

# UTILISATION DES COPRODUITS INDUSTRIELS UN EXEMPLE D'ÉCONOMIE CIRCULAIRE

Dans un contexte de disponibilité limitée des matières premières, le développement de l'économie circulaire devient une nécessité. Les coproduits industriels peuvent ainsi être traités en matériaux alternatifs innovants pour la construction des infrastructures et des bâtiments.



Halle de stockage des mâchefers sur le site de Lagny-sur-Marne.

© YPHEVIA

## L'Afoco

L'Association française des opérateurs sur coproduits industriels (Afoco) encourage une utilisation généralisée des coproduits dans tous les secteurs de l'industrie. Ses membres collectent, puis valorisent les coproduits industriels. En parallèle, ils développent des domaines d'application innovants pour l'usage de ces matériaux alternatifs. <http://www.afoco.org>

La nécessité de faire disparaître les flux des coproduits générés par l'industrie n'est plus à démontrer. Les coûts de production, et notamment les dépenses d'énergie, la préservation nécessaire des ressources naturelles et les enjeux environnementaux sont à l'origine d'une démarche générale de revalorisation des coproduits en leur assurant une utilité à part entière dans le circuit économique. Cette démarche, qualifiée aujourd'hui d'économie circulaire, n'est rendue possible que par la transformation de ces coproduits en de nouveaux matériaux alternatifs présentant une réelle utilité technique et économique.

## LES MATÉRIAUX ALTERNATIFS DANS L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE

Les acteurs de l'économie circulaire sont des entreprises qui se sont spécialisées :

- dans la prise en charge intégrale des coproduits dès leur apparition dans les cycles de fabrication industriels (lors de la coulée de la fonte, de l'acier par exemple, ou encore des cendres volantes issues de centrales électriques) ;
- dans la récupération des résidus de déconstruction (ou démolition) de bâtiments industriels, qu'il s'agisse de démolitions totales ou simplement de remplacement de matériaux d'usure, comme les garnitures de réfractaires dans les fours de la sidérurgie, de la métallurgie, des cimenteries et de l'industrie verrière.

On peut décomposer l'action de ces entrepreneurs, qualifiés d'opérateurs sur les coproduits industriels, en 3 phases :

- Garantir l'évacuation et le recyclage des déchets de déconstruction dans les meilleures conditions de sécurité, de respect de l'environnement et de coût, avec un minimum de gêne pour le producteur.
- Assurer la remise sur le marché des coproduits industriels récupérés sous la forme de nouveaux matériaux alternatifs répondant à des critères techniques, environnementaux et économiques, ce qui implique :
  - l'identification des marchés potentiels de matériaux, démarche à la fois technique et commerciale ;
  - la mise au point des process de fabrication permettant la transformation de ces coproduits en de nouveaux produits, avec des spécifications précises et garanties, compatibles avec des normes et cahiers des charges en vigueur.
- Mettre en œuvre ces process dans des installations adéquates et conformes aux règlements administratifs souvent très contraignants, s'agissant de matériaux sur lesquels plane toujours l'image de « déchet ». Ces installations sont généralement équipées de laboratoires de contrôle ou font appel à des laboratoires extérieurs indépendants.

## NATURE DES COPRODUITS INDUSTRIELS

Un coproduit industriel est un déchet qui apparaît au cours d'un process industriel pour la fabrication d'un produit fini, et qui après traitement, donne lieu à un matériau alternatif.

## AUTEUR

**Michel Gitzhofer**  
Président  
Association française des opérateurs  
sur coproduits industriels (Afoco)

En France, la production annuelle de coproduits industriels représente environ 10 millions de tonnes (**tableau 1**), avec un stock historique de 73 millions de tonnes, à comparer à la production annuelle de granulats naturels, qui est de l'ordre de 280 millions de tonnes. Cette production industrielle est pérenne, ce qui donne une vue à long terme permettant des investissements lourds, par des opérateurs spécialisés, avec :

- des installations performantes, de haute technicité, à proximité des sites de production ;
- une forte exigence de qualité ;
- des contrôles identiques à ceux des matériaux naturels ;
- une politique de recherche et d'innovation, facteur-clé pour faire évoluer les techniques utilisées.

Deux exemples de valorisation de coproduits sont présentés sommairement : le premier concerne les laitiers d'aciérie électrique, le second les mâchefers.

### LE CAS DES LAITIERS D'ACIÉRIE ÉLECTRIQUE

Les laitiers sidérurgiques, matières minérales artificielles issues de la fabrication de l'acier, diffèrent selon les filières d'élaboration de l'acier : filière fonte (ou « minerai de fer ») ou filière électrique (ou « ferraille »).

La société Ugitech, qui produit de l'acier inoxydable à Ugine (73), confrontée depuis de nombreuses années à la difficulté de valoriser ses laitiers, voyait sa capacité de stockage de ces produits approcher de la saturation et les coûts associés s'accroître. À partir de 2008, elle a constitué un groupe de travail interne et la R & D a fourni un effort particulier pour valoriser les laitiers :

- par un travail interne sur la stabilisation des laitiers de convertisseurs AOD (Argon oxygène décarburisation) : investissements dans l'outil de production des laitiers, modification minéralogique et maîtrise du refroidissement principalement ;
- par une thèse sur la valorisation des laitiers comme granulats dans le béton<sup>1</sup>.

En 2012, après avoir intégré cette nouvelle méthode de production et réussi à livrer des laitiers de qualité, Ugitech a lancé un appel d'offres afin de modifier les outils de transformation des laitiers en agrégats. Le critère principal de choix d'Ugitech, qui a retenu l'entreprise Harsco Metals & Minerals France en 2014, porte alors sur l'investissement dans une réelle « carrière de laitier ».

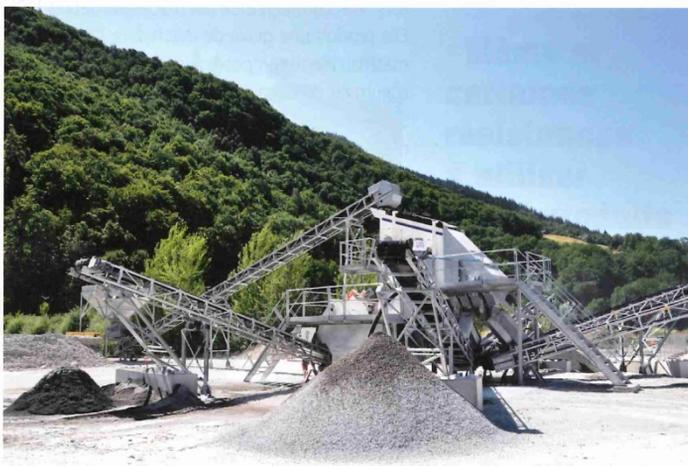
C'est ainsi qu'est née, en 2015, la carrière de Marthod, à proximité d'Ugines (**photo 1**). Grâce à la mise en place d'une politique qualité rigoureuse et à une communication efficace autour des nouveaux agrégats ou granulats de laitiers, l'image des laitiers Ugitech a complètement changé. Hier, c'était encore une ressource économique pour faire des chantiers performants. Aujourd'hui, c'est une des carrières les plus réputées de la région pour servir des travaux de voirie exigeants.

–**Tableau 1**–  
Gisement des coproduits industriels en France (chiffres de 2014).

Matériaux	Production annuelle	Stocks historiques
Laitiers de hauts-fourneaux dont :	3 400 000 t/an	25 000 000 t
fraîche production de laitiers cristallisés et	400 000 t/an	
fraîche production de laitiers granulés*	3 000 000 t/an	
Laitiers d'aciérie de conversion	1 250 000 t/an	16 000 000 t
Laitiers d'aciérie filière électrique	750 000 t/an	1 000 000 t
Cendres volantes	700 000 t/an	8 000 000 t
Schistes		13 000 000 t
Mâchefers	3 000 000 t/an	
Résidus de bauxite	300 000 t/an	10 000 000 t
Réfractaires usagés	50 000 t/an	-
Sables de fonderie	300 000 t/an	-
<b>Total</b>	<b>9 750 000 t/an</b>	<b>73 000 000 t</b>

\* Fraîche production, c'est-à-dire qu'elle ne passe pas par un stockage à moyen terme.

–**Photo 1**–  
Carrière de Marthod, à proximité d'Ugines (73).



© HARSCO METALS & MINERALS

La carrière de Marthod diversifie ses activités en participant activement à la valorisation des déblais de curage des cours d'eaux alentours (Arly principalement).

### LE CAS DES MÂCHEFERS

Les MIDND (mâchefers issus de l'incinération de déchets non dangereux) précédemment nommés MIOM (mâchefers d'incinération d'ordures ménagères) sont les résidus solides issus de la combustion de la fraction non triée des ordures ménagères collectée par le service public, plus ou moins mélangée à des déchets d'entreprises (artisans, commerçants) et administrations.

Ils sont composés de divers éléments : verre, silice, alumine, calcaire, chaux, métaux ferreux et non ferreux, sodium, eau et composés organiques. Suite à un traitement de recyclage, ces mâchefers peuvent être utilisés en tant que produits en technique routière.

#### La carrière de Marthod en chiffres :

- capacité de production : 45 à 90 000 tonnes/an
- 11 salariés

#### Gamme de produits :

- graves routières D3 en matériaux de types 1 et 3 (Sétra 1101 et 1226)
- gamme Ugiroc : agrégats de laitiers pour les bétons et les enrobés
- gamme de produits naturels : sable technique, drainants...

## Mâchefers et écologie industrielle

Le site de Lagny-sur-Marne (77) est un bel exemple d'écologie industrielle et territoriale mis en place par Yprema. Divers échanges y ont lieu afin de réduire la production de déchets :

- Yprema récupère les mâchefers issus de l'incinération d'ordures ménagères de l'incinérateur par traction hippomobile d'une péniche afin de les transformer en produits de technique routière.

- Les eaux d'égoutture issues de la maturation des mâchefers sont renvoyées par Yprema à l'incinérateur pour éteindre les mâchefers.

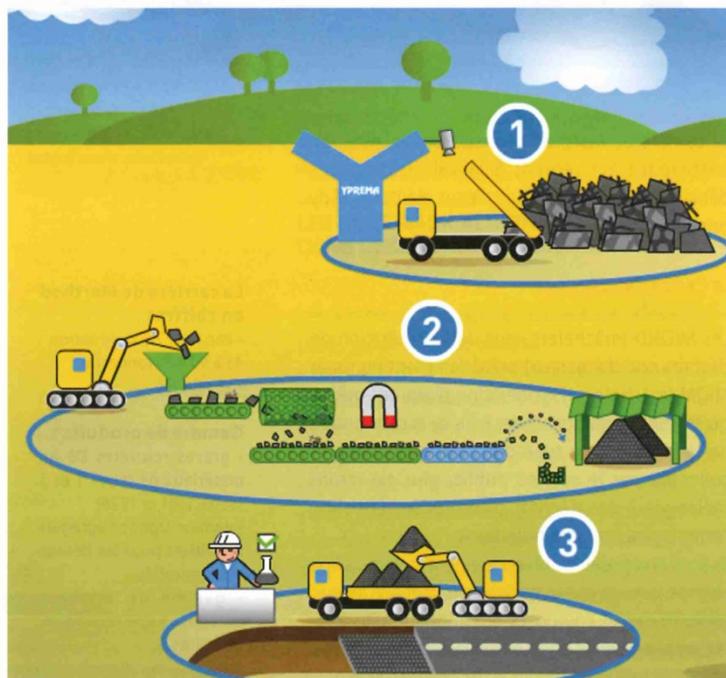
La coopération entre les entreprises permet d'éviter la production de déchets et le rejet d'eaux en les réutilisant, ce qui présente des avantages : les mâchefers issus de l'incinération des ordures ménagères sont recyclés en matériaux de construction, utilisés pour les remblais, alors que l'eau fait partie d'un schéma d'échanges entre industries. Dans les deux cas, la production de déchets et la consommation de matières premières sont réduites.

Depuis 1995, Yprema a produit plus de 1 million de tonnes de mâchefers, ce qui contribue à limiter la mise en décharge de matériaux recyclables et la préservation des ressources naturelles.

Ainsi, la société Yprema, leader du traitement des matériaux issus de la ville et de la déconstruction, recycle et commercialise des mâchefers depuis 1995. Elle produit une grave de mâchefers, l'Eco Grave®, matériau inerte composé pour plus de 80 % de silice, d'alumine, de calcaire et de chaux (figure 1).

Sur les centrales d'Yprema, après réception de la matière brute<sup>1</sup>, les plus gros blocs sont réduits par concassage et les mâchefers sont séparés en fonction de leur taille par criblage. Les métaux ferreux sont enlevés grâce à un overband, les non-ferreux grâce à un courant de Foucault<sup>2</sup>. Le matériau est ensuite placé sous une halle de stockage afin de maîtriser la teneur en eau lors de la phase de maturation naturelle<sup>3</sup>.

-Figure 1-  
Processus de recyclage  
des mâchefers.



La totalité de la centrale de recyclage des mâchefers repose sur une membrane permettant la récupération des eaux de ruissellement dans un bassin. Ces eaux sont ensuite analysées et traitées si besoin.

Une fois recyclée, l'Eco Grave® possède les caractéristiques géotechniques idéales pour des utilisations en technique routière : remblais, enrobage de réseaux, couche de forme et de fondation de voirie, liaisons douces...

## DOMAINES D'EMPLOI DES MATÉRIEAUX ALTERNATIFS

Lorsqu'ils se substituent aux granulats, les matériaux alternatifs sont utilisés dans la construction des infrastructures et dans le bâtiment. À ce titre, il est possible de mentionner les applications routières, la construction et le renforcement de digues et de berges, les aménagements forestiers et les pistes de sport (tableau 2 et figure 2).

Les propriétés d'hydraulicité des laitiers sont utilisées pour la fabrication de liants routiers. Ils peuvent également entrer dans la composition des ciments et des bétons. Parmi les autres applications, on peut citer :

- les fertilisants pour l'agriculture ;
- le traitement des eaux ;
- les matières premières pour l'industrie verrière ;
- les matériaux isolants ;
- et les matières premières recomposées pour la sidérurgie, ce qui est un exemple abouti d'économie circulaire.

La valorisation des coproduits exige une garantie constante de qualité au niveau de la production et au cours de la mise en œuvre. La validation d'une filière de valorisation passe par :

- une caractérisation environnementale qui assure que le matériau est éco-compatible, avec absence de pollution du milieu par l'ouvrage ;
- une caractérisation mécanique qui garantit la qualité et la durabilité de l'ouvrage. En effet, les coproduits valorisés sont en compétition avec des matériaux neufs.

L'utilisation des matériaux est faite dans un contexte réglementaire fort avec des guides techniques ou méthodologiques qui définissent les matériaux et leurs usages :

- Le guide méthodologique *Acceptabilité environnementale de matériaux alternatifs en technique routière – Évaluation environnementale*<sup>2</sup> fournit une démarche concernant l'acceptabilité environnementale.
- Les guides relatifs aux laitiers sidérurgiques<sup>3</sup> et aux mâchefers<sup>4</sup> constituent la déclinaison opérationnelle du guide méthodologique pour ces deux catégories de matériaux.

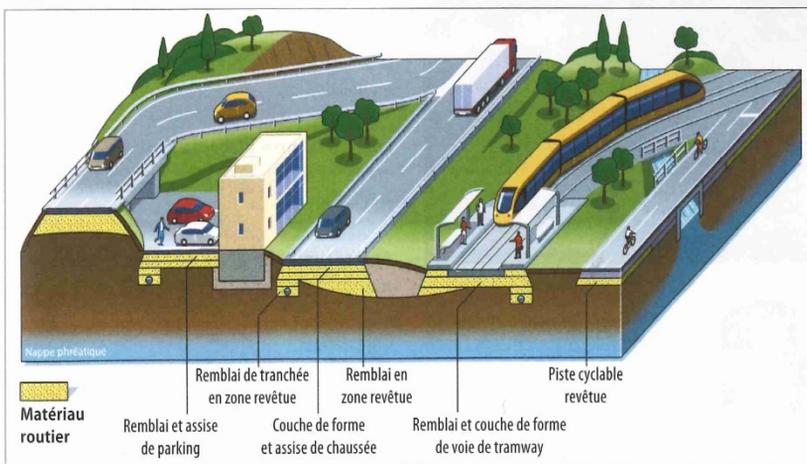
Les usages routiers correspondants de types 1, 2 et 3 pour les laitiers et de types 1 et 2 pour les mâchefers d'incinération sont définis dans les guides.

	Remblais	Couches de forme	Assises de chaussées	Couches de roulement	Enduits superficiels	Liants routiers	Ciments	Assainissement	Sols sportifs	Parages	Constructions hydrauliques
Laitiers de hauts-fourneaux dont fraîche production de laitiers cristallisés et fraîche production de laitiers granulés	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X
Laitiers d'aciérie de conversion	X	X	X			X	X				
Laitiers d'aciérie filière électrique	X	X	X	X	X			X		X	X
Cendres volantes	X	X*	X*			X	X				
Schistes	X	X	X					X	X		
Mâchefers	X	X	X*								
Résidus de bauxite	X	X*									
Réfractaires usagés	X	X									
Sables de fonderie	X	X*	X*							X	

**-Tableau 2-**  
Domaines d'emploi des matériaux alternatifs.

\* Avec traitement aux liants hydrauliques.

**-Figure 2-**  
Usages routiers "type 1"



Source : Acceptabilité environnementale de matériaux alternatifs en technique routière - Laitiers sidérurgiques.

**« Même si certaines résistances à utiliser les coproduits industriels en technique routière subsistent, leur valorisation présente de nombreux avantages. »**

**CONCLUSION**

Certaines réticences à utiliser ces matériaux subsistent :

- La sortie du statut de déchet n'est pas finalisée pour les laitiers et les matériaux réfractaires, ce qui freine leur utilisation.
- La reconnaissance par les prescripteurs reste insuffisante.
- Leur prix de vente est comparable à celui des matériaux traditionnels.

Pourtant, la valorisation des coproduits présente de nombreux avantages :

- Il s'agit de ressources industrielles de proximité.
- Les matériaux produits sont de qualité, avec des caractéristiques environnementales qui répondent aux spécifications pour une maîtrise des impacts

environnementaux et des caractéristiques mécaniques constantes et homogènes.

- Les ressources minérales naturelles sont préservées.
- La valorisation permet d'économiser les frais de décharge et la taxe générale sur les activités polluantes (TGAP) (0,20 € la tonne en France).
- C'est une contribution à l'économie circulaire. ■

**RÉFÉRENCES**

1. Gildas Adegoloye, Valorisation des laitiers issus de l'élaboration d'aciers inoxydables comme granulats dans le béton, thèse de doctorat, université de Cergy-Pontoise.
2. Acceptabilité environnementale de matériaux alternatifs en technique routière - Evaluation environnementale, Sétra, mars 2011.
3. Acceptabilité environnementale de matériaux alternatifs en technique routière - Laitiers sidérurgiques, Sétra, octobre 2012.
4. Acceptabilité environnementale de matériaux alternatifs en technique routière - Mâchefers d'incinération de déchets non dangereux (MIDND), en cours de publication.