broyats durant une longue durée sur les composants du système de traitement des fumées (fréquence de nettoyage des conduites, efficacité des filtres, etc.).

Les deux premiers projets ont montré la difficulté de maîtriser la qualité des effluents gazeux. Ils ont montré quelques déficiences de la chambre de combustion. La fonderie a modifié plusieurs paramètres pour améliorer le procédé, notamment le débit d'air de refroidissement dans la chambre de combustion, le diamètre des tuyères, l'enrichissement en oxygène.

Les conditions opératoires lors de ces essais de longue durée varient et les comparaisons des résultats doivent être réalisées avec circonspection.

7.A. Mise au point de la qualité des broyats

Aliapur désire pouvoir fournir à la fonderie le meilleur type de broyats pour le procédé industriel envisagé. Il faut donc produire plusieurs sortes de broyats et les introduire dans le four. Il faut par exemple déterminer l'importance de l'usure des couteaux sur la taille et l'aspect des fils de métal (les barbules) dépassant des morceaux de PUNR.

La fonderie FMGC a essayé différents broyats et les essais d'enfournement ont permis de préciser le format des broyats nécessaires pour un enfournement acceptable. Il a été impossible d'enfourner certains broyats, ce qui montre la volonté de la fonderie à déterminer les possibilités d'utilisation. La répartition dimensionnelle des broyats, le nombre et la taille des barbules acceptables seront clairement définis à la fin des essais. Précisons déjà que pour l'équipement dont la fonderie dispose actuellement, les broyats de PUNR poids lourds de type Large bien découpés conviennent parfaitement.

7.B. Qualité de la fonte coulée

L'influence de l'enfournement de PUNR sur la qualité de la fonte coulée est déterminée à l'aide de deux méthodes :

- L'analyse de la fonte à la sortie du cubilot ;
- Les modifications observées dans les étapes de traitement des pièces.

Le tableau 2 reprend les températures, les analyses chimiques et la profondeur de trempe moyennes de la fonte au chenal lors de six longues campagnes de mesure : trois campagnes sans pneus et trois campagnes avec pneus.

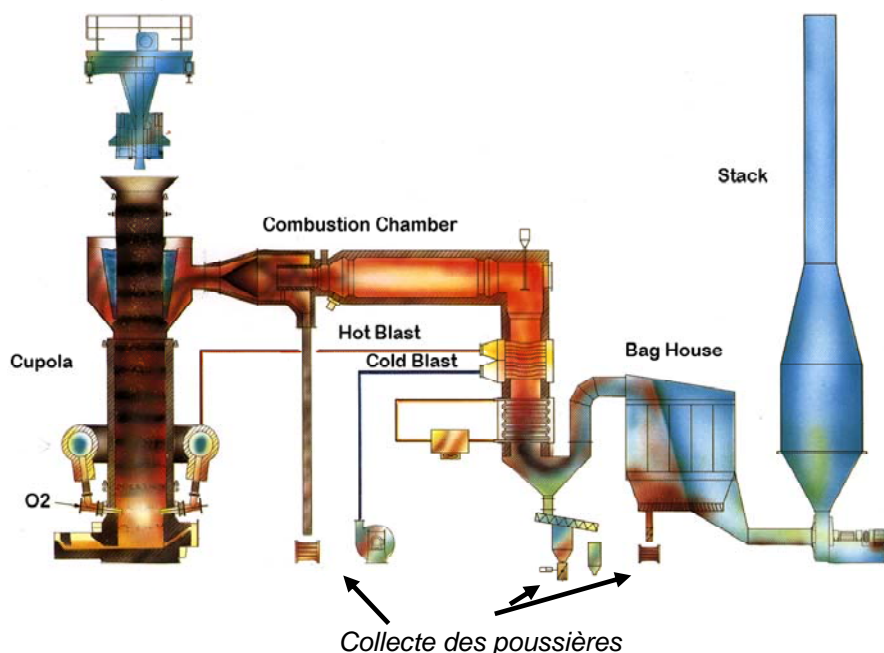
Il montre clairement que les caractéristiques demandées à la fonte sont conservées lors de l'enfournement de broyats de PUNR.

| Tableau 2 : Analyse des fontes 6 campagnes de mesures | | |
|---|-----------|------------|
| | SANS PNEU | AVEC PNEUS |
| Teneur en pneus moyenne | 0 | 0.87 |
| Nombre de périodes | 3 | 3 |
| Nombre d'analyses | 33 | 36 |
| Taux de coke moyen | 10.77 | 10.39 |
| Température moyenne (°C) | 1503 | 1491 |
| %C moyen | 3.23 | 3.24 |
| %Si moyen | 1.27 | 1.47 |
| %C équiv moyen | 3.92 | 3.92 |
| Profond. trempe moyen.(mm) | 12 | 11 |

La fonderie produit des contrepoids. Ce sont des pièces de carrosserie, c'est à dire qu'outre leur poids, leur forme, et leurs propriétés d'usinage, il faut absolument que la peau de pièce soit de grande qualité. La fonderie a observé une augmentation des défauts de surface simultanée à l'enfournement de broyats de PUNR. Cela pourrait être attribué à une forte teneur en soufre résultant partiellement de l'enfournement de broyats de PUNR.

7.C. Suivi des impacts environnementaux

Le système de traitement des fumées (Figure 10) est équipé d'un cyclone d'arrêt juste après l'anneau de captation des fumées.



Il y a ensuite une collecte des poussières dans le bas de la chambre de combustion verticale. Les fumées passent ensuite dans un filtre à manche. Le Tableau 3 montre les poussières produites lors de fusions avec et sans broyats lors de plusieurs campagnes de mesure. Elles sont du même ordre de grandeur. Les moyennes sont reprises au tableau 4 qui permet de comparer toutes les mesures avec et sans pneus.

| Tableau 3 : Poussières arrêtées | | | | | | |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Date | 05 juil 06 | 06 juil 06 | 10 mai 07 | 11 juil 07 | 18 oct 07 | 6 déc 07 |
| Débit du chargement (t/h) | 19.5 | 16.6 | 20.8 | 18.6 | 19.8 | 20.9 |
| Débit de vent (Nm ³ /h) | 12 500 | 11 000 | 13 000 | 11 500 | 12 500 | 12 500 |
| Débit d'oxygène (Nm ³ /h) | 270 | 270 | 360 | 269 | 284 | 433 |
| taux de combustibles (%) | 10.3 | 10.9 | 10.2 | 11.3 | 9.7 | 10.9 |
| taux de PUNR (%) | 1.07 | 0 | 0 | 0.67 | 0.87 | 0 |
| Pesée des poussières (kg/t enfournée) | | | | | | |
| cyclone | 1.31 | 1.00 | 1.92 | 2.40 | 0.18 | 0.24 |
| chambre de combustion | 3.87 | 3.61 | 0.96 | 10.80* | 1.37 | 1.19 |
| filtre | 12.47 | 11.03 | 11.54 | 11.60 | 17.00 | 16.49 |
| Total arrêté (kg/t enfournée) | 17.65 | 15.64 | 14.42 | 24.80 | 18.55 | 17.92 |
| passant à la cheminée (mg/Nm ³) | 4.67 | 3.99 | 7.20 | 6.60 | 8.70 | 14.00 |

* : La valeur très élevée de poussières à la chambre de combustion le 11 juillet résulte d'une erreur de pesée

| Tableau 4 : Poussières arrêtées : Synthèse | | |
|---|-------------------|-------------------|
| 6 campagnes de mesure | | |
| Cubilot | sans pneus | avec pneus |
| Débit du chargement moyen (t/h) | 19.4 | 19.3 |
| Débit de vent moyen (Nm3/h) | 12 167 | 12 167 |
| Débit d'oxygène moyen (Nm3/h) | 354 | 274 |
| taux de combustibles moyen (%) | 10.77 | 10.39 |
| taux de PUNR moyen (%) | 0 | 0.87 |
| Moyenne des pesées des poussières (kg/t enfournée) | | |
| cyclone | 1.05 | 1.30 |
| chambre de combustion | 1.92 | 5.35 |
| filtre | 13.02 | 13.69 |
| Total arrêté (kg/t enfournée) | 15.99 | 20.33 |
| cheminée (mg/Nm³) | 8.40 | 6.66 |

7.D. Influence de l'enfournement sur la stabilité du procédé

La fonderie coule sans arrêt du lundi matin au vendredi soir mais pas le week-end. Des procédures de redémarrage le lundi matin et d'arrêt le vendredi soir sont à respecter afin de pouvoir faire fonctionner le cubilot sans perturbation. Les broyats de PUNR sont chargés en même temps que les ferrailles particulières chargées par la fonderie.

La stabilité du cubilot n'est pas modifiée lors de l'enfournement de PUNR :

- La paillasse est maintenue ;
- La pression dans la boîte à vent n'est pas augmentée ;
- L'encrassement de la sole et la pr
- La régularité du chargement de broyats dépend du type de broyats ainsi que de l'appareil de chargement. Un bourrage à la trémie entraîne un arrêt complet du chargement, ce qui nécessite l'intervention du fondeur.

Le chargement de broyats de PUNR du mardi matin au jeudi soir durant plus de huit mois n'a pas entraîné de modification dans la stabilité de la fusion au cubilot, à l'exception du chargement. Une modification du système d'écoulement et de pesée de la trémie permettra d'assurer la régularité de ce chargement.

7.E. Influence de l'enfournement de pneus sur le débit de fonte

Lors des essais antérieurs, nous avons pu déterminer que le chargement de 1,05% de pneus permet de réduire le taux de petit coke de 0,6%. Mille kilogrammes de broyats remplacent 255 kilos de ferraille ainsi que 571 kilos de coke.

Cependant, l'enfournement de PUNR augmente la charge de travail de la chambre de post-combustion et de tout le système de traitement des fumées. Le système de traitement des fumées est le « bottle neck » de l'outil de fusion, avec ou sans pneus dans la charge.

Ces deux campagnes d'essais de six mois limitent l'enfournement de broyats de PUNR à 0,8% afin de limiter le travail supplémentaire du système de traitement des fumées. Dans un premier temps, nous considérons que la combustion des fumées est complète tant que la mesure du CO en rejet final installée par la fonderie est nulle. Nous déterminons le débit maximal de fonte en augmentant le débit de vent soufflé aux tuyères jusqu'à frôler la limite en CO. Lorsque du CO apparaît en rejet final, le vent est légèrement diminué. L'outil de fusion est à ce moment à son maximum de production.

Le tableau 5 reprend les débits moyens d'enfournement maximum avec et sans pneus établis sur six campagnes de mesure. Il y a peu de différence entre les débits enfournés. Cela peut en partie être attribué à la diminution du taux de coke lors de l'enfournement de pneus. Il faut remarquer que l'enfournement de 0,87% de broyats en moyenne a permis de réduire le taux de coke de 0,38%. D'autres paramètres sont intervenus, comme le changement de la charge métallique.

| Tableau 5 : Débit d'enfournement | | |
|---|-----------|------------|
| 6 campagnes de mesure | | |
| | SANS PNEU | AVEC PNEUS |
| Teneur en PUNR moyenne (%) | 0 | 0.87 |
| Nombre de périodes | 3 | 3 |
| Nombre d'analyses | 33 | 36 |
| Taux de coke moyen (%) | 10.77 | 10.39 |
| Température moyenne (°C) | 1503 | 1491 |
| Débit d'enfournement | 19.4 | 19.3 |

7.F. Impact de l'utilisation de broyats durant une longue durée sur les composants du système de traitement des fumées

Le cubilot à vent chaud de FMGC émet déjà de grandes quantités de CO à brûler dans la chambre de post-combustion. Ceci constitue le facteur limitant l'enfournement de broyats de PUNR.

Lors de ces premiers mois d'essais :

- Il y a eu parfois saturation de la chambre de combustion ;
- Il n'y a pas d'augmentation de la fréquence de nettoyage des conduites entre le gueulard du cubilot et la chambre de post-combustion ;
- L'efficacité des filtres est maintenue. Les teneurs en poussières en rejet final sont de 14,00 ng/Nm³ après six mois de chargement ;
- Il n'y a pas d'augmentation notable de la pression dans le filtre.
- Les modifications que la fonderie a apportées dans le système de traitement des fumées ont permis de réduire la charge de l'exhausteur en rejet final. Il suffit à évacuer les fumées lors de l'enfournement de PUNR.

Conclusion

L'enfournement de broyats de PUNR poids lourds au taux de 0,8% de la charge métallique est possible. Ceci permet de réduire le taux de coke d'un peu moins de 0,4%. Le débit de métal enfourné est légèrement réduit. La fonte coulée conserve les propriétés requises.

L'utilisation de lots de broyats de PUNR différents a montré que les pneus sont à considérer comme une matière première. Leur préparation a beaucoup d'influence sur leur possibilité d'utilisation. La méthode d'analyse Visiopur© permet de classer cette nouvelle matière première. La fonderie FMGC et Aliapur connaîtront au terme de ces deux périodes d'essais de six mois les avantages et les coûts de l'enfournement de PUNR.

Bibliographie

- [1] D. Brémond ; "Filières de valorisation des pneus usagés : état des lieux et évolutions" Journée technique nationale "Nouveaux Produits, nouvelles applications issues des pneumatiques usagés", 16 octobre 2007, Paris
- [2] J.-P. Gorez, B. Gros, J.-P. Pirat, et al. « Charging tires in the EAF as a substitute to carbon », La Revue de Métallurgie, Janvier 2003, pp 17-23
- [3] P. Ayed, C. Clauzade, B. Gros, J.-C. Huber, C. Lebrun and N. Vassart ; "Substitution de pneus usagés à l'antracite en EAF – Des résultats positifs pour LME et Industeel B" ; 27^e Journées sidérurgiques internationales, Paris, 14-15 décembre 2006
- [4] CTIF, « Essais de substitution de coke par des pneumatiques », rapport interne CTIF, diffusion restreinte, 1985
- [5] CTIF, « Injection de déchets de pneumatiques au cubilot », rapport final de l'étude 6H605, diffusion restreinte, 1994
- [6] R.H. Nafziger, « Combustibles de substitution utilisés pour la marche des cubilots », Transactions AFS, 1991, vol 99
- [7] G. Tihon ; "Introduction de pneumatiques dans les cubilots" ; Convention Ademe N°03 74 043 ; octobre 2005
- [8] G. Tihon, J.-M. Dracon, M. Fleuriot ; "La valorisation de pneus usagés au cubilot" ; Fonderie-Fondeur d'aujourd'hui, N°255, Mai 2006, pp 22-37
- [9] G. Tihon, J.-M. Dracon ; "Charging end of life tyres in two French hot blast cupolas – Different aspects including process control" ; Proceedings of the XI International meeting on Foundry processes and cupolas, Santander, 19th and 20th October 2006
- [10] G. Tihon ; "Validation industrielle de l'utilisation de pneumatiques comme matière première dans les cubilots vents chauds", Rapport confidentiel, septembre 2006
- [11] G. Tihon, G. Thuet, "Valorisation du métal et du noir de carbone des PUNR dans de la fonte" ; Journée technique nationale "Nouveaux Produits, nouvelles applications issues des pneumatiques usagés", 16 octobre 2007, Paris