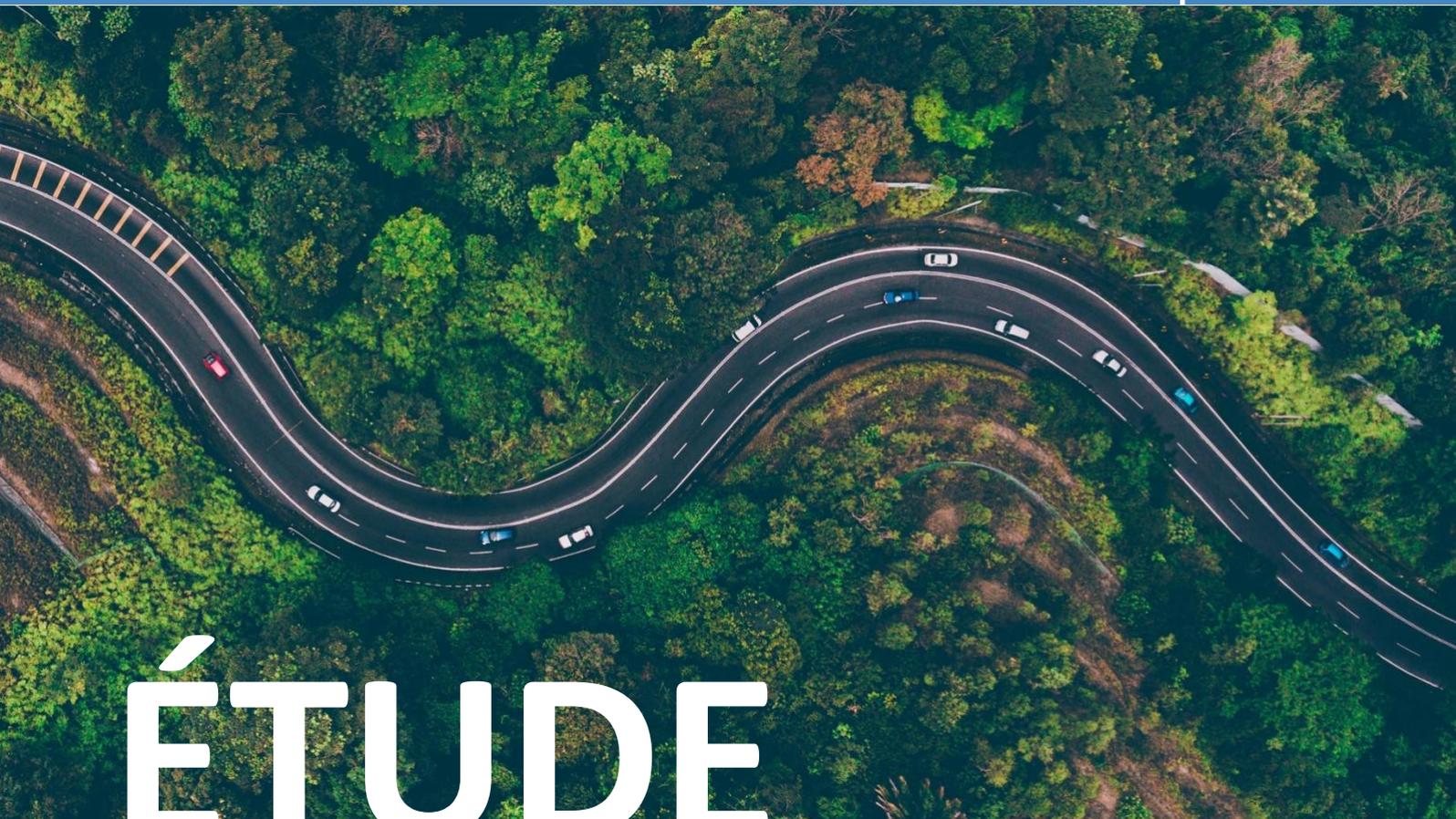


Mars 2020



ÉTUDE

LA VALORISATION DES MACHEFERS

Une technique d'économie circulaire
inscrite dans les territoires



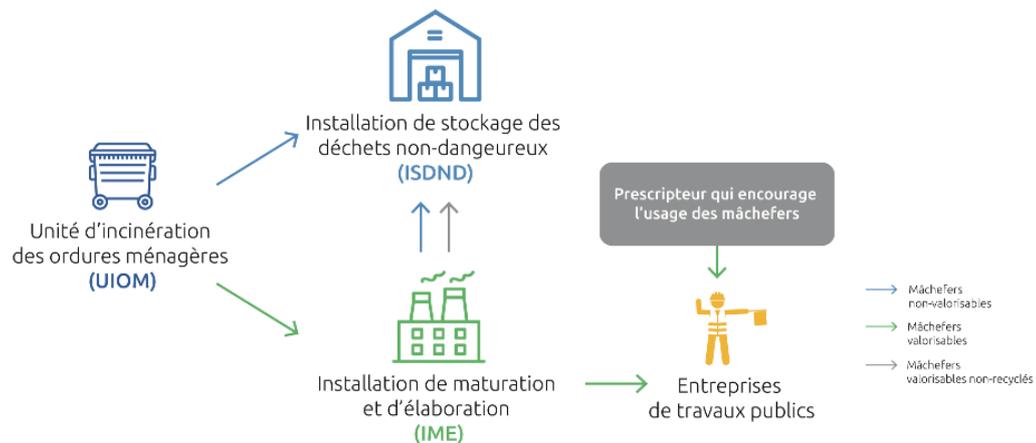
Institut National
de l'Économie
Circulaire

LA VALORISATION DES MÂCHEFERS : UNE TECHNIQUE D'ÉCONOMIE CIRCULAIRE INSCRITE DANS LES TERRITOIRES

Qu'est-ce que les mâchefers ?

Les graves de mâchefers sont des résidus solides d'incinération de déchets non dangereux, principalement valorisés en tant que matériaux alternatifs en sous-couches routières.

— Environ **3 millions de tonnes/an de mâchefers** sont produites chaque année en France. —



Quelle réglementation s'applique ?

La valorisation des mâchefers est encadrée en France pour les usages routiers dans l'arrêté du **18 novembre 2011** relatif au recyclage en technique routière des mâchefers d'incinération de déchets non dangereux. **Deux cas de valorisation** des mâchefers y sont décrits :

- en sous-couche de chaussée ou d'accotement d'ouvrages revêtus
- ou en remblai technique d'ouvrages recouverts.

À l'échelle européenne, la valorisation des mâchefers est globalement encadrée par la **directive déchets** mais il n'existe pas de réglementation spécifique dédiée à la filière.

Les freins à l'utilisation des mâchefers en France

En France, la valorisation des mâchefers est marquée par **des disparités régionales**. Une partie des graves de mâchefers est envoyée en ISDND au lieu d'être utilisée par des entreprises de TP. Les principaux **freins** rencontrés par la filière sont les suivants :

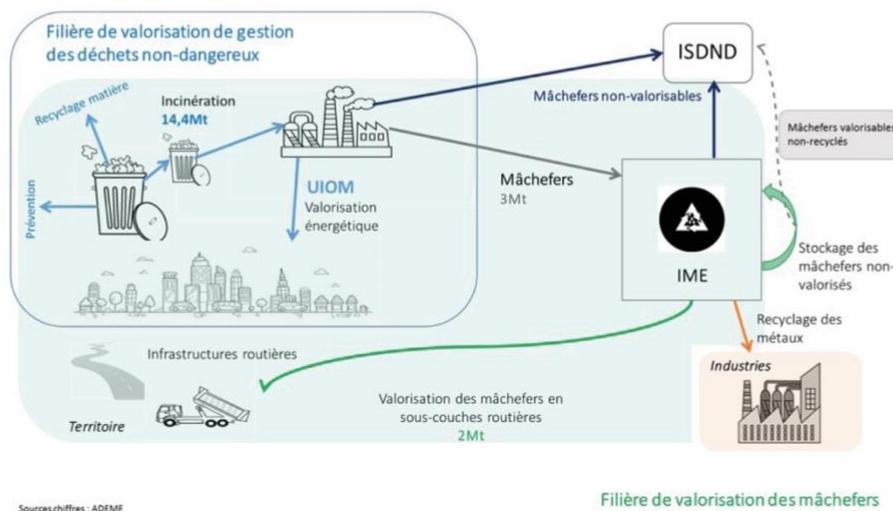
- ⊖ Une mauvaise qualité perçue du matériau
- ⊖ Des possibilités d'usage non-exploitées (par exemple, en béton non-structurants)
- ⊖ Des contraintes administratives liées au stockage temporaire des mâchefers en IME (durée de 3ans maximum, quantité, etc.)
- ⊖ Un manque de volonté politique

LA VALORISATION DES MACHEFERS : UNE TECHNIQUE D'ÉCONOMIE CIRCULAIRE INSCRITE DANS LES TERRITOIRES

La valorisation des mâchefers : boucle d'économie circulaire territoriale

Pourtant, le recyclage des graves de mâchefers s'inscrit dans les principes d'économie circulaire :

- ➕ Réduction de l'extraction de matières premières
- ➕ Réduction de l'enfouissement
- ➕ Optimisation de la gestion des déchets
- ➕ Création de valeur économique locale



La valorisation des mâchefers en techniques routières doit s'inscrire **à l'échelle locale** et en adéquation avec **la hiérarchie préférentielle de traitement des déchets** pour permettre une gestion optimale des ressources.

La prévention des déchets doit rester **la priorité** des territoires, la filière de valorisation des mâchefers permettant à moyen terme de valoriser les déchets ultimes issus de l'incinération des ordures ménagères résiduelles.

Les déchets produits **localement** sont valorisés dans le cadre de travaux publics réalisés sur le territoire.

La récupération des métaux ferreux et non-ferreux permet d'alimenter les filières de recyclage.

LES RECOMMANDATIONS DE L'INEC

- ➊ Diversifier **les voies de valorisation** et les encadrer juridiquement
- ➋ Sensibiliser pour améliorer **qualité perçue** du mâchefer
- ➌ Encourager **le portage politique** des maîtres d'ouvrage et créer des clauses types à destination des acheteurs
- ➍ Actionner **des soutiens financiers** (réduction de la TVA sur les matières premières secondaires), sans affecter la qualité perçue du mâchefer
- ➎ Veiller à **la traçabilité** et à **l'innocuité** des mâchefers

ÉDITO



Depuis 2020, la France est dotée d'une loi relative à l'économie circulaire. Celle-ci renforce les objectifs de réduction des quantités de déchets enfouis. La mise en décharge sera progressivement interdite, au profit des opérations de prévention, de réemploi et de recyclage des déchets, en cohérence avec la hiérarchie préférentielle de traitement ancrée dans les réglementations française et européenne.

Dans ce cadre, la valorisation des mâchefers doit faire l'objet d'une plus grande considération, notamment par les maîtres d'ouvrage qui peuvent encourager leur utilisation via les cahiers des charges. Lorsqu'elle est opérée localement par des opérateurs compétents, la valorisation des graves de mâchefers s'inscrit pleinement dans les principes de l'économie circulaire : intelligence territoriale et décloisonnement des filières, prévention des déchets et optimisation de ressources locales.

Les graves de mâchefers alimentent aujourd'hui les filières de recyclage, via la récupération de métaux ferreux et non-ferreux, et permettent d'économiser des matières minérales qui sont de moins en moins disponibles dans certaines régions. A ce titre, le métabolisme territorial de la région Ile-de-France est révélateur d'une certaine dépendance à des territoires éloignés : la

dernière thèse en date précise que l'approvisionnement pour les granulats se fait à une distance moyenne de 150 km en 2017 dans cette région. L'incorporation des mâchefers, lorsqu'elle fait l'objet de contrôles et d'une traçabilité en accord avec la réglementation environnementale, permet de réduire l'extraction et les importations de matières vierges.

La réglementation française relative aux graves de mâchefers promeut uniquement les usages en techniques routières. Néanmoins, plusieurs pays européens ont développé d'autres voies de valorisation à plus haute valeur ajoutée (Danemark, Italie, etc.). Afin d'améliorer la qualité perçue du matériau, la réglementation française pourrait ouvrir à une diversification des voies de valorisation. C'est l'objet de cette présente étude, qui relève l'état actuel et les potentiels usages des mâchefers en France.

Ce travail de recherche, qui a mobilisé les différents acteurs de la filière (entreprises productrices, gestionnaires des déchets, maîtres d'ouvrage publics, entreprises innovantes développant de nouveaux usages, etc.), vise à mettre en lumière une pratique qui s'inscrit depuis de nombreuses années dans une démarche d'amélioration continue au service de la transition vers l'économie circulaire.

François-Michel Lambert

Président de l'INEC

INTRODUCTION

L'usage des mâchefers, résidus solides issus de l'incinération des déchets non-dangereux, constitue une solution d'économie circulaire dans la mesure où elle permet de valoriser des déchets ultimes en substitution de matières vierges et transformées (sables, granulats, bétons, etc.).

La filière historique de valorisation des mâchefers consiste à utiliser ces matériaux en techniques routières. Des réglementations cadrent cet usage depuis 1994 et le niveau des exigences environnementales n'a cessé d'augmenter. Si l'innocuité environnementale des mâchefers s'en retrouve améliorée, cela n'a pas suffi à convaincre tous les maîtres d'ouvrages publics et privés de l'intérêt d'utiliser ce matériau et à en simplifier l'usage. La filière est aujourd'hui confrontée à des freins en termes de mise en œuvre (acceptabilité, complexité administrative, concurrence des matières vierges et autres matériaux alternatifs, etc.). La qualité perçue du matériau reste un enjeu prédominant.

La présente étude vise à caractériser l'ancrage de la filière dans le cadre de la transition vers l'économie circulaire. Elle réalise pour cela un état des lieux de la filière en France (usages, réglementation), évalue la contribution de la filière aux objectifs de politiques publiques environnementales, et référence les principaux freins et leviers à son développement. Plusieurs retours d'expériences viennent illustrer les propos au fur et à mesure de l'étude.

Rédaction et contacts

Adrian Deboutière, Responsable Etudes et Territoires, INEC

adrian@institut-economie-circulaire.fr

Amélie Vaz, Chargée d'études, INEC

a.vaz@institut-economie-circulaire.fr

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION	5
I. Les mâchefers, résidus d'incinération valorisables	8
A. Production et valorisation des mâchefers d'incinération de déchets non-dangereux	8
1. La chaîne de traitement et de valorisation des mâchefers	8
2. Des matériaux aux qualités géotechniques exploitables.....	9
B. Le cas de l'usage routier.....	12
C. Autres usages (actuels et R&D).....	15
1. Les autres usages en cours de déploiement	15
2. Des modes de traitement en constante amélioration pour faciliter des voies de valorisation à plus haute valeur ajoutée.....	18
II. Les mâchefers comme solution d'économie circulaire	20
Rappels sur l'économie circulaire et le recyclage	20
A. La filière de valorisation des mâchefers dans la hiérarchie préférentielle de traitement des déchets.....	23
B. La valorisation des graves de mâchefers au prisme des autres piliers de l'économie circulaire	25
Retour d'expérience : la Communauté urbaine du Grand Reims (CuGR)	31
III. Contribution de la filière aux objectifs des politiques publiques	32
A. Le découplage progressif de la production de richesses et de la consommation de matières 32	
B. Le réemploi et le recyclage dans les chantiers routiers de l'Etat	33
C. La réduction de l'enfouissement des déchets	33
D. Bénéfices socio-économiques et environnementaux potentiels	35
IV. État des lieux en France et en Europe	39
A. État des lieux réglementaire	39
1. L'évolution de la réglementation en 2011-2012 en France.....	39
2. Benchmark international	44
B. État des lieux de l'utilisation des mâchefers en France	46
1. Bilan quantitatif de la valorisation des mâchefers	46
2. Disparités régionales dans la valorisation des mâchefers	49
V. Freins et leviers à la valorisation des mâchefers	51

A. Freins sociétaux et leviers	51
B. Freins réglementaires et freins techniques et leviers correspondants	57
C. Freins économiques et leviers.....	62
Conclusion et recommandations	66
Annexes	68
Annexe 1 : Critères à respecter pour le recyclage en technique routière de mâchefers d'incinération d'ordures ménagères, 2011.....	68
Annexe 2 : Valeurs limites à respecter (comportement à la lixiviation et teneur intrinsèque en polluants), Guide Setra, 2012.....	70
Annexe 3 : modèles d'appel d'offres	71
Références bibliographiques.....	83
Rapports	83
Références juridiques.....	84
Articles.....	85
Entretiens	85
PRÉSENTATION DE L'INSTITUT NATIONAL DE L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE	86

I. Les mâchefers, résidus d'incinération valorisables

Les mâchefers sont les résidus solides qui résultent de la combustion en sortie basse du four d'incinération des déchets ménagers. Ils présentent des caractéristiques géotechniques intéressantes qui leur permettent d'être utilisés, après traitement, comme des matériaux de substitution à des matériaux vierges. Le principal débouché lié à la valorisation des graves de mâchefers est un usage en sous-couche routière, bien encadré par la réglementation. D'autres usages peuvent cependant être envisagés et concourir à améliorer la valeur ajoutée issue de la filière.

A. Production et valorisation des mâchefers d'incinération de déchets non-dangereux

1. La chaîne de traitement et de valorisation des mâchefers

Les mâchefers sont des résidus solides d'incinération de déchets non dangereux. Les mâchefers d'incinération de déchets non dangereux (MIDND) sont définis dans l'article 2 de l'arrêté du 18 novembre 2011 relatif au recyclage en technique routière des MIDND comme des « **déchets provenant de l'extraction des matières solides en sortie du four des installations de traitement thermique de déchets non dangereux** »¹.

En 2018, on recense 126 installations de traitement thermique de déchets non dangereux (UIOM) en France². Celles-ci traitent 14,5 millions de tonnes (Mt) de déchets par an et produisent 3 Mt de mâchefers. Les graves de mâchefers représentent donc 20 à 25% du tonnage des déchets en entrée d'UIOM et 10% en volume³.

En sortie d'incinérateurs, ils sont orientés vers les Installations de Maturation et d'Elaboration (IME) pour être soumis à un ensemble de traitements, afin de les rendre utilisables. Les IME sont pour certaines directement intégrées à des UIOM, ou possèdent leur site propre. Après ce passage des résidus d'incinération en IME, le matériau devient une grave de mâchefers, au sein de laquelle les métaux et imbrûlés de grandes tailles ont été extraits. Les graves de mâchefers représentent 90 à 95% du mâchefer total⁴.

¹ Arrêté du 18 novembre 2011 relatif au recyclage en technique routière des mâchefers d'incinération de déchets non dangereux

² AMORCE, ANGM, UNPG, *Etat des lieux du recyclage des mâchefers en France*, 2018, p.6

³ Présentation AMORCE, SYCTOM, « Les mâchefers, Définition, Chiffres Clés », juin 2018, p. 26

⁴ AMORCE, SYCTOM, *Ibid.*, juin 2018, p. 26

A la suite de la phase d'élaboration, les graves de mâchefers seront valorisables si leur composition respecte les exigences environnementales : elles peuvent alors servir à certains types de travaux publics. A défaut, les graves valorisables peuvent être stockées trois ans dans les IME. En cas de non-conformité, les graves seront envoyées vers les Installations de Stockage des Déchets Non Dangereux (ISDND).

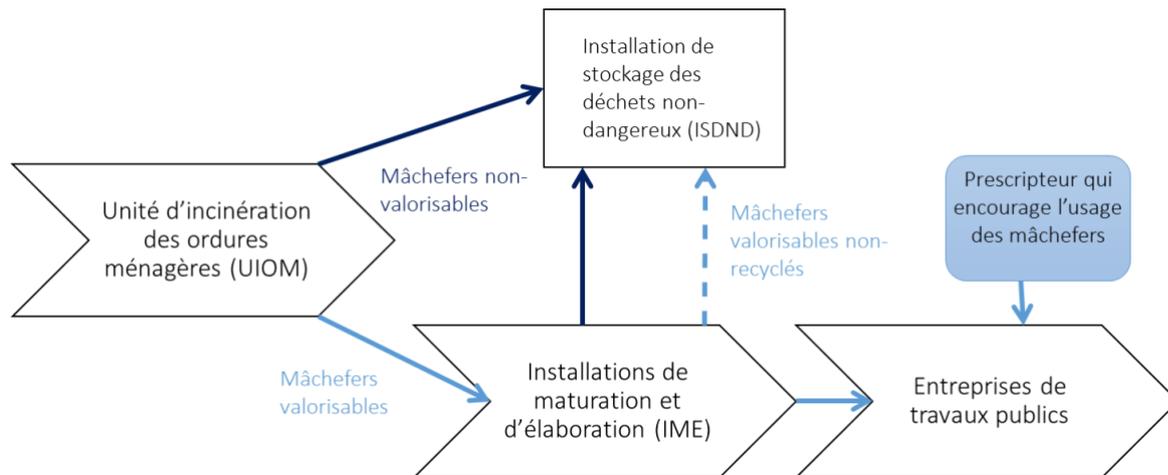


Figure 1. Chaîne de traitement et de valorisation des mâchefers.

2. Des matériaux aux qualités géotechniques exploitables

La composition chimique de ces matériaux permet d'envisager leur usage technique en substitution de minéraux extraits de carrière. Ils sont en effet très riches en matières minérales (silicium, aluminium, calcium) contiennent beaucoup d'eau et une part minime de métaux ferreux et non-ferreux⁵.

⁵ AMORCE, ADEME, « Recueil d'exemples de chantiers ayant valorisé des mâchefers », décembre 2014, p. 5

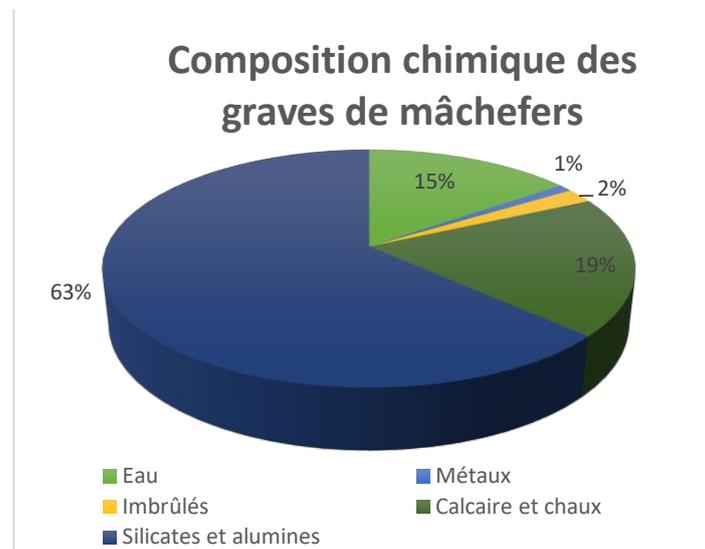


Figure 2. Composition chimique des graves de mâchefers.

Source : Guide Setra, 2012.

Pour produire des mâchefers valorisables, plusieurs étapes de préparation sont essentielles. Il faut d'abord extraire les métaux ferreux et non-ferreux, ainsi que les imbrûlés légers de grande taille. Les différentes extractions, réalisées par criblage et concassage, permettent de récupérer 8 à 9% de métaux ferreux et entre 0,5% et 1% de métaux non-ferreux⁶. Ces opérations sont généralement réalisées dans des IME, majoritairement séparées du site de traitement thermique et privées.⁷

Par la suite, une période de **maturation** est nécessaire pour rendre les mâchefers valorisables. Les risques de lixiviation des métaux sont ainsi réduits et le mâchefer est rendu chimiquement stable.⁸

Les graves de mâchefers peuvent alors être utilisées en tant que tel ou être retraitées afin d'en améliorer la qualité. Dans le cadre d'une **formation**, les graves peuvent être mélangées avec d'autres matériaux vierges ou alternatifs, dans des proportions déterminées afin de produire un matériau routier. L'ajout de **liants hydrauliques ou de liants hydrocarbonés** peut aussi être envisagé. A noter que pour ces mâchefers, les normes à respecter pour usage routier diffèrent⁹.

⁶ AMORCE, ADEME, Ibid., décembre 2014, p. 5

⁷ AMORCE, ADEME, Ibid.

⁸ ISWA Report, *Bottom ash from WtE plants – Metal recovery and utilization*, 2015, p. 21

⁹ RECORD, *Qualité et devenir des mâchefers d'incinération de déchets non-dangereux. Etat des lieux et perspectives*, octobre 2015, p. 37

Les MIDND et les différents matériaux routiers produits par Eurovia

Eurovia a réalisé une gamme « Scorvia » composée de différents matériaux routiers, produits à partir de MIDND. On compte 6 types de matériaux, dont les usages et préparations sont différents. Le matériau *Scorgrave* est utilisé pour les remblais compactés jusqu'à 6 mètres de haut ou en structure routière. Le matériau *Scorcim* est réalisé par ajout de liant hydraulique, ce qui lui permet d'être employé en couche de forme voire couche de base et couche de fondation de chaussées. Le matériau *Scorsable* est élaboré de telle sorte que sa granularité lui permette d'être utilisé en couche de forme. Le matériau *Scormousse* est le résultat de l'application aux graves de mâchefer de la technique des graves traitées à la mousse de bitume et sert aux couches d'assises pour des routes à trafic moyen. *Scorcan* est un béton de grave de mâchefer destiné aux remblayages de tranchées. Enfin, *Scorive* est aussi un béton de graves de mâchefer, autocompactant, qui permet de réaliser des poutres de rives en élargissement de chaussées.

L'enjeu est de trouver des exutoires aux graves de mâchefers valorisables dans les opérations de TP. Les techniques routières constituent la principale voie de valorisation des graves de mâchefers. En 2015, 84% des graves étaient valorisées en techniques routières (la quantité restante étant dirigée vers des installations de stockage)¹⁰.

L'utilisation des MIDND comme matériaux de substitution aux matériaux du BTP

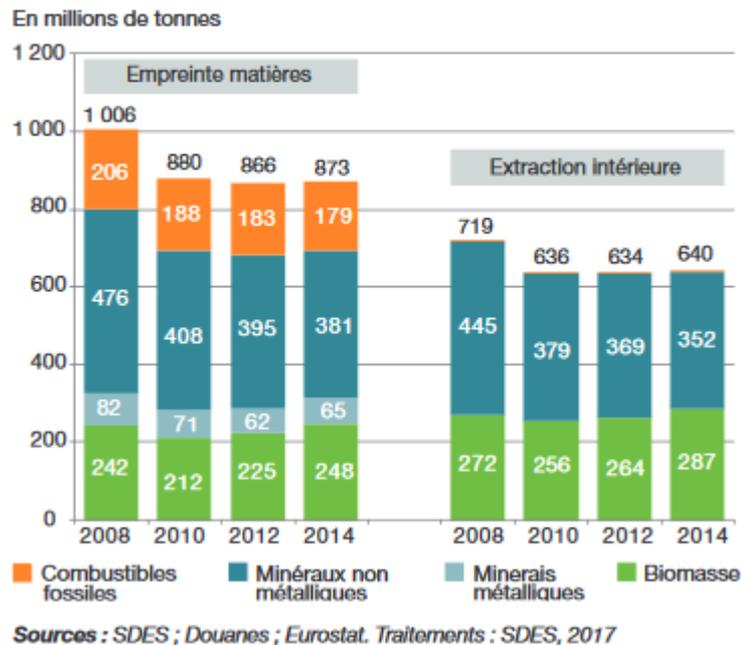
En France, en 2014, **381** millions de tonnes (Mt) de minéraux non métalliques ont été consommés, dont **352** Mt extraits du territoire national (ce qui correspond à 1500 fois la grande arche de la Défense). Comme présenté sur la figure 4, l'extraction intérieure totale de la France en 2014 équivaut en effet à 640 millions de tonnes (Mt) au total, composée à 55% de minéraux non-métalliques. L'empreinte matières est exprimée en « *équivalent matières premières* »¹¹.

Bien que l'utilisation des graves de mâchefers demeure relativement marginale en comparaison de l'extraction de minerais non métalliques, leur valorisation contribue à limiter l'extraction de matières vierges.

¹⁰ RECORD, *Qualité et devenir des mâchefers d'incinération de déchets non-dangereux. Etat des lieux et perspectives*, octobre 2015, p. 37

¹¹ Commissariat général au développement durable (CGDD), *L'empreinte matières, un indicateur révélant notre consommation réelle de matières premières*, avril 2018, p. 1

Graphique 1 : évolution de l'empreinte matières et de l'extraction intérieure



B. Le cas de l'usage routier

L'usage routier est le cas le plus encadré par la réglementation et constitue le débouché historique de la filière. En 1994, une Circulaire Ministérielle a défini les usages des mâchefers et résumait succinctement les conditions de mise en œuvre. Jusqu'au 1^{er} juillet 2012, les mâchefers devaient respecter les seuils fixés dans la circulaire *DPPR/SEI/BPSIED* n°94-IV-1, du 9 mai 1994. Cette réglementation séparait les mâchefers en trois catégories¹².

Tableau 1. Les catégories de mâchefers et leurs usages dans la circulaire du 9 mai 1994.

Les mâchefers à faible fraction lixiviable (mâchefers de type V)	Valorisables immédiatement, ils servent pour les sous-couches de structures routières, de parking et les remblais de 3m de hauteur maximum.
Les mâchefers intermédiaire (de type M)	Doivent être maturés avant de pouvoir être considérés comme valorisables.
Les mâchefers avec forte fraction lixiviable (de type S)	Doivent être éliminés dans une ISDND.

¹² AMORCE, ADEME, Ibid., décembre 2014, p. 7

Une nouvelle réglementation a été mise en place, suite aux engagements pris lors du Grenelle de l'Environnement de 2007¹³. Dorénavant, les conditions de valorisation en techniques routières sont définies dans **l'arrêté du 18 novembre 2011**, « *relatif au recyclage en technique routière des mâchefers d'incinération de déchets non dangereux* ». Cet arrêté est entré en vigueur le 1^{er} juillet 2012. Il fixe les nouveaux critères d'acceptabilité à respecter pour permettre le recyclage en technique routière des mâchefers. Il définit « l'usage routier » comme englobant des travaux de construction, de réhabilitation ou d'entretien d'ouvrages routiers.

Le décret n°2011-767 du 28 juin 2011 et l'arrêté du 25 juillet 2011 précisent les conditions dans lesquelles les mâchefers sont considérés comme non-valorisables plus généralement et peuvent donc être envoyés dans des centres de stockage (si aucun exutoire n'est trouvé) sans payer de taxe générale sur les activités polluantes (TGAP).

Dans un premier temps, l'arrêté du 18 novembre 2011 définit les modalités d'élaboration du matériau alternatif (sur une IME), étend la durée de stockage maximale en IME à 3 ans (qui était limitée à 1 an dans la circulaire) et précise les modalités de contrôle de conformité et de traçabilité¹⁴ des graves de mâchefer. Ce contrôle permet notamment de savoir, pour un chantier donné, de quelle IME et de quelle UIOM proviennent les mâchefers.

Dans un second temps, l'arrêté précise les critères d'acceptabilité environnementale des deux types d'usage : revêtu (type 1) ou recouvert (type 2). L'arrêté impose donc une caractérisation des graves de mâchefers comprenant une évaluation des teneurs intrinsèques en certains polluants organiques et une analyse de l'éluat issu de la lixiviation de ce matériau¹⁵. Ces contrôles sont réalisés sur des échantillons de lots de mâchefers, qui sont établis par l'exploitant.

Un guide produit par le Service d'études sur les transports, les routes et leurs aménagements (SETRA) et publié en mars 2011 accompagne cette nouvelle réglementation pour préciser les usages en techniques routières :

- [Usage de type 1](#) : recyclage en sous-couche de chaussée ou d'accotement d'ouvrages routiers revêtus.

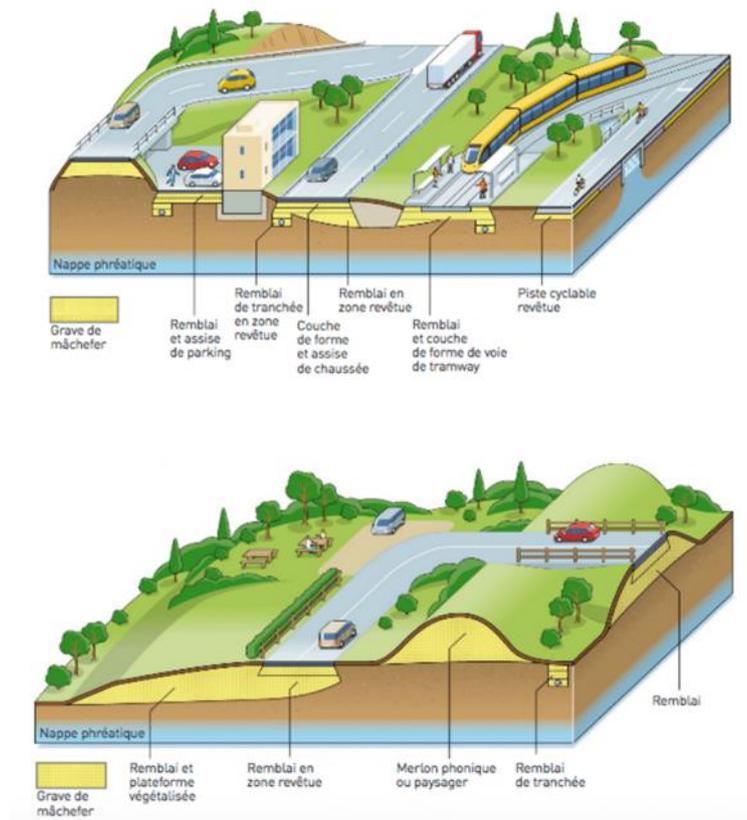
Cet usage concerne les remblais sous ouvrage, les couches de forme, les couches de fondation, les couches de base et les couches de liaison.

- [Usage de type 2](#) : remblai technique d'ouvrages recouverts connexes à l'infrastructure routière ou en accotement, s'il s'agit d'usages recouverts.

¹³ AMORCE, ADEME, Ibid., p. 7

¹⁴ Guide SETRA, « Acceptabilité du mâchefer en techniques routières », mars 2011

¹⁵ RECORD, *Qualité et devenir des mâchefers d'incinération de déchets non dangereux, Etats des lieux et perspectives*, octobre 2015, p. 32



Usage 1 : sous-couche de
chaussée

Usage 2 : recouvert de type
remblais technique

Figure 3. Les deux types de recyclage des graves de mâchefers en techniques routières. Source : Guide SETRA, pp. 39-40.

Retour d'expérience : la communauté de communes des Portes du Haut-Doubs

Parmi les différentes propositions à l'appel d'offres de la **Communauté de Communes du Haut-Doubs** pour la réalisation de la voirie d'une nouvelle zone d'activité en 2004, les mâchefers issus d'incinération (sous la forme de *Scorcim*, produits par Eurovia) étaient avancés. Cette proposition a été retenue par les élus pour plusieurs raisons. Tout d'abord, par souci de **valorisation des déchets ménagers issus de la collectivité** parce que le mâchefer **répondait aux exigences techniques** des travaux concernés. De plus, ce matériau s'avérait **moins cher** que d'autres matériaux neufs. Les déchets ménagers issus de la collectivité sont habituellement incinérés au centre d'incinération de Pontarlier puis stockés. L'usage des mâchefers pour ces travaux s'inscrivait donc dans une dynamique de **valorisation territoriale** des déchets et permettait de réaliser des **économies de ressources** (économies de matières calcaires) et des **économies financières**. L'utilisation des mâchefers a donné entière **satisfaction** d'un point de vue technique (pas de gonflement des voiries). Depuis, ce sont quasiment toutes les couches de fondation des voiries internes des zones d'activités de la collectivité qui sont réalisées à partir de graves de mâchefers.

C. Autres usages (actuels et R&D)

1. Les autres usages en cours de déploiement

Dans son étude de 2016, AMORCE rappelle que la part de recyclage des graves de mâchefers dans des **ouvrages routiers est en baisse**, même s'il demeure l'exutoire préférentiel : s'il représentait 73% des exutoires en 2011, il représente 60% des exutoires en 2016¹⁶. La diminution de la quantité de chantiers routiers constitue une première voie d'explication. Il est donc important d'explorer d'autres voies de valorisation. Cette diversification des usages se manifeste notamment par l'émergence de modes de valorisation à plus haute valeur ajoutée que les usages actuels. Elle contribue ainsi à améliorer la qualité perçue du matériau, qui constitue un autre frein majeur à sa valorisation (freins et leviers explicités dans la partie V de l'étude).

L'ensemble des acteurs de la filière (entreprises, institutions, centres de recherche) travaille donc sur de nouveaux usages pour les mâchefers. Des recherches menées entre différents acteurs publics et privés (par exemple, un consortium composé du SYCTOM, de NEO-ECO, d'Armines et l'INSA Lyon) visent à identifier de nouvelles options et solutions de valorisation des mâchefers d'incinération, qui pourront avoir un impact sur la réglementation. Les acteurs cités précédemment vont notamment, dans le cadre d'une convention commune, explorer les processus permettant la valorisation et le **développement d'écoproduits** à base de mâchefers. L'étude menée va prendre en compte l'innocuité environnementale et identifier des partenaires techniques, industriels et commerciaux nécessaires à la mise en place d'une boucle d'économie circulaire.

Les usages à l'étude sont principalement :

- **En remblais sous-bâtiment**

Le CEREMA conduit actuellement une étude sur le comportement du mâchefer en présence d'eau et de sulfate, afin de pouvoir être envisagé en remblais sous-bâtiment. Actuellement, le DTU n°13-3 (dallages-conception, ateliers, entrepôts, laboratoires) interdit les matériaux alternatifs pour les dallages sous-bâtiments. Sous bâtiment, les remblais sont divisés en deux parties : la partie support et la couche de forme (qui peut aller de 10 à 30 mètres). Le DTU actuel, que les professionnels du secteur trouvent approximatif, est révisé. L'usage en support est en cours de discussion et les mâchefers pourraient donc être autorisés, au même titre que d'autres matériaux alternatifs. Les professionnels du secteur alertent toutefois sur l'importance de bien veiller à la compatibilité des caractéristiques techniques des mâchefers avec cet usage spécifique.

¹⁶ AMORCE, ANGM, UNPG, *Etat des lieux du recyclage des mâchefers en France*, 2018, p. 18

- Entrant dans la composition de bétons non-structurants

Le CEREMA étudie aussi la formulation de granulats de mâchefers qui pourraient servir à des matrices cimentaires et du béton non-structurant (pour faire des **blocs de guidage**, des **bordures** etc.).

Toujours dans le secteur de la construction, des études¹⁷ se penchent sur l'incorporation des mâchefers dans les bétons prêts à l'emploi. Pour lever les freins à cette valorisation (freins liés au potentiel polluant des métaux et des anions), les prétraitements éventuels à appliquer aux mâchefers doivent être renforcés, notamment pour en améliorer les performances mécaniques.

De plus, un des freins à ce nouvel usage relevé par les acteurs de la filière est l'absence de distinctions au niveau normatif entre les bétons dits **structurants** et **non-structurants**. Les bétons non-structurants servent à des constructions de moindre ampleur. Les mâchefers pourraient être davantage intégrés dans la composition de bétons non-structurants, afin d'économiser des ressources naturelles. Ces dernières seraient allouées aux constructions plus exigeantes ou aux constructions de type gros œuvre.

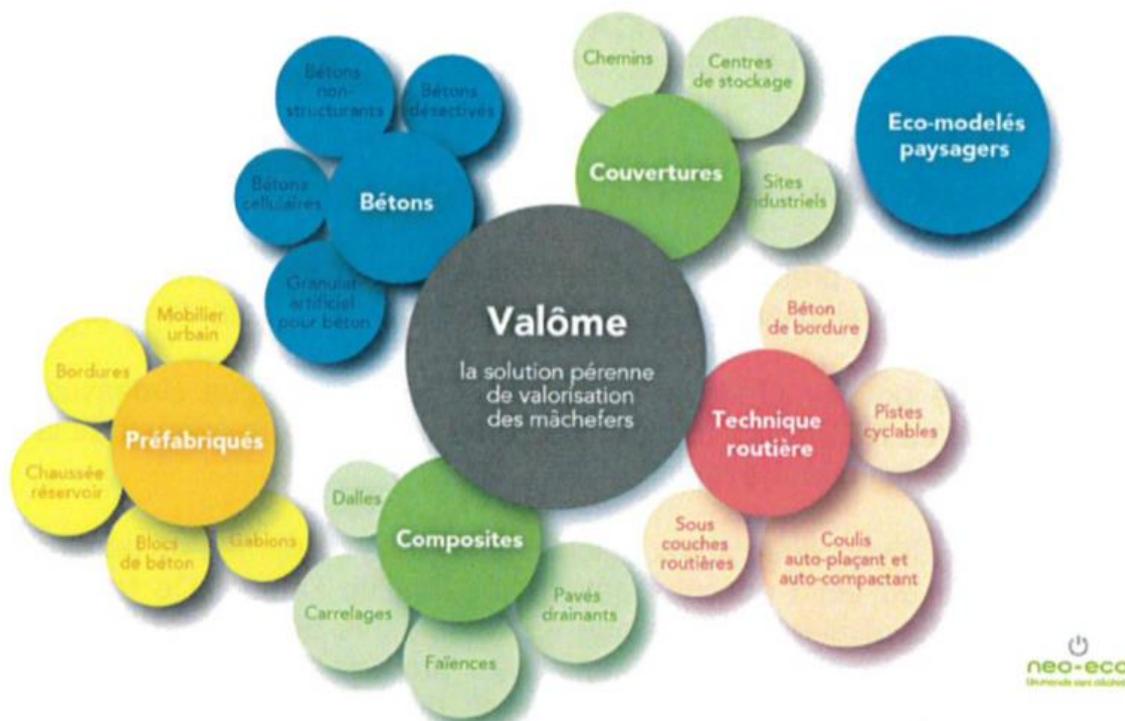


Figure 5. Les grandes familles d'éco-matériaux et écoproduits réalisables à partir de mâchefers. Source : Néo-Eco

¹⁷ Voir : Thèse de HAMMOUD O., « Caractérisation, prétraitement et valorisation dans un béton prêt à l'emploi de Mâchefers d'Incinération de Déchets Non Dangereux (MIDND) », soutenue à l'INSA Lyon, juillet 2019

Les voies de valorisation explorées par l'entreprise Néo-Eco

Implantée dans les Hauts-de-France, Néo-Eco est une entreprise qui crée des « boucles d'économie circulaire » depuis 10 ans. Les ingénieurs de l'entreprise ont d'abord élaboré des process qui consistaient à aller chercher des métaux non-ferreux dans les fractions fines des mâchefers (6 mm), notamment sur la plus grande plateforme de traitement des déchets de France (RMN - PréferNord), pour obtenir une fraction minérale très pure.

Après extraction des métaux, le matériau « restant » a été utilisé pour la construction d'une route de 2km, à côté de l'aéroport de Lille (avec la DREAL, dans le cadre d'un projet européen). Donnant satisfaction, les ingénieurs de Néo-Eco ont élaboré le procédé « Valôme » pour traiter les mâchefers. Il s'agit d'un traitement plus abouti que celui préconisé dans les réglementations actuelles. Il permet d'envisager d'autres voies de valorisation que les techniques routières. L'unité de traitement Valôme a une capacité de traitement de 60.000 tonnes/an de mâchefers.

L'entreprise Néo-Eco, en utilisant la voie implicite de sortie de statut de déchet, développe des techniques innovantes. Le graphique ci-dessous présente plusieurs voies de valorisation envisagées : des **bétons** (coulis autocompactant, fonds de bâtiments, bétons non-structurants, bétons cellulaires...), des **couvertures**, des **préfabriqués en béton** (mobiliers urbains, murs en bétons, caniveaux, bordures...), des **composites** (comme le carrelage ou les faïences par exemple).

Le Syctom, service public de traitement et valorisation des déchets ménagers, premier opérateur public européen

Le Syctom est l'agence métropolitaine des déchets ménagers. L'action du Syctom est triple : le traitement des déchets ménagers, leur valorisation sous forme de matières et d'énergie, la prévention et la sensibilisation des habitants en lien étroit avec ses collectivités adhérentes. Le Syctom couvre 85 communes, réparties sur cinq départements. En 2018, le Syctom a traité 2 341 576 tonnes de déchets, pour 6 millions d'habitants¹⁸ et a pour stratégie globale d'**éviter l'enfouissement des déchets valorisables**. La valorisation des mâchefers issus des UIOM du Syctom constitue donc un enjeu important. En vue d'assurer la qualité de ses mâchefers et de rassurer les maîtres d'ouvrages, le Syctom a initié un marché conduisant à la réalisation de contrôles supplémentaires sur les lots valorisés.

Dans le but de sensibiliser le grand public et les professionnels aux traitements des déchets, le Syctom organise des forums et actions de sensibilisation. Un de ces **forums** (le 1^{er} juin 2018) a notamment été dédié aux mâchefers, afin d'échanger sur leur valorisation et les perspectives d'innovation dans ce domaine avec les acteurs concernés (professionnels de la filière mais aussi élus et décideurs). Ce forum et ces actions de sensibilisation avaient lieu dans le cadre des 10 jours de ***l'Opération 10/10 A vos***

¹⁸ Rapport d'activités SYCTOM 2018, p. 10

bacs ! (du 30 mai 2018 au 8 juin 2018). Des portes ouvertes étaient organisées, dans le centre de traitement des déchets ménagers Isséane (Issy-les-Moulineaux) et des visites guidées et commentées étaient programmées pour le public scolaire.

Enfin, d'autres voies de valorisation potentielles ont été identifiées à l'échelle **internationale** : la valorisation comme **constituant secondaire des céramiques** et comme **matériau filtrant notamment pour le biogaz des ISD**¹⁹.

Les céramiques, qui sont des composés hétérogènes, sont fabriquées entre autres à partir de feldspath (composé de silice et d'alumine). Le mâchefer, dont la composition est proche est du feldspath, pourrait remplacer ce composé dans la fabrication de la céramique²⁰. Plusieurs études ont été réalisées sur les produits suivants : les porcelaines, les carreaux poreux et les vitrocéramiques.

En ce qui concerne le biogaz, qui est produit par la fermentation de matières organiques animales ou végétales dans des conditions anaérobies, le mâchefer pourrait servir à adsorber cette énergie²¹.

2. Des modes de traitement en constante amélioration pour faciliter des voies de valorisation à plus haute valeur ajoutée

Le traitement des mâchefers doit continuer à faire l'objet d'améliorations continues pour faciliter le déploiement de solutions de valorisation à plus haute valeur ajoutée. En 2016, sur 62 installations ayant répondu à la question de l'enquête conduite par l'association AMORCE, il apparaît que 60% des installations ne réalisent pas de traitements supplémentaires, en plus des traitements classiques (maturation, criblage, extraction des métaux). 26% des 62 installations réalisent plusieurs granulométries, 13% réalisent un traitement aux liants hydrauliques et 2% réalisent d'autres étapes ponctuellement en fonction des besoins et stocks à gérer²².

¹⁹ RECORD, *Qualité et devenir des mâchefers d'incinération de déchets non dangereux, Etats des lieux et perspectives*, octobre 2015, p. 127

²⁰ RECORD, *Ibid.*, p. 111

²¹ RECORD, *Ibid.*, p. 119

²² AMORCE, ANGM, UNGP, *Etat des lieux du recyclage des mâchefers en France*, 2016, p. 16

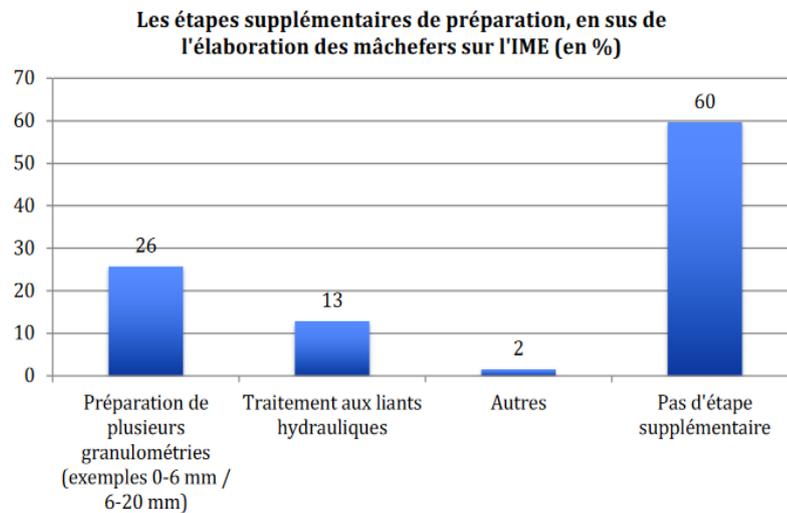


Figure 6. Part des installations (échantillon 62) réalisant des étapes supplémentaires de préparation. Source : AMORCE, 2016.

La réglementation de 2011 et la montée en puissance des préoccupations environnementales ont encouragé certaines IME à investir dans de nouveaux équipements d'élaboration des mâchefers : sur les 62 ayant répondu, près de 25% des installations ont investi dans de nouveaux équipements (installation d'extraction des métaux, soit installation de séparation des non-ferreux, soit installation de séparation de la grave en deux fractions granulométriques, soit agrandissement de l'aire dédiée au recyclage)²³. Cette dynamique doit se poursuivre.

La volonté des acteurs de la filière des mâchefers est de produire un granulat pour béton ou coulis aux caractéristiques équivalentes, voire meilleures que le matériau produit avec des granulats naturels. Des chercheurs internationaux ont travaillé sur le développement de traitements spécifiques pour améliorer les caractéristiques des mâchefers, dans la perspective les valoriser comme granulat béton : par exemple, une préoxydation de l'aluminium métal par lavage à la soude, un lavage à l'eau, une vitrification.

Cela permettrait de faire usage du mâchefer en tant que constituant de béton, ce qui n'est pas le cas actuellement. La production de béton est un pôle émetteur important. La transformation de mâchefers en granulat pour béton peut être améliorée en vue de réduire l'émission de CO₂ lors de la production de béton.

Enfin, des tests de vérification concernant l'écotoxicité et les seuils d'innocuité pour ces différents usages doivent être conduits, comme cela est déjà le cas pour la valorisation des graves de mâchefers en techniques routières. L'Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (INERIS) relève cet enjeu dans son analyse de déploiement des nouvelles filières de valorisation des déchets. Il préconise notamment « *d'intégrer l'évaluation de la performance environnementale des processus de recyclage et l'évaluation des risques pour l'homme et pour l'environnement dans des scénarios d'exposition réalistes* »²⁴.

²³ AMORCE, ANGM, UNGP, *Etat des lieux du recyclage des mâchefers en France*, 2016, p. 17

²⁴ INERIS, « Dangerosité, risques et valorisation des déchets », *Compte-rendu*, septembre 2018, p. 7

II. Les mâchefers comme solution d'économie circulaire

La valorisation des graves de mâchefers s'inscrit en adéquation avec plusieurs principes de l'économie circulaire. Lorsque les graves respectent les seuils d'innocuité fixés par la réglementation et qu'ils sont utilisés dans des zones conformes aux conditions d'applicabilité, leur substitution à des matières premières vierges permet de réaliser des économies de ressources. La filière de valorisation des mâchefers permet également de réduire la quantité de déchets enfouis. Se faisant, la valorisation de ce matériau permet de répondre à plusieurs objectifs fixés par les politiques publiques environnementales.

En gardant à l'esprit que le meilleur déchet demeure celui qu'on ne produit pas, la filière de valorisation des mâchefers présente plusieurs retombées positives, à la fois environnementales et socio-économiques.

Rappels sur l'économie circulaire et le recyclage

L'économie circulaire est un « *principe d'organisation économique visant à découpler la création de valeur sociétale de l'impact sur l'environnement, à travers une gestion optimisée des ressources. Ce modèle implique la mise en place de nouveaux modes de conception, de production et de consommation plus sobres et efficaces (éco-conception, écologie industrielle et territoriale, économie de fonctionnalité, etc.) et à considérer les déchets comme des ressources.* »²⁵.

Ce modèle repose sur la création de **boucles positives**, créant de la valeur à chaque utilisation ou réutilisation de la matière ou du produit. En amont de la production de déchets, les pratiques d'éco-conception, de réemploi et de réutilisation sont encouragées. Lorsque des déchets sont générés, des pratiques permettent d'éviter leur élimination ou leur enfouissement.

²⁵ Définition de l'Institut National de l'Économie Circulaire

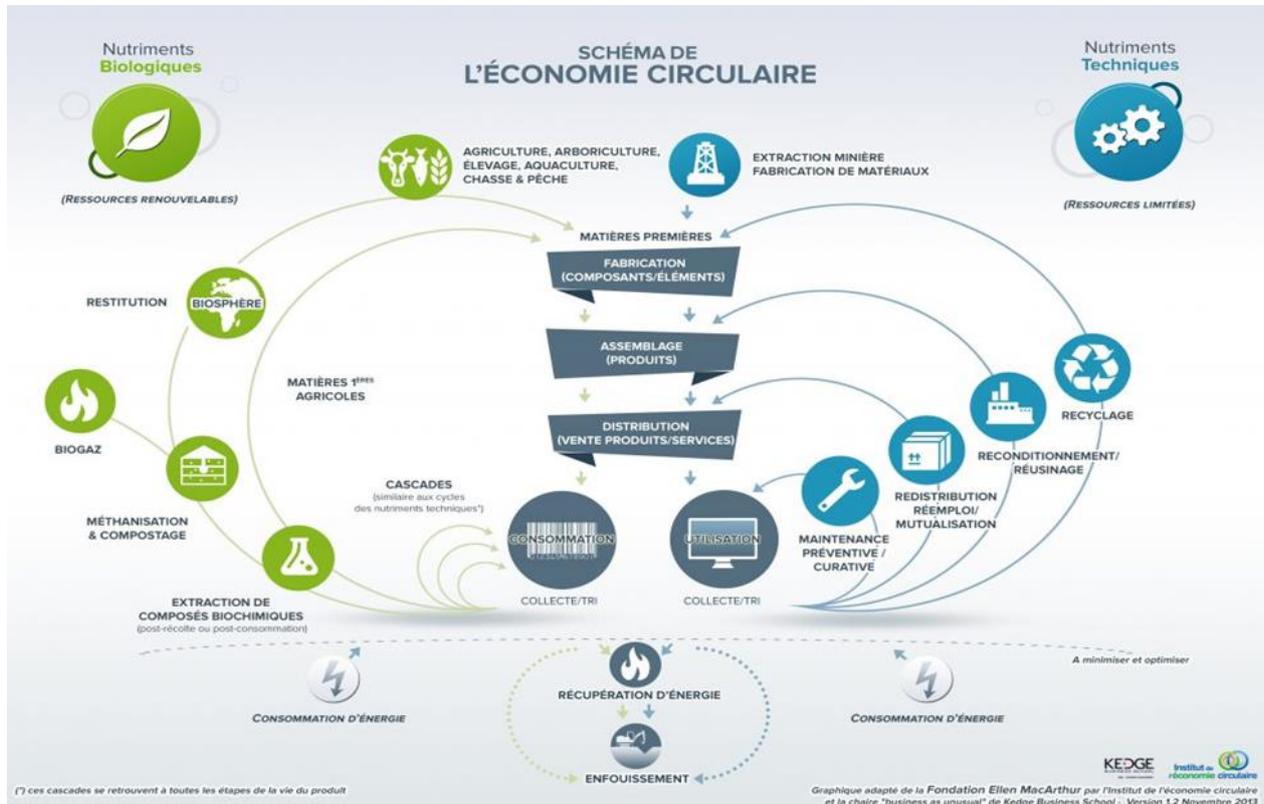


Figure 7. Les boucles de l'économie circulaire

La **valorisation matière** se définit par l'utilisation de déchets en substitution à d'autres matières ou substance²⁶. Elle exclut toute forme de valorisation énergétique et de retraitement en matières destinées à servir de combustible. La valorisation matière est un terme générique qui comprend trois opérations, selon l'ADEME :

- Le **recyclage**, qui permet de retraiter les déchets dans le cadre de leur fonction initiale ou à d'autres fins. Le recyclage est défini par l'article L. 541-1-1 du code de l'environnement.
- La **valorisation organique**, qui permet de valoriser les déchets organiques après méthanisation ou compostage par un retour au sol de la matière organique
- Le **remblaiement de carrière**

La **valorisation des mâchefers** représente donc une forme de recyclage. Selon l'ADEME²⁷, on distingue deux formes de recyclage :

- Le recyclage en boucle fermée : utilisation de matières premières de recyclage pour un usage et une destination **identique**, sans perte fonctionnelle de la matière (par exemple, recyclage d'une bouteille PET en bouteille PET)

²⁶ ADEME, *Le traitement des déchets*, juin 2018

²⁷ ADEME, *La chaîne de recyclage : du produit au produit en passant par le déchet*, février 2019

- Le recyclage en boucle ouverte : utilisation de la MPR pour une destination différente mais en substitution d'une matière première vierge (recyclage d'une bouteille PET en fibre polaire par exemple)

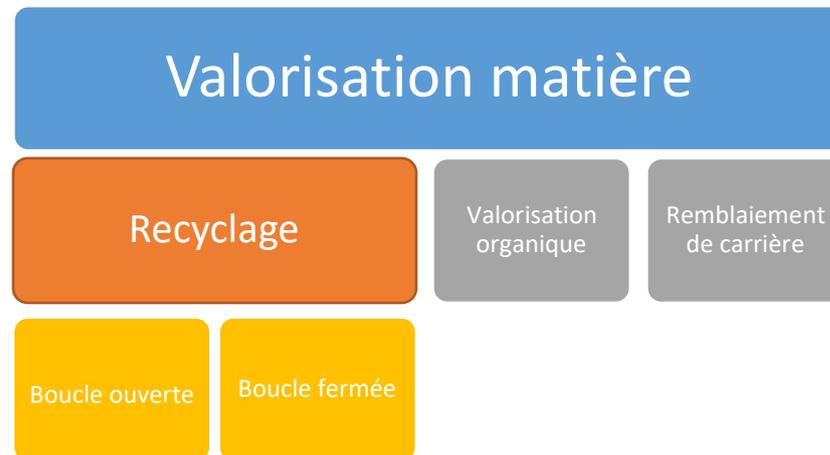


Figure 8. Les opérations comprises dans « la valorisation matière »

Selon cette typologie, la valorisation des mâchefers constitue un exemple de valorisation matière, et plus précisément à une pratique de recyclage en boucle ouverte. Si cela en fait donc bien une pratique « circulaire », la valorisation des mâchefers s'inscrit en adéquation avec d'autres piliers de l'économie circulaire, notamment lorsqu'elle s'intègre au sein d'un territoire dans une logique de proximité.

A. La filière de valorisation des mâchefers dans la hiérarchie préférentielle de traitement des déchets

L'économie circulaire va de pair avec la hiérarchie préférentielle de traitement des déchets, définie à **l'article 4 de la Directive-cadre DE de 2008**.

La hiérarchie préférentielle de traitement des déchets

La hiérarchie des modes de traitement représente un ordre de priorités des exutoires en matière de gestion des déchets. Il a été défini au niveau européen (Directive-cadre 2008/98/CE sur les déchets, article 4) : la réglementation européenne privilégie dans l'ordre la prévention, le réemploi/réutilisation, le recyclage matière/organique, la valorisation énergétique, puis l'élimination des déchets. Elle ancre ce principe au niveau des politiques publiques pour les Etats-membres. Dans la législation française, c'est l'article **L. 541-1-1 du Code de l'environnement** qui précise les définitions des pratiques citées dans la hiérarchie ci-dessus.

La **prévention** a pour but la réduction des quantités de déchets produits. La prévention figure dans les compétences des collectivités territoriales. Selon l'ADEME, un Français produit 590 kg de déchets ménagers et assimilés par an en moyenne, dont près de 370 kg proviennent des ordures ménagères (le reste correspond aux déchets que chaque Français dépose en moyenne en déchèteries chaque année).

Le **réemploi/la réutilisation** est une opération par laquelle des substances, matières ou produits qui sont devenus des déchets sont utilisés de nouveau. L'opération de réutilisation peut nécessiter une opération de contrôle, voire de **préparation**.

La **valorisation** est une opération dont le résultat principal est que les déchets servent à des fins utiles en substitution à d'autres substances, matières ou produits qui auraient été utilisées à une fin particulière. Le **recyclage**, comme vu précédemment, est une opération de valorisation par laquelle les déchets, y compris organiques, sont retraités en substances, matières ou produits aux fins de leur fonction initiale ou à d'autres fins.

La **valorisation énergétique** des déchets, les opérations relatives à la conversion des déchets en combustibles et les opérations de remblaiement ne peuvent pas être qualifiées d'opération de recyclage.

Enfin, **l'élimination**, définie par l'article 4 de la directive européenne, consiste au stockage de la fraction des déchets qui n'a pas pu être valorisée (sous forme de matière ou d'énergie). Ces déchets sont stockés dans des installations de stockage, adaptés à chaque type de déchets (dangereux, inertes, non dangereux).

Au regard de la hiérarchie préférentielle des déchets, la valorisation des mâchefers permet un moindre recours aux techniques d'élimination, qui constituent l'exutoire le moins pertinent du point de vue environnemental.

En France, 15,4 Mt de déchets sont incinérées par an²⁸. Pour rappel, l'incinération est un traitement thermique des déchets avec excès d'air. La valorisation énergétique consiste à récupérer la chaleur dégagée par la combustion des éléments combustibles contenus dans les déchets. La valorisation énergétique est encadrée par l'arrêté du 20 septembre 2002²⁹ et l'article 33-2 en précise les conditions : on caractérise la valorisation énergétique à partir d'un certain rendement de performance énergétique (selon les cas, il doit être supérieur à 0,65 ou 0,6³⁰).

Sur la figure 9 ci-dessous, sont représentées la **production des mâchefers** puis la **phase de maturation**. La production des mâchefers s'intègre dans un premier temps au niveau de la valorisation énergétique puisqu'elle est issue du processus d'incinération des déchets ménagers non-dangereux avec valorisation énergétique. La deuxième étape, correspondant à la phase de maturation des mâchefers, s'apparente à de la valorisation matière dans la mesure les résidus d'incinération sont transformés en matières premières secondaires susceptibles d'être utilisées en substitution de matières vierges. Ainsi, au regard de la hiérarchie préférentielle des déchets, la valorisation des mâchefers permet d'éviter l'élimination de déchets, considérée comme l'exutoire de gestion des déchets le plus défavorable

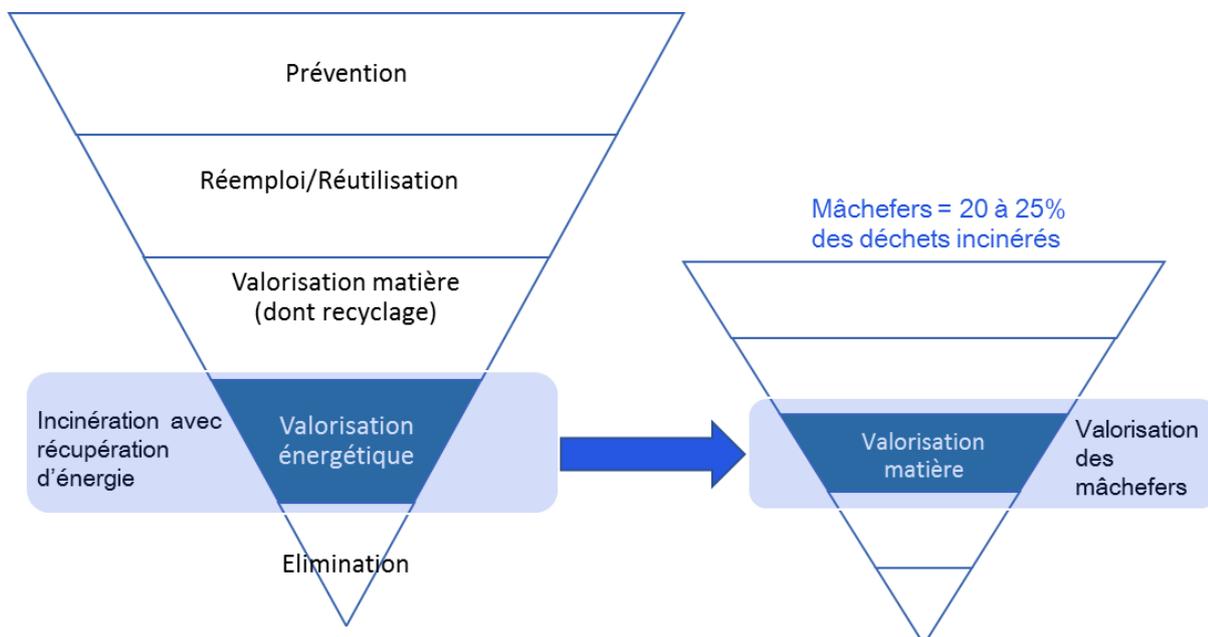


Figure 9. Valorisations énergétique et matières dans la hiérarchie préférentielle de traitement des déchets.

²⁸ ADEME, *L'essentiel de l'incinération*, avril 2017

²⁹ Arrêté du 20 septembre 2002 relatif aux installations d'incinération et de co-incinération de déchets non dangereux et aux installations incinérant des déchets d'activités de soins à risques infectieux, modifié le 3 août 2018

³⁰ Annexe IV de l'arrêté du 20 septembre 2002

La réduction des déchets reste la priorité

L'usage des graves des mâchefers constitue un exutoire qu'il s'agit de ne pas omettre au regard de l'économie d'extraction de matières vierges qu'il permet. Il est toutefois important de rappeler qu'il n'interdit pas, parallèlement, une réduction de la production de déchets totale par les ménages. Comme l'ont souligné plusieurs acteurs de la filière au cours des entretiens conduits pendant la réalisation de l'étude, la réduction de la quantité de déchets produite est un enjeu qui doit être traité prioritairement, en amont de toute considération liée à leur valorisation³¹.

L'usage des mâchefers évacue toute problématique de dépendance de la filière BTP vis-à-vis des infrastructures d'incinération dans la mesure où il se substitue aux matières vierges et à d'autres matériaux alternatifs (matériaux issus de la déconstruction, laitiers sidérurgiques, etc.).

A ce titre, il convient de souligner que globalement la quantité de déchets par habitants ramassés par les services municipaux décroît. Selon l'ADEME, depuis 2007, on compte 4,6% de déchets produits en moins par habitant, grâce aux mesures préventives (lutte contre le gaspillage par exemple) et aux boucles de l'économie circulaire (réutilisation, réemploi, réparation).

De plus, le programme national de prévention des déchets (PNPD) 2014-2020 a défini les orientations stratégiques de la politique publique de prévention des déchets et fixe une réduction de 7% des déchets ménagers et assimilés produits par habitant entre 2010 et 2020. Cet objectif a été renforcé par la LTECV : l'objectif de réduction est dorénavant de 10%³². Plusieurs démarches vont permettre d'atteindre cet objectif : le retour à la consigne, l'allongement de la durée de vie des produits.

B. La valorisation des graves de mâchefers au prisme des autres piliers de l'économie circulaire

La valorisation des mâchefers constitue une technique de recyclage en boucle ouverte, comme vu précédemment. De plus, cette technique s'inscrit en adéquation avec d'autres principes de l'économie circulaire. La valorisation matière permet en effet de réduire l'extraction de ressources, la quantité de déchets enfouis et constitue une voie de concrétisation des principes de l'écologie industrielle et territoriale.

Le « territoire » est le lieu de prédilection pour mettre en pratique l'économie circulaire. La valorisation des mâchefers est donc particulièrement pertinente si elle intervient au sein d'un périmètre géographique délimité.

³¹ Rencontres Scorvia – Eurovia.

³² Cadre général de la prévention des déchets, site du MTES

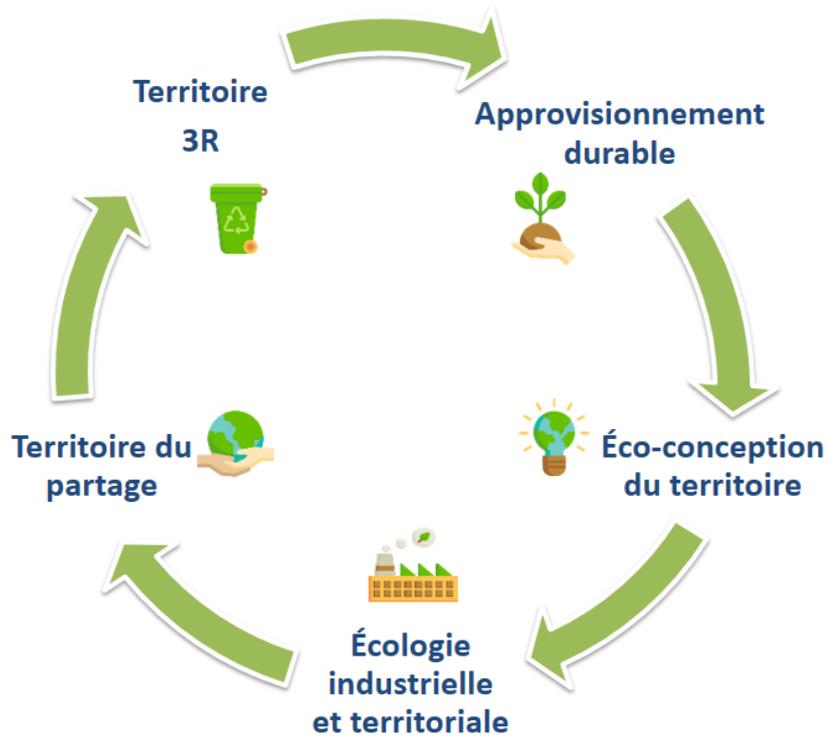


Figure 10. Les piliers de l'économie circulaire appliqués aux territoires. SOURCE : INEC, adapté du schéma des piliers de l'économie circulaire de l'ADEME.

Approvisionnement durable

Il s'agit de développer la consommation responsable à l'échelle du territoire, en s'appuyant sur le rôle d'exemplarité des acteurs publics.

Eco-conception à l'échelle du territoire

L'éco-conception vise à optimiser dès la conception l'efficacité d'usage d'un bien ou d'un service, et à réduire son impact environnemental sur l'ensemble du cycle de vie (conception – construction – usage – fin de vie). A l'échelle d'un territoire, cette méthode doit être appliquée à l'ensemble des projets de développement et de modernisation des services publics.

Écologie industrielle et territoriale

Selon le réseau Synapse¹, « l'écologie industrielle et territoriale vise à optimiser les ressources sur un territoire, qu'il s'agisse d'énergies, d'eau, de matières, de déchets mais aussi d'équipements et d'expertises, via une approche systémique qui s'inspire du fonctionnement des écosystèmes naturels. L'EIT s'appuie donc sur l'étude de la nature, de la provenance et de la destination des flux pour identifier et développer des synergies inter-entreprises. L'un des enjeux forts de l'EIT consiste donc à faire se rencontrer les entreprises et plus largement l'ensemble des acteurs économiques, pour instaurer un climat de confiance propice à la circulation de l'information et à l'émergence de telles synergies, d'où le rôle clé de l'animateur de la démarche d'EIT. »

Territoire du partage

Les territoires doivent favoriser le développement de l'économie du partage sur leur périmètre géographique. Les deux principaux vecteurs pour réaliser cette transformation sont l'économie de fonctionnalité, qui vise à substituer la vente d'un bien ou d'un service par l'usage de celui-ci, et l'économie collaborative, qui vise à mutualiser les biens, les outils, les espaces et les savoirs.

Les territoires « 3R »

Le triptyque des 3R correspond à « Réduire, réutiliser, recycler ». A l'échelle d'un territoire, il permet de réduire le gaspillage et de gérer efficacement les déchets. Il passe par la prévention, le tri, la collecte sélective et la valorisation optimisée des déchets. Un territoire qui adopte une démarche 3R poussée s'inscrit en adéquation avec la hiérarchie de traitement des déchets, crée des filières et des emplois locaux, et limite les coûts (économiques et environnementaux) liés à la gestion des déchets.

La valorisation des mâchefers s'inscrit en adéquation avec plusieurs piliers de l'économie circulaire, comme cela est détaillé par la suite (l'« approvisionnement durable », l'« écologie industrielle et territoriale » et l'« amélioration de la gestion des déchets »). Les bénéfices créés sont d'autant plus marqués lorsque cette valorisation s'inscrit au cœur d'un territoire, à l'échelle locale. En effet, comme le montre la figure 11 (voir page 20), l'économie circulaire fait du territoire un lieu privilégié pour enclencher une transition écologique. La duplication et l'adaptation des meilleures pratiques territoriales aux différents contextes locaux permettent ensuite de passer à cette **transition à l'échelle**.

1. La valorisation des mâchefers s'inscrit dans un approvisionnement durable.

L'approvisionnement durable correspond à un mode d'exploitation et d'extraction des ressources visant leur exploitation efficace, en limitant les rebuts d'exploitation et l'impact sur l'environnement pour les ressources renouvelables et non-renouvelables.³³ Pour remplir cette exigence d'efficacité, l'exploitation des ressources nécessite d'avoir recours « le plus possible à des matières premières issues du recyclage qui montrent dans la quasi-totalité des situations un moindre impact sur l'environnement que l'équivalent de l'exploitation en matières vierges »³⁴.

La valorisation des mâchefers constitue l'une des solutions à cet enjeu en permettant effectivement de limiter l'extraction de nouvelles ressources, et notamment en réduisant la pression exercée sur les minerais non-métalliques (matériaux de carrière, sable) qui servent aux travaux de construction. Le besoin en minerais se veut croissant ; or les gisements s'épuisent. Par exemple en 2009, 6,5 Gt de minerais et de minéraux industriels étaient consommés dans le monde alors qu'en 1900, la consommation s'élevait à 210 Mt (multipliée par 32). Dans le même laps de temps, la croissance de la population ne correspondait qu'à un facteur 4³⁵.

2. Pratiquée au sein d'un territoire, elle encourage la synergie entre acteurs (écologie industrielle et territoriale).

L'écologie industrielle et territoriale vise à optimiser les flux de matière et d'énergie à l'échelle du territoire en développant des synergies entre les acteurs économiques. Il est indispensable de construire et d'entretenir une animation active au service d'un développement économique durable en donnant un rôle clé aux entreprises locales. La mise en œuvre de synergies transversales et le décloisonnement des silos économiques traditionnels renforcent la compétitivité du tissu industriel.

³³ ADEME, *Approvisionnement durable*, avril 2019

³⁴ ADEME, *Ibid.*

³⁵ ADEME, *L'épuisement des métaux et minéraux : faut-il s'inquiéter ?*, 2017, p. 8

Le métabolisme territorial : l'analyse des flux et des ressources dans les territoires

Dans les projets d'aménagement et/ou de planification¹, la bonne connaissance « **des gisements et des flux** » d'un territoire est centrale car elle permet d'**allouer** les ressources de manière efficace, voire d'en réduire l'exploitation. Pour ce faire, une comptabilité des flux doit être réalisée. Ce calcul, appelé « analyse des flux de matières » (référence : BARLES S., « Comprendre et maîtriser le métabolisme urbain et l'empreinte environnementale des villes », *Responsabilité et Environnement*, 2008, p.21), permet d'avoir un aperçu des flux entrants et sortants d'un territoire. Les matières premières extraites d'un territoire ainsi que celles importées correspondent aux flux *entrants* et les différents rejets occasionnés par les activités et produits exportés correspondent aux flux *sortants*.

L'économie circulaire vise à limiter les entrées et les sorties de flux sur le territoire. Pour ce faire, il est possible de réduire la consommation (en favorisant l'écoconception ou en mutualisant les infrastructures). Il est aussi possible de favoriser le réemploi et le recyclage. Se faisant, on limite aussi l'émission de flux de déchets « émis vers la nature ».

La valorisation des mâchefers, à l'échelle locale, s'inscrit dans cette perspective. Elle permet de réduire l'extraction de matières sur le territoire (extraction de minéraux non-métalliques), les importations, et de limiter la quantité de déchets enfouie.

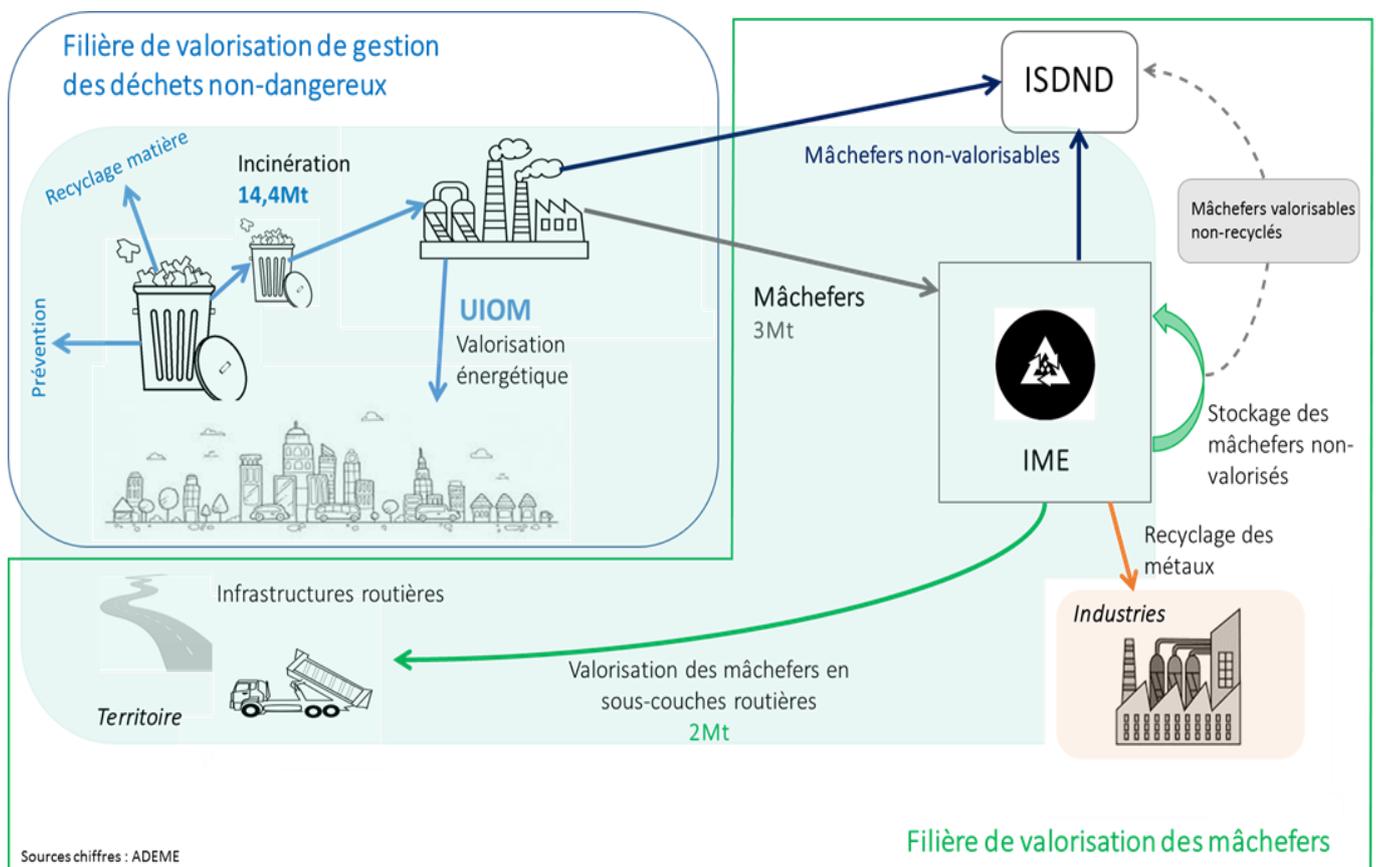


Figure 11. La filière de valorisation des mâchefers, à l'échelle d'un territoire.

L'usage des mâchefers est particulièrement vertueux s'il est réalisé à l'échelle territoriale. Dans la figure 11 ci-dessus, les déchets sont issus d'espaces résidentiels et sont ensuite incinérés dans une UIOM proche. Les mâchefers résultant de l'incinération des déchets sont ensuite acheminés vers des IME qui se trouvent à proximité ou qui peuvent même être accolées à l'UIOM. Une fois traités et maturés, les mâchefers sont utilisés pour la construction des infrastructures routières de ce même territoire. La mise en place de filières locales d'économie circulaire dans les territoires permet de limiter la dépendance aux flux de matières importés et d'améliorer la résilience du territoire. Par la même, les coûts (environnementaux et économiques) liés aux transports sont réduits.

Les éléments métalliques présents dans les mâchefers peuvent quant à eux être récupérés pour être valorisés en métallurgie, sur un périmètre géographique généralement plus élargi.

La valorisation des mâchefers, une « synergie territoriale » au service de l'écologie industrielle.³⁶

La valorisation des mâchefers s'appuie sur la coopération de plusieurs sites industriels (UIOM, IME, chantiers routiers et autres) et sur la mise en relation de divers acteurs (décideurs publics et privés, citoyens, etc.) au service d'une « synergie territoriale ». Egalement appelées symbioses industrielles ou synergies « inter-entreprises », les projets multi-acteurs mis au service de l'efficacité de gestion des ressources constituent les principales voies de concrétisation des principes de l'écologie industrielle et territoriale.

3. Optimisation de la gestion des déchets.

La valorisation des mâchefers permet de réduire la quantité de matières mise en décharge. Pour rappel, les mâchefers ont deux principaux exutoires.

1. Le stockage

Lorsque les mâchefers ne trouvent pas d'exutoires, ils sont envoyés en installation de stockage de déchets non dangereux (ISDND)³⁷. L'enjeu est de pouvoir trouver des exutoires dans l'optique de limiter ce stockage car il correspond au **dernier maillon** de la chaîne du traitement des déchets (se référer à la figure 9). Or, en 2012, le coût du stockage par tonne était inférieur au prix des moyens de

³⁶ Voir note « L'INEC au service des régions – Bilan », 2019.

³⁷ Le stockage ou « la mise en décharge » consiste en l'enfouissement des déchets ultimes qui ne sont pas destinés à être recyclés.

valorisation, ce qui pouvait dissuader les acteurs d'opter pour des exutoires alternatifs à l'enfouissement³⁸.

A ce titre, la directive européenne concernant la mise en décharge des déchets de 2018 rappelle qu'« *une réduction progressive de la mise en décharge est nécessaire pour éviter des effets néfastes sur la santé humaine et l'environnement et pour faire en sorte que les déchets à haute valeur économique soient progressivement et effectivement valorisés au moyen d'une gestion appropriée des déchets* »³⁹.

2. La valorisation matière

Option considérée et détaillée plus haut, la valorisation matière permet d'économiser des ressources vierges et inscrit la valorisation des mâchefers dans une boucle d'économie circulaire.

Retour d'expérience : la Communauté urbaine du Grand Reims (CuGR)

La CuGR valorise les mâchefers en techniques routières depuis 2005. L'objectif fixé est de valoriser au minimum 70% des 15 000 tonnes produites en moyenne chaque année sur ses chantiers. Cet objectif est atteint depuis 2017. La collectivité est propriétaire de l'installation de maturation et d'élaboration (IME), construite sur le même site que le centre de tri des déchets recyclables au début des années 2000. Elle travaille de concert avec l'exploitant de son IME (installation de maturation et d'élaboration des mâchefers) pour trouver des exutoires aux graves de mâchefers produites. Pour ce faire, elle démarche les techniciens voiries pour référencer les chantiers et proposer les mâchefers comme variante, lorsque ces derniers correspondent aux besoins des chantiers. D'autre part, des événements de sensibilisation sont organisés pour faire connaître les propriétés géotechniques du matériau et accompagner la conduite du changement auprès des maîtres d'ouvrage. Cette organisation entre l'exploitant et la collectivité se remarque pour sa transversalité et son objectif de lever les barrières liées à l'image et à la qualité perçue du matériau. Historiquement, la collectivité a fait le choix de valoriser les mâchefers pour réaliser des économies : la mise en décharge des mâchefers avait un coût de 3 à 5 fois supérieur (1,5 à 2 millions d'euros par an) au coût aidé d'exploitation annuel d'une IME (environ 350 000 euros par an). A cela s'ajoutaient l'économie des coûts environnementaux et financiers, liés à l'extraction de matériaux naturels. Les réalisations de travaux avec des mâchefers ont pleinement donné satisfaction (économiquement, techniquement, ainsi que pour la mise en œuvre et la durabilité des travaux réalisés). Parmi eux, un chantier référence lors de la création d'une plateforme de stockage a permis la valorisation de 6 000 tonnes de mâchefers en quatre jours.

³⁸ ADEME, « Installation de stockage des déchets non dangereux », *Dossier Stockage*, 2018

³⁹ Article 5 de la Directive 2018/850 du Parlement Européen et du Conseil du 30 mai 2018, modifiant la directive 1999/31/CE concernant la mise en décharge des déchets.

III. Contribution de la filière aux objectifs des politiques publiques

La filière mâchefers s'intègre dans les principes d'économie circulaire. Elle concourt ainsi à la réalisation d'objectifs fixés par les politiques publiques environnementales, notamment **la loi de transition énergétique pour la croissance verte** du 17 août 2015 et la **feuille de route économie circulaire, publiée le 23 avril 2018**. Cette dernière décline une vingtaine d'actions pour « mieux gérer les déchets » et s'inspire du cadre fixé par **le Paquet Économie Circulaire** de la Commission Européenne (qui comprend un Plan d'Action et des Directives) en 2015.

Le **10 février 2020**, la loi relative à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire a été promulguée. Si les décrets d'application n'ont pas encore été élaborés pour la plupart des articles, certaines mesures concernent particulièrement la filière des mâchefers. La valorisation des mâchefers, en tant que technique d'économie circulaire, peut en effet être mobilisée dans l'atteinte des objectifs fixés par la loi. Notamment ceux fixés dans le cadre de la commande publique : c'est le cas de l'article 58, qui fixe un taux d'incorporation de matières premières recyclées dans les achats de l'Etat.

« A partir du 1^{er} janvier 2021, les biens acquis annuellement par l'Etat, les collectivités territoriales et leurs groupements sont issus du réemploi, de la réutilisation ou intègrent des matières recyclées dans des proportions de 20% à 100% selon le type de produit (sauf en cas de contrainte opérationnelle à la défense nationale ou de contrainte technique liée à la nature de la commande publique). »

A. Le découplage progressif de la production de richesses et de la consommation de matières

La Loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte (LTECV) fixe plusieurs objectifs concernant l'économie circulaire, via son titre IV (« *Lutter contre les gaspillages et promouvoir l'économie circulaire* »). Parmi eux, un objectif de hausse de **30% du rapport entre le produit intérieur brut (PIB) de la France et la consommation nationale de matières entre 2010 et 2030**, afin de découpler progressivement la croissance économique et la consommation de matières premières.

Le recyclage constitue donc un levier important pour transiter vers l'économie circulaire et répondre à cet objectif, puisque les matières recyclées se substituent aux matières premières extraites. Comme vu précédemment, la valorisation des mâchefers s'inscrit dans des pratiques de recyclage et contribue à l'« *approvisionnement durable* », présent dans les principes d'économie circulaire.

B. Le réemploi et le recyclage dans les chantiers routiers de l'Etat

L'article 79 de la LTECV a introduit des obligations de moyens et de résultats à l'Etat et aux collectivités territoriales pour leurs travaux routiers, afin de les « rendre exemplaires en termes de commande publique »⁴⁰. Ces objectifs visent à **favoriser le réemploi et le recyclage dans les chantiers routiers**. A partir du 1^{er} janvier 2017, 50% des matériaux utilisés dans les chantiers de construction routiers de l'Etat et des collectivités doivent être issus du réemploi, de la réutilisation et du recyclage des déchets. En 2020, ce taux devra atteindre minimum les 60%. Précisément, au moins 20% en masse des matériaux utilisés dans les couches de surface doivent être issus du réemploi, de la réutilisation et du recyclage. Cet objectif passe à 30% en masse pour des matériaux alternatifs utilisés dans les couches d'assise.

L'usage des mâchefers entre en cohérence avec ces objectifs, comme cette pratique s'apparente à une voie de recyclage en boucle ouverte (partie II).

C. La réduction de l'enfouissement des déchets

Dans le cadre de la **Feuille de Route Economie Circulaire (FREC) publiée après la LTECV**, plusieurs objectifs concernent le traitement des déchets. Parmi les 50 mesures déclinées dans cette feuille de route, on retrouve la définition d'un « *cadre économique qui facilite la valorisation plutôt que l'élimination* »⁴¹ et d'un « *cadre réglementaire qui favorise la valorisation des déchets pour l'économie circulaire* »⁴². Si le premier objectif annoncé reste la réduction de la quantité de déchets

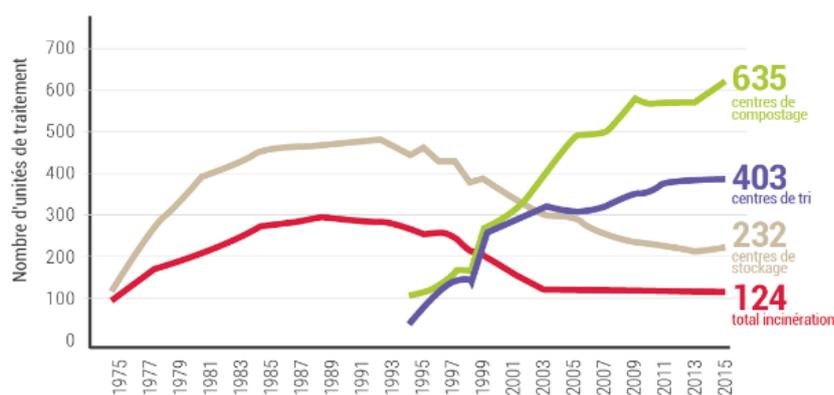


Figure 12. Evolution du parc de traitement des déchets municipaux. SOURCE : ADEME - Déchets - Chiffres-clé, 2018

⁴⁰ ADEME, Fiche technique, *Déchets des travaux publics*, 2017, p. 5

⁴¹ MTES, *Feuille de route pour l'économie circulaire : les 50 mesures*, 2018, p. 26

⁴² MTES, *Ibid.*, p. 31

produits⁴³, il est aussi affirmé que l'envoi de déchets en centre de stockage doit reculer. Les besoins de valorisation des déchets augmentent et par conséquent, tous les traitements préparatoires à une valorisation (incinération, tri, compostage, méthanisation) vont accueillir des quantités croissantes de déchets.⁴⁴ Le parc de traitement des déchets municipaux évolue dans cette direction : les centres de compostage et de tri sont de plus en plus nombreux, et les structures d'incinération des déchets ne diminuent pas pour le moment. Les mâchefers constituent donc des déchets ultimes, qu'il convient, à **court et moyen terme**, de valoriser dans différents exutoires.

Le Paquet Economie Circulaire de la Commission Européenne avait révisé plusieurs directives, notamment celle concernant **l'enfouissement des déchets**⁴⁵. Selon la nouvelle directive de 2018, les déchets municipaux mis en décharge ne devront représenter que 10% du total des déchets produits à l'horizon 2035⁴⁶. Cinq ans supplémentaires de délai peuvent être accordés aux Etats, à certaines conditions (par exemple, la présentation d'un plan de mise en œuvre des objectifs ou un taux de mise en décharge égal ou inférieur à 25% des déchets municipaux en 2035). L'enfouissement doit être réduit car il est source de pollutions diverses.

En France, c'est l'arrêté du 15 février 2016 relatif aux installations de stockage de déchets non dangereux qui encadre la révision l'enfouissement des déchets. La valorisation des mâchefers permet de répondre à cet objectif. Le projet de feuille de route nationale pour l'économie circulaire en cours de discussions ne contient pas d'objectif spécifique aux déchets ménagers et assimilés. Il fixe l'objectif de réduction de 50% des quantités de déchets non dangereux mis en décharge en 2025. Selon Eurostat, le taux de mise en décharge des déchets ménagers en France en 2017 se situe actuellement aux alentours de 22% (sur 34 millions de tonnes de déchets ménagers produites, un peu plus de 7 millions de tonnes sont enfouies)⁴⁷.

⁴³ ADEME, *Déchets – Chiffres-clé – L'essentiel 2018*, p. 9

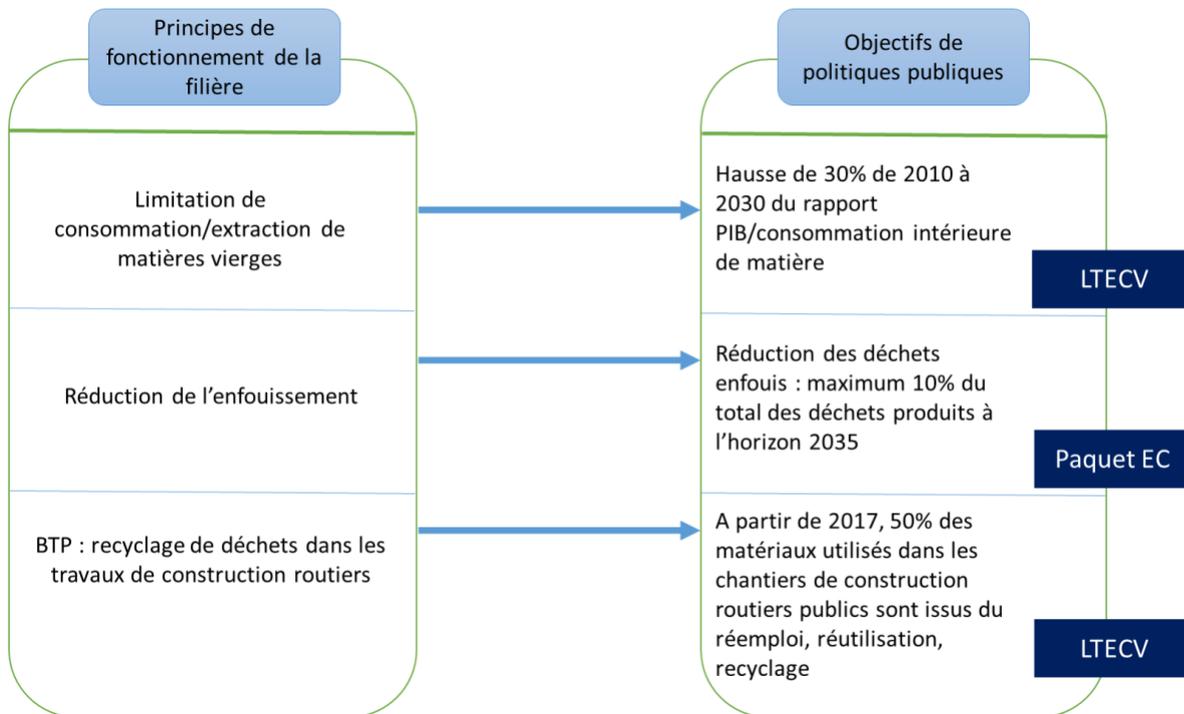
⁴⁴ ADEME, *Ibid.*, p. 13

⁴⁵ Directive 2018/850 du Parlement Européen et du Conseil du 30 mai 2018, modifiant la directive 1999/31/CE concernant la mise en décharge des déchets.

⁴⁶ Article 5 : « *Les Etats membres prennent les mesures nécessaires pour faire en sorte que, d'ici à 2035, la quantité de déchets municipaux mis en décharge soit ramenée à 10% ou moins que la quantité totale de déchets municipaux produite (en poids).* »

⁴⁷ Dataset Eurostat, « Municipal waste by waste management operations », dernière mise à jour : 23 mai 2019

Tableau 2. Récapitulatif de la contribution de la filière mâchefers aux objectifs de politiques publiques.



D. Bénéfices socio-économiques et environnementaux potentiels

Plusieurs bénéfices découlent de l'usage des mâchefers, de nature socio-économique et environnementale.

Premièrement, la valorisation des mâchefers permet de réaliser des **économies financières** pour les collectivités en charge de l'enfouissement des déchets. Une mise en décharge des déchets est environ deux fois plus coûteuse qu'une valorisation. La valorisation des mâchefers permet d'éviter le coût de l'enfouissement des déchets et la taxe générale sur les activités polluantes (**TGAP**), applicables aux déchets, pour le stockage (mise en décharge) et l'incinération. Les dispositions concernant les montants de cette taxe sont fixées par loi de finances pour 2019, dans son article 24.

La feuille de route sur l'économie circulaire vise à rendre la valorisation des déchets moins chère que leur élimination, via cet outil fiscal incitatif. Ainsi, la TGAP progressera de 12€/t en 2021, puis de 11€/t jusqu'en 2025, pour atteindre 65€/t pour les activités d'enfouissement. La multiplication des exutoires de valorisation de ces matériaux s'avère être un enjeu économique important, afin de valoriser le stock entier de mâchefers disponibles et d'éviter le surcoût que représente la TGAP.

Une seconde économie financière, qui concerne les opérateurs publics et privés du BTP, est liée à la différence de prix entre les graves de mâchefers et les matières vierges. Ce gain financier est aujourd'hui plus difficilement mesurable et varie d'un contexte territorial à un autre (distance UIOM/IME/chantier, disponibilité des ressources naturelles, etc.). D'un point de vue plus macroéconomique et à moyen terme, la valorisation des mâchefers contribue à améliorer l'**indépendance** de la filière construction vis-à-vis des matières premières vierges, dont les stocks sont limités. La raréfaction de ces ressources peut concourir à une hausse structurelle de leurs prix⁴⁸.

La valorisation des mâchefers en Île-de-France⁴⁹

Sabine BARLES identifiait en 2008 dans le cadre du métabolisme territorial de la Région Île-de-France (qui comptait 11,3 millions d'habitants à cette date) que celle-ci était « **fortement dépendante de l'extérieur** pour son approvisionnement : l'extraction locale contribu[ait] pour moins de 20% aux entrées de matières (hors oxygène de combustion), bien que seuls 25% du territoire soient urbanisés. »⁵⁰. Son étude basée sur des données datant de 2003 montrait que les entrées de matériaux s'élevaient à 3,2 t/hab dont 1,5 t/hab étaient extraites localement⁵¹. La moitié des matériaux provenait donc de l'extérieur. A ce titre, la thèse de Vincent Augiseau⁵² présentée en 2017 actualise les travaux de Sabine Barles et illustre ce phénomène plus spécifiquement pour les granulats. Entre 2000 et 2008, les ressources primaires en granulats alluvionnaires ont diminué de 24% en surface des ressources totales. De ce fait, l'approvisionnement pour les granulats se fait à une distance de 150 km (en moyenne) hors fret ferré et importations internationales en 2013 en région Île-de-France. La moyenne française est de 42 km.

Les matériaux de construction constituent le plus gros flux entrant des zones urbaines, après l'eau. Or, il est aussi la principale source de déchets.

En 2018, la région compte 12,1 millions d'habitants.⁵³ La demande en matières premières en Île-de-France est toujours en constante augmentation et il existe des interrogations sur la capacité du territoire à y répondre. La région est donc obligée de faire parvenir des matériaux de carrières éloignées et de payer le coût d'acheminement. A ce titre, **la taxe carbone** prévue par le gouvernement pourrait alourdir la facture. De plus, le **phénomène d'urbanisation** réduit les gisements de ressources naturelles accessibles et disponibles et restreint l'ouverture de nouvelles carrières.

⁴⁸ ADEME, *L'épuisement des métaux et minéraux : faut-il s'inquiéter?*, 2017, p. 3

⁴⁹ UNICEM, *Granulats en Ile-de-France, Panorama régional*, 2017, p. 27

⁵⁰ BARLES S., « Comprendre et maîtriser le métabolisme urbain et l'empreinte », *Responsabilité & Environnement*, octobre 2008, p. 21-22

⁵¹ BARLES S., *Ibid.*, p. 23

⁵² AUGISEAU V., *La dimension matérielle de l'urbanisation, flux et stocks de matériaux de construction en Ile-de-France*, 11 décembre 2017

⁵³ Insee.

L'usage des mâchefers en techniques routières dans la région Île-de-France, déjà développé, constitue donc une voie de substitution aux matières premières et permet de réduire les coûts de transports pour les acheminer.

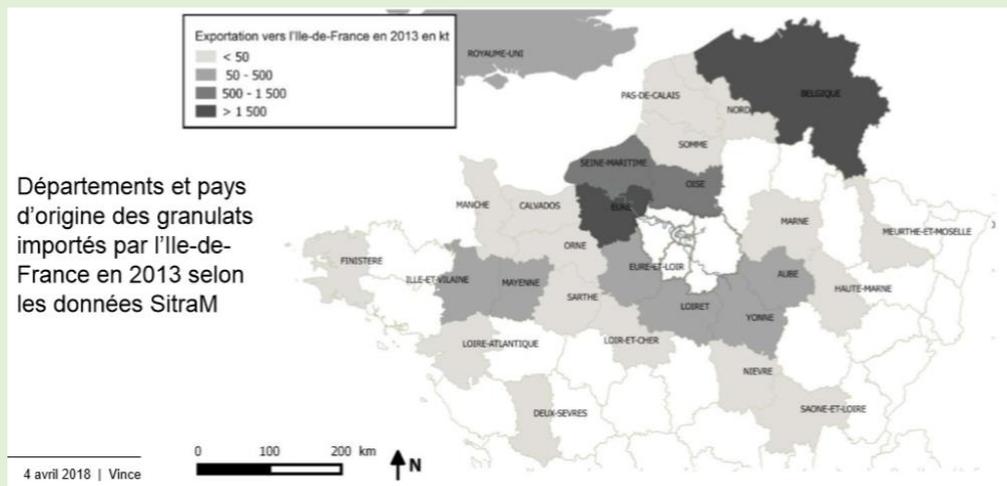


Figure 13. Source : Vincent AUGISEAU, décembre 2017.

L'économie circulaire et la création d'emplois⁵⁴

L'économie circulaire constitue un levier important pour la création d'emplois. Outre les bénéfices environnementaux liés au bouclage des flux de matière et d'énergie, la circulation de l'économie pourrait relancer l'économie des territoires en créant des activités au niveau local.

Tableau 3. Les emplois créés selon le mode de traitement des déchets. Source : ADEME, 2013.

Mode de traitement	Nombre d'emplois créés pour 10 000 t traitées
Mise en décharge	1
Incinération	3 à 4
Compostage ou méthanisation	11
Démantèlement	50

⁵⁴ DEBOUTIERE A., GEORGEAULT L., *Quel potentiel d'emplois pour une économie circulaire ?*, INEC, 2015

La multiplication des débouchés peut être bénéfique à l'échelle locale. En effet, les emplois nécessaires à la valorisation des mâchefers d'un territoire ne sont pas délocalisables. La valorisation des matières pondéreuses dédiées au BTP n'est viable qu'à une échelle géographique limitée. Les acteurs de l'ESS pourront être mobilisés, afin de rendre la filière encore plus vertueuse.

Enfin, la valorisation des mâchefers a d'ores et déjà un impact positif pour l'emploi, qui pourrait être renforcé avec la diversification des voies de valorisation des mâchefers. L'innovation et la recherche de voies de valorisation alternatives est aussi source de nouveaux emplois dans la R&D. L'entreprise **Néo-Eco** en est un exemple.

D'un point de vue environnemental, l'usage de mâchefers a aussi plusieurs avantages, présentés plus haut. Premièrement, il permet **l'économie de matières premières vierges**. Les ressources naturelles peuvent ainsi servir à des usages plus nobles et dont les conditions d'application sont plus strictes (bétons structurants notamment). L'usage de mâchefers permet, de plus, de **réduire la quantité de déchets enfouis**. Enfin, des économies de CO2 sont réalisables si la valorisation s'ancre dans un territoire et n'induit qu'un usage limité des moyens de transports de matériau.

Tableau 4. Récapitulatif des bénéfices socio-économiques et environnementaux potentiels

<p>Bénéfices socio-économiques</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Économies réalisées par rapport à l'enfouissement de déchets (coût enfouissement + TGAP) - Économies réalisées grâce à l'achat des mâchefers, comparé à l'achat de matières premières - Nouvelle activité économique et emplois associés
<p>Bénéfices environnementaux</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Économies de matières premières vierges - Prévention de déchets enfouis - Économies de CO2 et prévention des nuisances environnementales liées à l'extraction de matières vierges (et au transport lorsque la valorisation est « ultra-territoriale »)

IV. État des lieux en France et en Europe

La valorisation des mâchefers présente des avantages et constitue une solution d'économie circulaire pour minimiser l'impact environnemental de la production de déchets. Toutefois, des disparités existent entre régions et entre pays : la valorisation des mâchefers, bien que présentant des avantages, n'est pas la voie systématiquement retenue. La réglementation européenne, quasi-inexistante, révèle une certaine flexibilité dans son appropriation par les Etats membres de l'Union. Cette troisième partie se concentre sur l'état des lieux de la réglementation et des usages à l'échelle française. Dans le but d'explorer les potentielles évolutions à venir, nous présentons également quelques cas étrangers de valorisation des mâchefers.

A. État des lieux réglementaire

Les principes de la réglementation européenne sur les déchets figurent dans la directive cadre du 19 novembre 2008. Celle-ci arrête les grands principes « *tels que l'obligation de traiter les déchets d'une manière qui ne soit pas nocive pour l'environnement et la santé humaine* »⁵⁵. La France a transposé ces principes dans différents codes, principalement le Code de l'environnement. La directive cadre révèle toutefois une transposition différente selon les Etats membres de l'UE. Par la suite, la **valorisation des déchets** a été traitée dans le Paquet Economie Circulaire de la Commission Européenne, dont les mesures ont été votées en avril 2018. Constatant que les matières premières secondaires ne représentent qu'une « *faible proportion des matières de production utilisées dans l'UE* », la Commission Européenne a instauré des **normes relatives « à l'amélioration du suivi des substances chimiques préoccupantes dans les produits** », gages de confiance sur la composition de ces matériaux⁵⁶.

1. L'évolution de la réglementation en 2011-2012 en France

En France, la caractérisation initiale des mâchefers n'était pas obligatoire avant 1994, année de la première réglementation. De plus, avant l'arrêté du 25 janvier 1991, les cendres volantes n'étaient pas séparées des mâchefers. Aucune préparation ou mise en œuvre particulière n'était donc fixée mais

⁵⁵ Directive 2008/98/CE du Parlement Européen et du Conseil du 19 novembre 2008, relative aux déchets et abrogeant certaines directives.

⁵⁶ Commission européenne, Fiche d'information, *Paquet économie circulaire : questions et réponses*, décembre 2015

des graves de mâchefers étaient utilisées en technique routière. Certains travaux ont pu ternir leur image. Une première réglementation est venue encadrer leur usage, à travers la circulaire de 1994.

Toutefois, l'utilisation des mâchefers constituait toujours en 2000 « *une question importante dans la politique des déchets* » car certaines « *interrogations relatives tant aux propriétés mécaniques de ces matériaux dans les structures routières qu'à l'environnement* »⁵⁷ demeuraient. Des études ont été conduites (voir cas d'étude p. 45) pour étudier le comportement des mâchefers en techniques routières avec un recul temporel et une seconde réglementation, en 2011 est venue renforcer le cadre d'application de ce matériau.

Devant la nécessité de transparence concernant les impacts environnementaux, la réglementation de 2011 s'est voulue rassurante. Par exemple, dans cette nouvelle réglementation sur la composition du mâchefer et les matériaux le composant, la quantité en plomb a été divisée par dix et de nouveaux éléments sont à mesurer, comme le baryum, le zinc, le nickel ou encore le chlorure⁵⁸. Des études ont été conduites sur des aspects d'écotoxicologie. Le guide dit « père » SETRA « **Acceptabilité de matériaux alternatifs en technique routière** » de mars 2011 propose une démarche de gestion par l'évaluation du risque que présente le déchet. Ce guide pose en prérequis l'évaluation de la dangerosité du déchet. Si le déchet est non-dangereux, alors sa valorisation peut être envisagée.

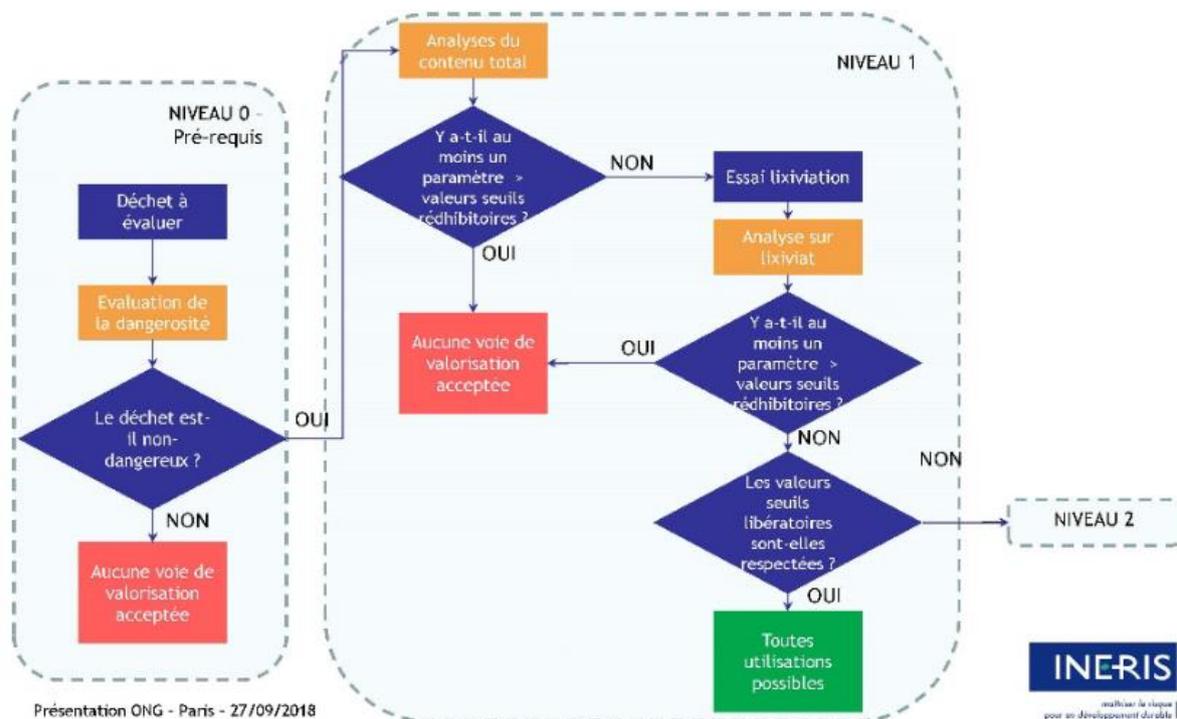


Figure 14. Valorisation en technique routière : la démarche du guide méthodologique SETRA. Source : INERIS, 2018

⁵⁷ FRANCOIS D. et all., « Comportement mécanique et environnemental de deux chaussées anciennes réalisées avec des mâchefers d'incinération d'ordures ménagères », *Bulletin des laboratoires des ponts et chaussées*, n°227, 2000, p. 15.

⁵⁸ INSA Lyon, *Entretien avec Denise Blanc*, « Le mâchefer, un matériau prometteur », mars 2019

Le guide Setra indique aussi quelles peuvent être les limitations d'usage liées à « *l'environnement immédiat* » de l'ouvrage⁵⁹. Les utilisations de graves de mâchefers sont interdites dans plusieurs **zones**, comme les zones inondables, les zones à moins de 30 mètres de tout cours d'eau (les étangs et les lacs compris), les zones de protection des habitats, des espèces, de la faune et de la flore sauvages, les zones rapprochées des captages d'alimentation en eau potable, les zones couvertes par une servitude d'utilité publique instituée, dans les parcs nationaux et dans les zones de karsts affleurant⁶⁰.

De façon générale, la mise en œuvre de travaux routiers est contrainte par la limite de contact avec des eaux météoriques, superficielles et souterraines⁶¹.

L'écotoxicité : un enjeu prégnant de la valorisation des mâchefers

Malgré les précautions prises dans les réglementations, le caractère écotoxique des mâchefers fait l'objet de discussions. Le guide Setra rappelle que « les matériaux alternatifs susceptible d'être utilisés en technique routière ne doivent pas avoir été élaborés à partir de déchets **dangereux** ou contenant une substance radioactive »⁶².

De ce fait, des contrôles géotechniques sont obligatoirement réalisés, pour vérifier la conformité d'usage. Ils sont effectués sur des échantillons prélevés selon un plan de contrôles préalablement défini ou en fonction des demandes des clients⁶³. Ils concernent la teneur intrinsèque en éléments de pollutions et le comportement du matériau à la lixiviation.

Pour l'INERIS, le risque est « bien connu et maîtrisé »⁶⁴. La méthode du guide Setra fait appel à deux niveaux de seuil pour évaluer l'acceptabilité qui se fondent sur un essai normalisé en lixiviation qui « *majore* » l'impact du déchet dans le milieu naturel selon l'INERIS.

Toutefois, rappelle l'INERIS, le comportement des mâchefers s'inscrit dans des interrogations autour des matériaux au comportement potentiellement évolutif⁶⁵. La réalisation des tests sur échantillons pourrait être renforcée selon certains acteurs de la filière, en vue d'assurer une meilleure représentativité des lots entiers. L'annexe 6 du guide Setra 2012 détaille les conditions de prélèvement de ces échantillons (voir Annexe 2).

Enfin, des études d'éco-toxicité pourraient être reconduites de manière régulière pour ré-évaluer la pertinence des seuils d'innocuité définis, en prenant en compte les avancées scientifiques en matière de connaissance des écosystèmes⁶⁶. De telles analyses contribueraient à rassurer les

⁵⁹ Guide SETRA, p. 21.

⁶⁰ Voir p. 6 de la présente étude - encadré : point n°4.

⁶¹ Guide SETRA, *Acceptabilité environnementale de matériaux alternatifs en technique routière*, 2012, p. 22.

⁶² Guide SETRA, *Acceptabilité de matériaux alternatifs en technique routière*, mars 2011, p. 10.

⁶³ Guide SETRA, *Acceptabilité environnementale de matériaux alternatifs en technique routière*, 2012, p. 24.

⁶⁴ INERIS, *Ibid.*, p. 9.

⁶⁵ INERIS, *Ibid.*

⁶⁶ INERIS, *Ibid.*

utilisateurs du matériau. Le **laboratoire DEEP** (Déchets, Eau, Environnement, Pollution) de l'INSA Lyon étudie aussi actuellement la composition du mâchefer pour le rendre encore plus stable⁶⁷.

Des exigences techniques sont normées et spécifiées pour les différentes couches (remblais et couches de forme, couches de structure, remblayage de tranchée).

Tableau 5. Normes et guides applicables à l'utilisation des mâchefers en travaux routiers.

Source : SETRA, 2012.

	Remblai	Remblai de tranchée	Couche de forme	Couche de structure
Grave de mâchefer non traité	Fiche 1 NF P 11-300 [10] GTR [14]	Fiche 2 NF P 98-331 [11]	Fiche 3 NF P 11-300 [10] GTR [14]	Fiche 4 NF EN 13285 [4] Ou NF EN 13242 [2]
Grave de mâchefer traité	Usage non adapté	Fiche 2 NF P 98-331 [11]	Fiche 3 NF P 11-30 [10] GTS [15]	Fiche 4 NF EN 13285 [4] ou NF EN 13242 [2] NF EN 14227-5 [5]

⁶⁷INSA Lyon, *Entretien avec Denise Blanc*, « Le mâchefer, un matériau prometteur », mars 2019

Tableau 6. Synthèse de l'état des lieux réglementaire français concernant la filière mâchefers

Textes réglementaires ou documents de cadrage	Implications pour la filière
<p>Circulaire de mai 1994</p> <p style="background-color: #005596; color: white; text-align: center; padding: 5px; border-radius: 10px; margin: 10px 0;">Remplacée par</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Fixait des premiers seuils acceptables concernant les concentrations de polluants, en se basant sur des moyennes d'échantillons existants - A induit une amélioration globale des pratiques de la filière
<p>Guide SETRA dit « père » - mars 2011 sur l'Acceptabilité de matériaux alternatifs en technique routière</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Cadrage de l'usage des matériaux alternatifs en techniques routières (démarche d'évaluation de l'acceptabilité environnementale de ces matériaux)
<p>Arrêté du 18 novembre 2011 relatif au recyclage en technique routière des MIDND</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Fixation des conditions d'acceptabilité environnementale pour lesquelles les mâchefers peuvent être recyclés en techniques routières (usages 1 et 2) - Définition des seuils propres aux mâchefers (teneur intrinsèque et lixiviation) pour garantir leur innocuité
<p>Guide d'application SETRA dédié aux MIDND publié en octobre 2012</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Déclinaison du guide méthodologique de mars 2011 en guide dédié à l'acceptabilité environnementale des mâchefers

A noter que les filières de la cimenterie au Japon et en Italie (DM 5/2/97 et 5/2/98, décret législatif 152/2006) sont autorisées à incorporer des mâchefers dans le **cru de cimenterie**⁶⁸. La valorisation comme **constituant secondaire d'un ciment** n'est pas encore envisagée car elle implique un broyage fin des mâchefers d'incinération. Le coût de ce traitement est prohibitif pour les acteurs de la filière.

⁶⁸ RECORD, *Qualité et devenir des mâchefers d'incinération de déchets non dangereux, Etats des lieux et perspectives*, octobre 2015, p. 106

2. Benchmark international

Les réglementations et les modes de valorisation varient d'un Etat à l'autre et il n'y a pas de réglementation européenne englobante, comme précisé en début de partie.

Parmi les facteurs qui expliquent les différences de valorisation, l'existence de réserves de ressources naturelles, de foncier disponible etc. ainsi que la culture de valorisation sont importants.

En effet, des différences culturelles en termes de valorisation sont notoires. Aux **Pays-Bas**, par exemple, la valorisation des mâchefers est très développée. Cet état de fait peut s'expliquer par des ressources naturelles limitées et une faible disponibilité en capacité de stockage. En effet, la densité de population est importante, de l'ordre de 507 habitants/km² en 2018 (en France, la densité de population en 2018 se situe autour de 120 habitants/km²) et peu d'espace est laissé pour le stockage (la superficie totale du pays est de 41 500 km²). Un accord a été signé entre le gouvernement hollandais et les IME : le Green Deal. Celui-ci vise une valorisation de 100% d'ici 2020 des mâchefers et oblige les acteurs de la filière à améliorer leur qualité. Le gouvernement s'est engagé à lever tous les obstacles pour atteindre cet objectif. Les usages sont diversifiés : les travaux routiers sont plébiscités, comme en France mais aussi les produits de construction. A noter que les normes de lixiviation sont plus sévères aux Pays-Bas qu'en France⁶⁹.

Le **Danemark** et **l'Italie** sont également des exemples de bonnes pratiques en termes de valorisation des mâchefers.

La valorisation des mâchefers au Danemark⁷⁰

Politiques publiques

Une première mesure incitative datant de 1987 favorisait l'usage des déchets recyclés et des mâchefers. Il s'agissait d'une taxe sur l'utilisation des matières premières.

L'objectif actuel du gouvernement danois, établi dans la Waste Strategy en 2005, est de **valoriser 85% des mâchefers**⁷¹. Cette stratégie a été élaborée par **l'Environmental Protection Agency** (qui part partie du Ministère de l'Environnement et de la Nourriture) : 9 divisions sont basées à Copenhague et 1 autre à Aarhus.

⁶⁹ Présentation Syctom, Forum Mâchefers, 1^{er} juin 2018, Serge Terroni (Maestro Consulting), p. 126

⁷⁰ANKER H., BASSE E., « Les changements en droit et politique de l'environnement au Danemark depuis 2001 », *Revue européenne de droit de l'environnement*, 2004, p. 289

⁷¹ ISWA Report, *Maganement of bottom ash from WtE Plants*, 2006

Elle vise **trois objectifs principaux**⁷² : premièrement, « *la prévention de la perte des ressources naturelles et les dangers à l'environnement causés par les déchets* », ensuite « *le découplage de la génération des déchets de la croissance économique* » et enfin « *l'ambition de parvenir à des solutions rentables avec les activités environnementales à travers un meilleur traitement des déchets et un secteur efficace du déchet.* »

Dans ce cadre, les résidus d'incinération peuvent être utilisés sans l'octroi d'une permission par un acteur public mais leur usage doit être notifié aux autorités.

Usages

Au Danemark, les mâchefers sont principalement utilisés pour **les travaux routiers**. En effet, 98% des mâchefers danois sont utilisés comme **granulats de sous base** pour des routes, des parkings, des digues et des voies d'accélération des autoroutes. Ils peuvent aussi servir à la construction de bâtiments industriels.

The Danish Road Directorate est, par conséquent, un acteur majeur dans la valorisation des mâchefers. *The Danish Road Directorate* est un organisme public qui supervise la construction et le maintien des routes publiques du pays. Les routes publiques représentent 4 000 km soit 5% du réseau routier du Danemark mais comptent pour 45% du total des trafics dans le pays, ce qui en fait une portion non-négligeable.

Toutefois, **quelques freins subsistent**. La lixiviation des métaux/des sels pose une barrière à l'usage des mâchefers, car le DK s'appuie fortement sur les eaux souterraines pour extraire de l'eau potable. La protection des eaux souterraines est très stricte dans la mesure où **99% de l'eau potable au Danemark est d'origine souterraine**⁷³. Les « *Soil Protection Act Requirements* » peuvent donc faire baisser la demande en mâchefers. De plus, des disparités régionales sont à noter, comme en France. Elles sont principalement dues à la qualité perçue du matériau et à une mauvaise connaissance de la législation : « *the local authorities tend to have an emotional approach to the subject, influenced by public opinion* » (p. 46).

La valorisation des mâchefers en Italie

Politiques publiques

Le traitement des déchets est régulé par le décret n°22 du 5 février 1997 « Décret de Ronchi » (du nom de son rédacteur, le Ministre de l'Environnement). Adopté pour combler les lacunes du système italien

⁷² ANKER H., BASSE E., « Les changements en droit et politique de l'environnement au Danemark depuis 2001 », *Revue européenne de droit de l'environnement*, 2004, p. 289

⁷³ Cours introductif sur les eaux souterraines, Université Virtuelle Environnement et Développement Durable, Chimie de l'environnement, 2008

et l'adapter aux normes européennes. Cette réforme a permis la création d'une filière intégrée du traitement des déchets, s'occupant des activités de ramassage, tri, stockage et valorisation. Deux objectifs étaient fixés : réduire la quantité de déchets produits et promouvoir leur recyclage/leur valorisation sous différentes formes. Démantèlement de l'organisation de la gestion des déchets fondée sur le réseau de décharges municipales.

Ce décret contraint aussi l'usage des mâchefers à un traitement préalable.

Usages

Les usages possibles sont définis par le **décret ministériel du 5 février 1998** : ciment, agrégat, remblais.

En Italie (DM 5/2/97 et 5/2/98, décret législatif 152/2006), les cimenteries sont autorisées à incorporer des mâchefers dans le **cru de cimenterie**.

B. État des lieux de l'utilisation des mâchefers en France

L'usage et la valorisation des mâchefers en France est fonction de plusieurs paramètres : la présence d'installations nécessaires à la maturation et la préparation des graves, la motivation des maîtres d'ouvrages concernant l'intégration des matériaux alternatifs, les conditions géologiques requises, etc. De ce fait, la valorisation des mâchefers n'est pas uniforme selon les régions et ne permet pas toujours d'écouler l'ensemble des stocks de matériaux disponibles.

1. Bilan quantitatif de la valorisation des mâchefers

Rappel : les données citées dans cette partie sont issues de l'enquête d'AMORCE conduite en 2016 et publiée en 2018 auprès des unités de traitement thermique et des IME⁷⁴. Un questionnaire a donc été envoyé à 115 maîtres d'ouvrages représentant 119 unités (sur 122 unités identifiées, 3 étant en arrêt ou en instance de fermeture) et à 65 maîtres d'ouvrages d'IME (sur 75 IME identifiées). 62 questionnaires sont revenus des maîtres d'ouvrage d'unités de traitement thermique et 37 questionnaires sont revenus des maîtres d'ouvrage d'IME. L'échantillon étudié ne couvre donc pas l'ensemble des installations de production de mâchefers mais assure une bonne représentativité.

⁷⁴ AMORCE, ANGM, UMPG, *Etat des lieux du recyclage des mâchefers (DT 92)*, 2018

Flux des mâchefers en entrée et sortie d'IME en 2016

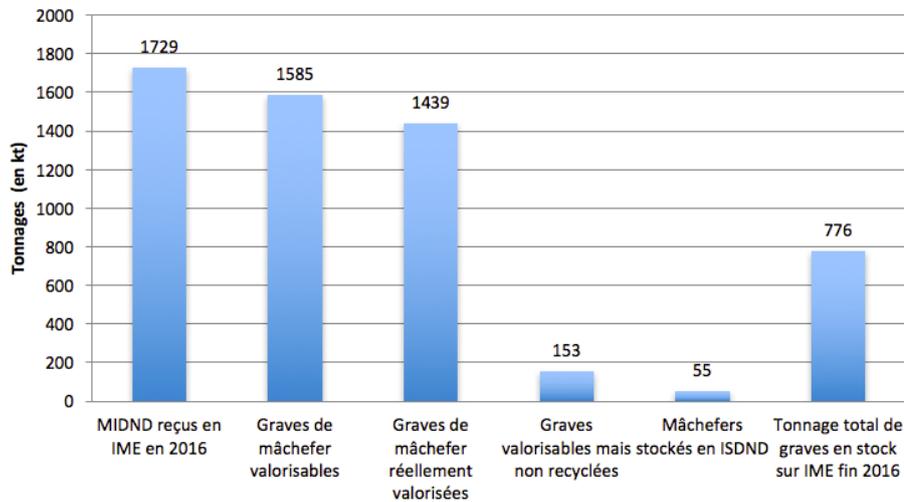


Figure 15. Etat quantitatif des flux de mâchefers en entrée et sortie d'IME en 2016. Source : AMORCE, 2016.

Selon cet échantillon, 92% des mâchefers reçus en IME sont valorisables mais 83% sont réellement valorisés. Les 9% restant ne sont pas recyclées, faute d'exutoires et sont donc soit stockées en IME en fonction de la place disponible et de leur date d'entrée, soit envoyées en installations de stockage des déchets non dangereux (figure 17). 776 Kt de mâchefers valorisables sont stockées dans les IME en fin d'année (figure 16). Mais rappelons que ce stockage **ne peut excéder 3 ans**.

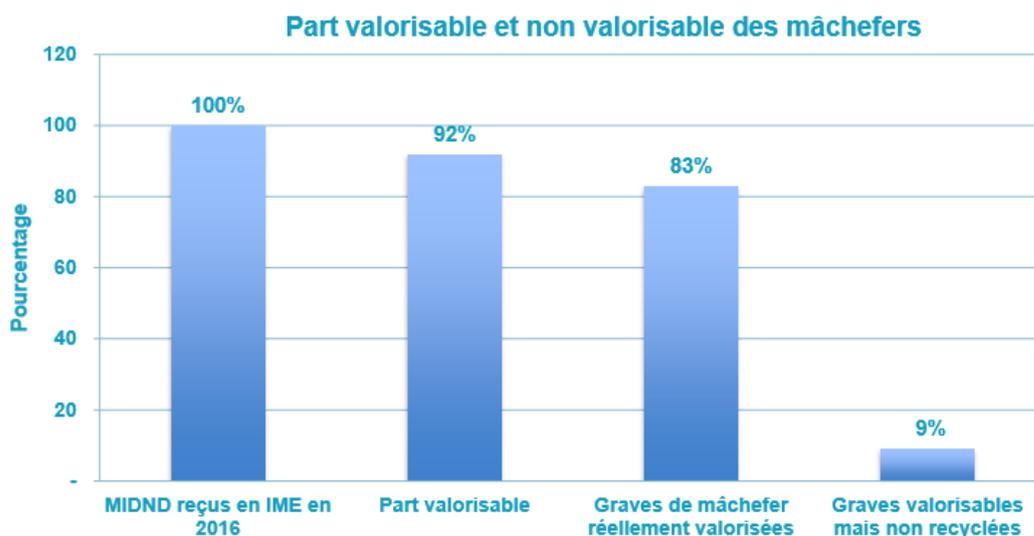


Figure 16. Parts valorisable et non-valorisable des mâchefers en pourcentages, 2016. Source : AMORCE, 2018.

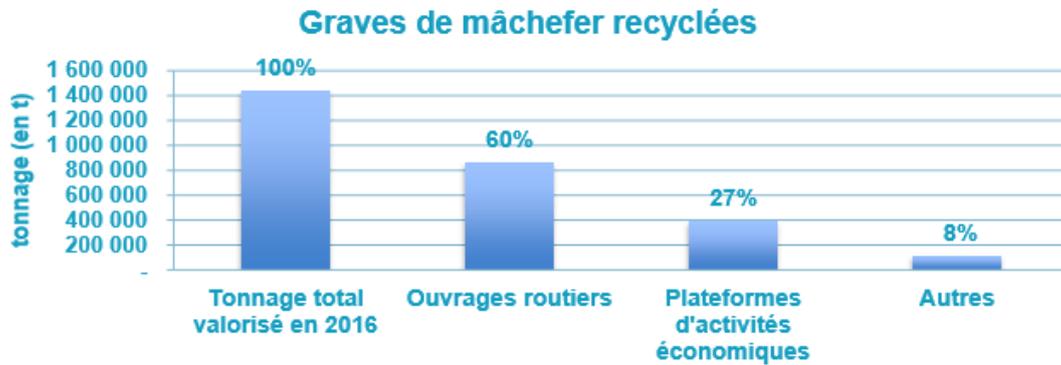


Figure 17. Répartition des modes de recyclage des mâchefers en 2016. Source : AMORCE, 2018.

L'usage routier est le plus développé (figure 18) mais est en baisse (60% des mâchefers valorisés comptabilisés par l'étude Amorce en 2016 contre 73% en 2011). Selon ces données, **des progrès sont réalisables en termes de recyclage des mâchefers valorisables** (usage routier et autres usages à développer). En effet, la part de mâchefer valorisable stockée en IME ou envoyée en ISDND est porteuse d'enjeux et **révèle un manque d'exutoires de valorisation**.

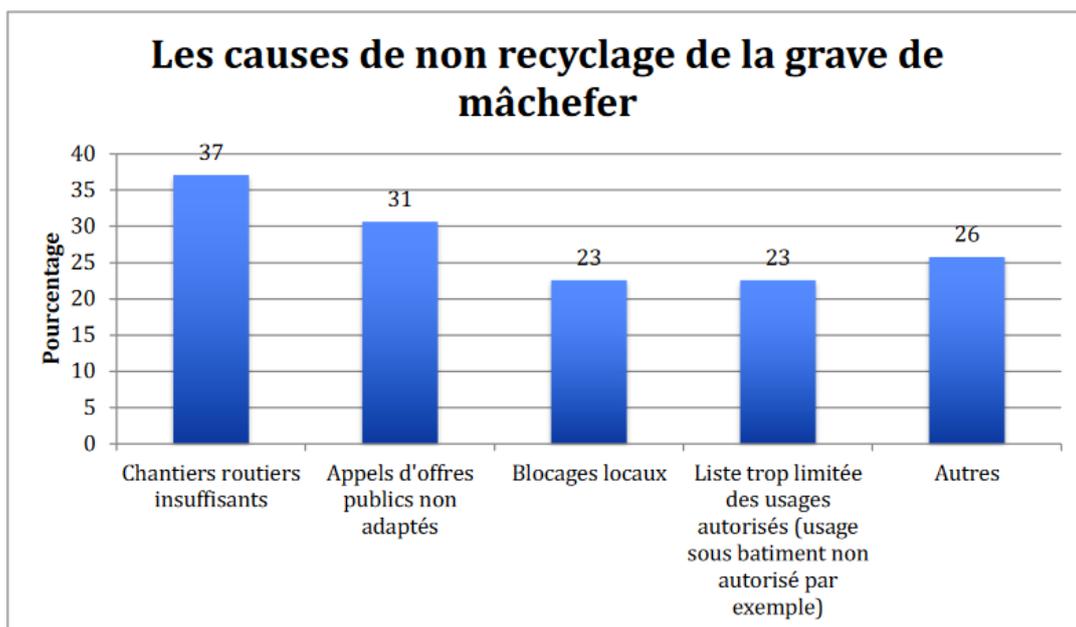


Figure 18. Les causes de non-recyclage de la grave de mâchefer. Source : Enquête Amorce (62 réponses), 2016

D'après la figure ci-dessus, également extraite de l'enquête d'AMORCE (Référence DT 92) datant de 2016⁷⁵, les causes évoquées de non-recyclage de la grave de mâchefer pour les maîtres d'ouvrage et exploitants sont d'abord le manque de chantiers routiers, puis le manque d'appels d'offres publics adaptés, des blocages locaux et une liste trop limitée des usages autorisés. Ensuite, viennent des

⁷⁵ AMORCE, ANGM, UNPG, *Etat des lieux du recyclage des mâchefers en France (DT 92)*, 2018, p. 22

appels d'offre publics non adaptés, des blocages locaux et des listes trop limitées des usages autorisés. Ces blocages sont davantage détaillés et discutés dans la partie IV de l'étude. La question de l'insuffisance des chantiers routiers traduit la complexité à trouver des débouchés pertinents sur le territoire et souligne de nouveau la nécessité de diversifier les voies de valorisation des mâchefers.

2. Disparités régionales dans la valorisation des mâchefers

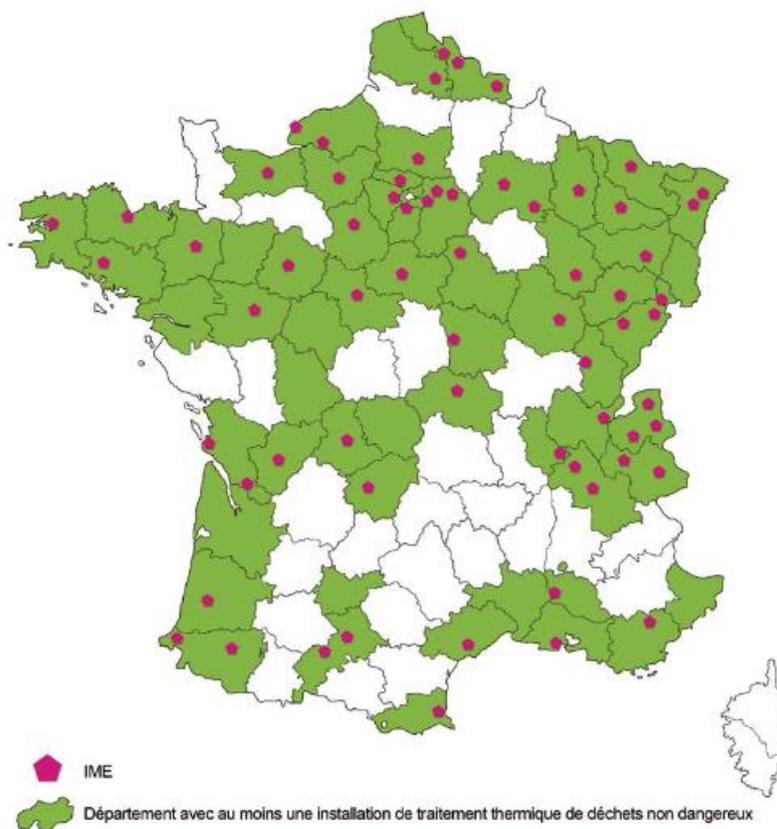


Figure 19. Implantations françaises métropolitaines des installations de traitement thermique de déchets non-dangereux et des IME de MIDND. Source : Guide SETRA.

La carte de France ci-contre présente les implantations d'IME dans les départements. Certains départements n'en sont pas pourvus ce qui rend la valorisation des mâchefers à l'échelle locale moins facile. De plus, les IME ont des capacités limitées et ne peuvent pas stocker les mâchefers, par manque d'espace disponible ou parce que la durée maximale de stockage est de 3 ans (limite fixée par l'autorisation administrative). Rappelons ici l'importance de trouver des exutoires et/ou de diversifier les voies valorisation.

La valorisation des mâchefers en France est aussi fonction des zones dans lesquelles ils peuvent être appliqués. Comme précisé plus haut, les graves de mâchefers ne peuvent pas être valorisées dans les **zones de karsts affleurant**, par exemple. Selon une ébauche de carte élaborée par l'Association Internationale des Hydrogéologues en 2017, environ 13,8% de la surface du territoire européen sont des affleurements de roches carbonatées⁷⁶. On considère qu'une roche qui contient au moins 75% de minéraux carbonatés est karstique⁷⁷. Toutefois, ce pourcentage n'est donné qu'à titre indicatif : il peut varier en fonction des conditions climatiques ou géologiques.

Cette interdiction d'usage des mâchefers dans ces zones particulières fait sens au regard de l'usage qui peut être fait des eaux souterraines, qui s'accumulent, circulent et émergent dans le karst. On parle alors de « zone aquifère ». Les aquifères karstiques contribuent à une part significative de notre apport en **eau potable**. Or, ils sont sensibles aux pollutions⁷⁸. Par exemple, la région Occitanie fait un petit usage des mâchefers, du fait de la présence d'un large aquifère, qui alimente les villes de l'Hérault. Il en va de même pour la région PACA, où les zones karstiques sont nombreuses⁷⁹. Il est donc nécessaire de bien identifier les zones géographiques où des graves de mâchefers (teneur en éléments polluants et comportements à la lixiviation) seraient valorisées, afin d'éviter toute pollution des eaux souterraines dans les zones concernées.

Les zones présentant une « *sensibilité particulière vis-à-vis des milieux aquatiques* » ne sont pas les seules concernées par une interdiction de valorisation des mâchefers en technique routière. Les graves de mâchefers ne peuvent pas être appliquées dans d'autres zones (voir Annexe 1) : les zones couvertes par une servitude d'utilité publique instituée, les zones désignées comme zone de protection des habitats des espèces, de la faune et de la flore sauvages en application de l'article L. 414-1 du code de l'environnement et les parcs nationaux.

Enfin, outre ces aspects géologiques, c'est l'acceptabilité des mâchefers et le portage politique des maîtres d'ouvrages qui induisent les plus grandes disparités entre les régions. Il est à noter que « les caractéristiques physico-chimiques des mâchefers présentent une variabilité importante, liée à la composition des déchets entrants dépendant **elle-même de la région**, du **type de collecte** (présence ou non de tri sélectif en amont), de la saison mais également du type d'incinérateur (notamment pour les fours à lit fluidisé) et de son mode de conduite (excès d'air, temps de séjour...) »⁸⁰. Cette variabilité peut avoir un impact sur **la qualité réelle** du mâchefer. L'amélioration du service de collecte et de traitement des déchets peut donc contribuer à rassurer les maîtres d'ouvrages concernant l'utilisation des mâchefers, même si ce sont bien *in fine* les contrôles et la traçabilité de la filière qui garantissent la qualité des graves de mâchefers utilisées.

⁷⁶ International Association of Hydrogeologists, 2017

⁷⁷ International Association of Hydrogeologists, *The world karst aquifer mapping project : concept, mapping procedure and map of Europe*, Springer (disponible en ligne), 2017

⁷⁸ International Association of Hydrogeologists, *The world karst aquifer mapping project : concept, mapping procedure and map of Europe*, Springer (disponible en ligne), 2017, p. 783

⁷⁹ Entretien Patrick VAILLANT (CEREMA), 05/03/2018

⁸⁰ RECORD, *Synthèse étude n°12-0241/1A*, 2015, p.7

V. Freins et leviers à la valorisation des mâchefers

Comme cela est décrit dans les parties précédentes, la filière de valorisation des mâchefers d'incinération s'intègre pleinement au cadre théorique et opérationnel de l'économie circulaire lorsqu'elle est mise en œuvre de manière vertueuse (application de la réglementation environnementale, cohérence avec la hiérarchie de traitement des déchets, ancrage territorial, etc.).

L'usage de mâchefers reste toutefois confronté à un ensemble de freins, déjà partiellement évoqués dans la partie précédente, qui sont susceptibles de bloquer la valorisation des mâchefers et de conduire à leur enfouissement. Ces enjeux sont récapitulés ci-après et consolidés en trois grandes catégories :

- Les **freins d'ordre sociétaux** liés à l'acceptabilité et à la qualité perçue du matériau ;
- Les **freins d'ordre techniques et réglementaires** liés aux contraintes d'utilisation des mâchefers ;
- Les **freins d'ordre économiques** liés à la spécificité et à la taille de la filière.

Plusieurs leviers de politiques publiques doivent donc être envisagés pour répondre à ces différents freins. Ces leviers « classiques » de l'économie circulaire peuvent eux-mêmes être répartis en quatre catégories :

- **Une sensibilisation et une formation** des parties prenantes, des citoyens aux décideurs en passant par l'ensemble des professionnels de la construction ;
- **Un portage politique fort** au service du déploiement de la filière ;
- **Une fiscalité et des financements incitatifs** permettant de valoriser les bénéfices environnementaux de la filière ;
- **Une réglementation adaptée** rassurant les maîtres d'ouvrage et favorisant l'innovation.

Enfin, les différents acteurs économiques de la filière peuvent eux aussi adapter leurs pratiques et envisager des actions concrètes visant à consolider l'intégration de la filière mâchefers dans la transition vers l'économie circulaire.

A. Freins sociétaux et leviers

Comme mentionné dans la partie « analyse quantitative » de l'étude d'AMORCE menée en 2016 **auprès des UIOM et des IME**, plusieurs freins sociétaux viennent expliquer la non-valorisation des

mâchefers dans certaines régions. Ces freins ont également été référencés du côté « Maîtres d'ouvrage » puisqu'Amorce a également conduit une enquête auprès des conseils départementaux⁸¹, dont les résultats sont affichés ci-dessous. L'enquête est basée sur un questionnaire, envoyé en juin 2017 aux conseils départements français. Sur 96 questionnaires envoyés au CD (excepté les territoires d'Outre-Mer qui n'ont pas d'installations de traitement thermique et d'IME sur leurs territoires, sauf la Martinique), 44 ont été retournés et donc ont été exploités pour l'étude.

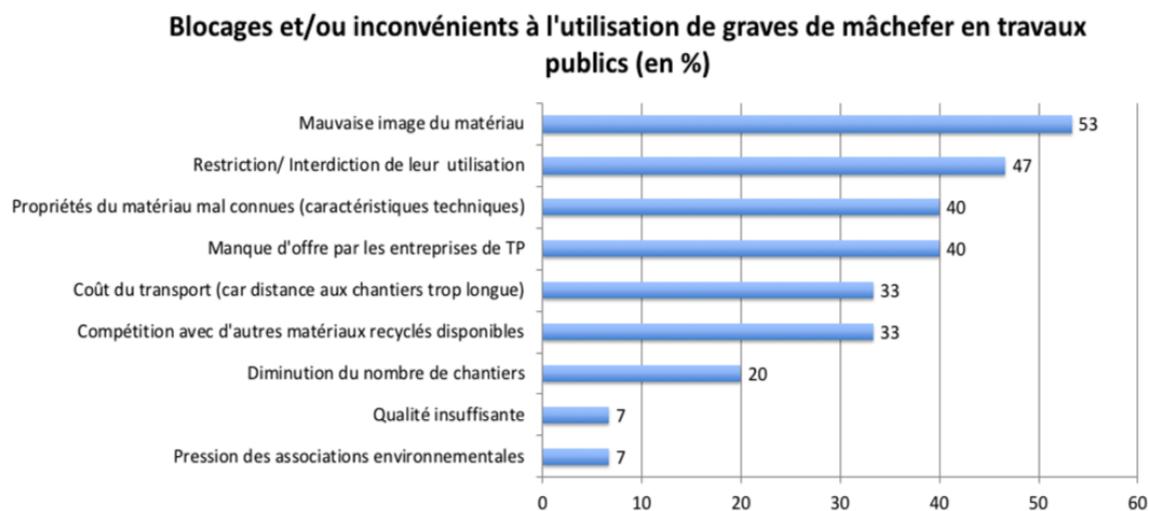


Figure 20. Blocages et/ou inconvénients à l'utilisation des graves de mâchefers. Source : AMORCE, 2018, DT 91, p. 12.

La figure 20 ci-dessus se base sur un échantillon de 15 CD car seul un tiers des CD ayant répondu à l'enquête ont recours à l'utilisation des graves de mâchefers dans les TP placés sous leur maîtrise d'ouvrage. Cela correspond à 15 CD. Pour les conseils départements qui utilisent des mâchefers, on note que la « mauvaise image du matériau » est la principale raison du blocage à leur utilisation. Les restrictions/interdictions viennent ensuite. Les propriétés du matériau sont aussi mal connues. L'ordre de ces raisons est sensiblement différent pour les CD non-utilisateurs, qui sont présentées sur la figure 21.

⁸¹ AMORCE, ANGM, UNPG, *Enquête : Recyclage des graves de mâchefer en travaux publics (DT 91)*, 2018.



Figure 21. Raisons pour lesquelles les CD n'utilisent pas de mâchefer. Echantillon : 29. Source : Amorce, p. 12.

En effet, pour ces CD, la principale raison évoquée est le manque d'offres par les entreprises de travaux publics (alors que cette raison est classée 4^{ème} pour les CD en utilisant) et le manque de connaissance du matériau. On remarque que la mauvaise image du matériau n'est citée que par 10% des conseils départementaux qui n'utilisent pas de mâchefer (l'échantillon recouvre 29 CD).

Tout d'abord, il est important de noter que **l'historique** du matériau est encore source de réticences. Même si les réglementations se sont voulues plus exigeantes en termes de traçabilité et de conditions d'application et que les risques sont désormais bien maîtrisés, certains maîtres d'ouvrages sont réticents du fait du caractère « peu encadré » de la filière à ses débuts. Des rapprochements ont alors pu être faits avec des filières ayant causé des problématiques environnementales et/ou sanitaires importantes, à la décharge de la filière mâchefer qui a pourtant fait l'objet d'études scientifiques et d'une amélioration des pratiques au fil des années.

Cas d'étude : l'usage des mâchefers avant 1994

Etude : FRANCOIS D. et all., « Comportement mécanique et environnemental de deux chaussées anciennes réalisées avec des mâchefers d'incinération d'ordures ménagères », *Bulletin des laboratoires des ponts et chaussées*, n°227, 2000, pp. 15-30.

Une étude a été menée pour étudier les comportements des mâchefers utilisés avant la réglementation de 1994, « dans des régions où l'approvisionnement en granulats naturels et la saturation des décharges ont pu engendrer des difficultés » afin de comprendre l'évolution du matériau. Comme précisé plus haut, aucune réglementation n'était à l'œuvre avant 1991 : les conditions initiales d'application des mâchefers pouvaient donc être considérées comme « a priori défavorables »⁸². Dans le cadre de cette étude, les chercheurs ont exclu de leur champ d'analyse les structures faites de mâchefers et de liants. Les deux sites retenus se trouvent à La Teste (en Gironde) sur le bassin d'Arcachon et le second sur la commune du Mans (Sarthe). Dans le premier cas, les mâchefers ont été mis en œuvre en couche de fondation en 1976 sur une voie d'accès l'usine d'incinération du District Sud Bassin. Dans le second cas, les mâchefers ont été mis en œuvre sur une chaussée urbaine en couche de fondation en 1978.

Il n'a été observé aucun désordre dans la structure des chaussées d'un point de vue externe. D'un point de vue interne, les chaussées ont montré un bon comportement mécanique. Il a été montré que la couche de mâchefers pouvait influencer les premiers centimètres dans le sol sous-jacents. Par exemple, l'aluminium est bien représenté dans le sol sous-jacent et montre une légère augmentation due à sa migration à partir de la couche de mâchefers. Une hypothèse est émise quant à la mobilité des métaux les premiers temps, notamment dans les sols drainants, comme celui de la Teste. Néanmoins, les chercheurs ont montré que « leurs concentrations sont toujours très inférieures aux valeurs limites de pollution »⁸³.

Les chercheurs concluent leur étude en jugeant « *satisfaisant* » l'état actuel des chaussées analysées et de l'environnement alentour. Néanmoins, ils recommandent fortement de mener d'autres inspections de chaussées « ***pour tirer des conclusions définitives sur les conditions d'utilisation des mâchefers en construction routière.*** »⁸⁴

A cela s'ajoute un déficit d'image, dû à un aspect et une odeur parfois rébarbative. La **qualité perçue** du matériau reste donc assez négative.

Les éléments de langage associés au mâchefer sont généralement peu engageants. Son **statut de « déchet »** est associé à un manque de qualité, problématique rencontrée plus largement dans

⁸² FRANCOIS D. et all., *Ibid.*, p. 16.

⁸³ FRANCOIS D. et all., *Ibid.*, p. 29.

⁸⁴ FRANCOIS D. et all., *Ibid.*, p. 29.

l'économie circulaire. Les qualités géotechniques et environnementales du mâchefer ne sont pas assez valorisées et connues, alors qu'elles sont généralement équivalentes, voire supérieures, à celles des matières vierges. Le fait que la principale voie de valorisation (sous-couches routières) reste à « faible valeur ajoutée » ne contribue pas non plus à améliorer la qualité perçue du mâchefer. Les acteurs de la filière relèvent donc un déficit d'image et une méconnaissance du matériau. Des progrès importants sont à réaliser en termes de communication sur les atouts du matériau et sur les bénéfices de la filière.

La **conduite du changement** est aussi un frein majeur à la valorisation des mâchefers : les matériaux naturels et autres matériaux alternatifs sont utilisés et connus depuis longtemps par les maîtres d'ouvrage publics et privés, ainsi que par les maîtres d'œuvre sur le terrain. Sans volonté politique forte d'intégration des mâchefers, les économies de coût liés à la valorisation des mâchefers ne sont pas suffisantes pour induire un véritable changement d'habitudes des opérateurs du BTP.

Enfin, le phénomène de NIMBY « Not in my backyard » (traduit par « pas dans mon arrière-cour »), inhérent aux activités de l'économie circulaire existe également pour les mâchefers. Que ce soit pour l'installation de nouvelles installations de maturation et d'élaboration des mâchefers ou pour leur utilisation dans les travaux publics, les acteurs de la filière sont confrontés à une problématique d'acceptabilité de leurs activités.

Leviers

Deux leviers de l'économie circulaire peuvent être mobilisés pour les freins sociétaux.

L'information et la formation constituent le premier levier mobilisable. Pratiquement, il s'agit de produire des retours d'expériences réussis, comme ceux présentés via la plaquette d'AMORCE « *Recueil d'exemples de chantiers ayant valorisé des mâchefers* », publié en décembre 2014. Le CEREMA a également publié une plaquette d'informations « *Les graves de mâchefers en technique routière : un matériau à valoriser !* » en juillet 2016 dans lequel sont aussi présentés quatre retours d'expérience (Reims Métropole, Métropole Européenne de Lille, Conseil Départemental de Seine-et-Marne, Conseil Départemental de Savoie). Ces retours d'expériences mettent en valeur les bénéfices environnementaux et économiques de la valorisation des mâchefers auprès des maîtres d'ouvrages et AMO.

Retour d'expérience : le PRVAL, syndicat mixte de valorisation des déchets du Haut-Doubs

Le Preval, syndicat mixte de valorisation des déchets, conduit son activité sur les 7 communautés de communes du Haut-Doubs adhérentes à la structure. Dès 2001, les installations d'incinération ont été équipées de chaînes de traitement pour valoriser les 80 000 tonnes d'ordures issues des collectivités chaque année, avec un objectif de valorisation de 100%. Le Preval est resté maître d'ouvrage des installations dans une volonté politique de pouvoir valoriser au mieux les ressources du territoire. Pour

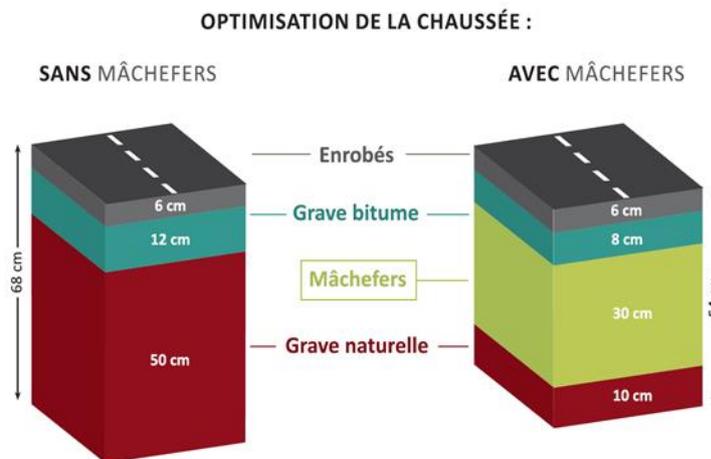


Figure 22. La valorisation des mâchefers en techniques routières, par PREVAL. Source : site internet, 2019

En présentant les qualités environnementales et géotechniques du matériau et grâce à des **campagnes de communication** et des **démonstrations de chantiers expérimentaux**, ce matériau est devenu facilement accepté par les maîtres d'ouvrage. Le flux de mâchefers est donc **entièrement absorbé** et des projets d'envergure sont entrepris, comme par exemple, des **structures parking** de 3000 mètres carré.

trouver des exutoires aux **5 000 tonnes de mâchefers produites**, un **liant hydraulique est ajouté aux mâchefers** afin de produire un matériau aux qualités supérieures à celles des matériaux vierges et utilisables en couches plus minces.

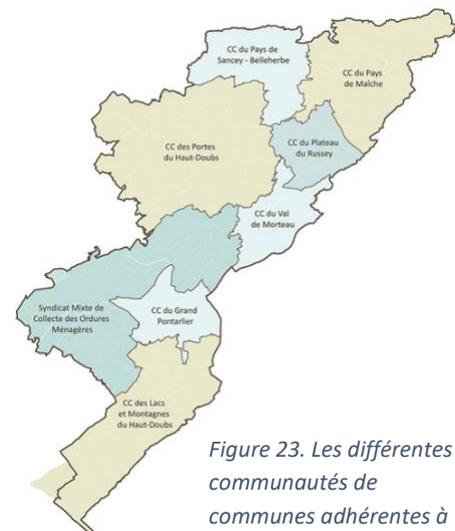


Figure 23. Les différentes communautés de communes adhérentes à Preval

Le public « citoyen » (moins expert) doit aussi être sensibilisé à ces enjeux. Pour ce faire, il est essentiel de revoir les éléments de langage de la filière afin de les rendre plus pédagogiques et transparents. La présentation des mâchefers comme une solution locale et créatrice d'emplois face à une production de déchets problématiques est un moyen de responsabiliser le public. L'organisation de journées portes ouvertes dédiées à la découverte des UIOM/IME peut être une solution et

contribuer à l'éducation des citoyens aux bonnes pratiques basées sur la hiérarchie de traitement préférentiel des déchets.

Inclure des formations sur les déchets et leurs valorisations possibles dans l'enseignement supérieur et professionnel lié au BTP est également nécessaire. L'intégration des matériaux alternatifs doit à terme devenir la norme et être pleinement ancrée dans les pratiques des professionnels.

Le **portage politique** constitue le second levier pertinent à activer pour lever les barrières sociétales. Les pouvoirs publics ont un rôle à jouer dans la promotion et la valorisation des mâchefers, en incluant des objectifs spécifiques à la valorisation des mâchefers dans les travaux publics pour l'Etat et les collectivités (ils ne peuvent actuellement pas être intégrés aux objectifs de recyclage plus globaux du fait de la réglementation européenne).

Il est aussi possible de proposer un projet de label destiné aux opérations d'intégration des mâchefers, afin de les valoriser publiquement. Les meilleures pratiques de valorisation des mâchefers sont liées à un portage politique fort.

Tableau 7. Récapitulatif des freins sociétaux.

Freins sociétaux	Leviers apportés par l'économie circulaire
Historique du matériau Méconnaissance des qualités géotechniques et environnementales Mauvaise qualité perçue par les maîtres d'ouvrages	Communiquer des retours d'expériences positifs et déployer l'offre de formation
Conduite du changement	Portage politique : objectifs de politiques publics (tout type d'acteurs), mesures, label...
NIMBY Rejet des citoyens et des associations environnementales	Valoriser les bénéfices socio-économiques et environnementaux de la filière Conduire des études environnementales

B. Freins réglementaires et freins techniques et leviers correspondants

Des freins d'ordre réglementaire contraignent aussi la valorisation des mâchefers. Comme présenté dans l'enquête d'AMORCE réalisée auprès des UIOM/IME, les appels d'offre sont parfois « *inadaptés* ». Il est en effet plus complexe pour les prescripteurs d'établir des cahiers des charges encourageant l'utilisation des mâchefers, plutôt que des matières vierges ou d'autres matériaux alternatifs (cadre réglementaire plus contraignant).

Le statut de déchet, déjà évoqué dans les freins sociétaux, peut ainsi constituer une charge supplémentaire car il implique des mesures de traçabilité, de définition des responsabilités (entre producteur et utilisateur), un coût et un temps d'analyse spécifique, qui intègre notamment l'étude des conditions géologiques locales. Les mâchefers ne peuvent pas être valorisés en techniques routières partout, comme cela a été décrit en partie III. Cette **complexité** peut accentuer le **manque de motivation** des maîtres d'ouvrages pour intégrer les graves de mâchefers dans leurs appels d'offre.

Les contraintes temporelles liées au stockage des mâchefers en IME peuvent aussi être problématiques : la durée maximale de stockage est de 3 ans. Si aucun exutoire n'est trouvé pour un lot de mâchefer valorisable au-delà de cette période, celui-ci sera donc envoyé en ISDND.

Enfin, des freins d'ordre technique et réglementaire peuvent limiter les possibilités de valorisation des mâchefers. En effet, la présence résiduelle possible de métaux ferreux ou non ferreux est susceptible de bloquer les usages à plus haute valeur ajoutée (remblais sous-bâtiment, production d'un « granulat de mâchefer », etc.). A ce titre, les acteurs économiques de la filière doivent s'aligner sur les meilleures pratiques de traitement existantes, tandis que les pouvoirs publics doivent faciliter l'établissement de voies de valorisation à plus haute valeur ajoutée lorsque les conditions techniques et environnementales le permettent.

Leviers

La mobilisation du levier « réglementaire » de l'économie circulaire est nécessaire pour répondre à ces freins. Il s'agit de s'adapter les réglementations existantes, pour encourager l'innovation et améliorer les usages et les comportements des acteurs.

Tout d'abord, l'utilisation d'outils de politiques publics innovants, tels que le Green Deal⁸⁵ mis en œuvre aux Pays-Bas, contribuerait à rassurer les maîtres d'ouvrage publics et privés, tout en incitant l'ensemble des acteurs de la filière à s'aligner sur les meilleures pratiques existantes. Autoriser d'autres voies de valorisation, en plus des techniques routières, permettrait en outre de diversifier les exutoires potentiels et d'améliorer sa qualité perçue. Le **développement d'outils cartographiques** référençant les zones autorisant l'utilisation des mâchefers permettrait également de faciliter leur mise en œuvre. Nous en donnons un exemple dans l'encadré ci-dessous mais d'autres logiciels existent.

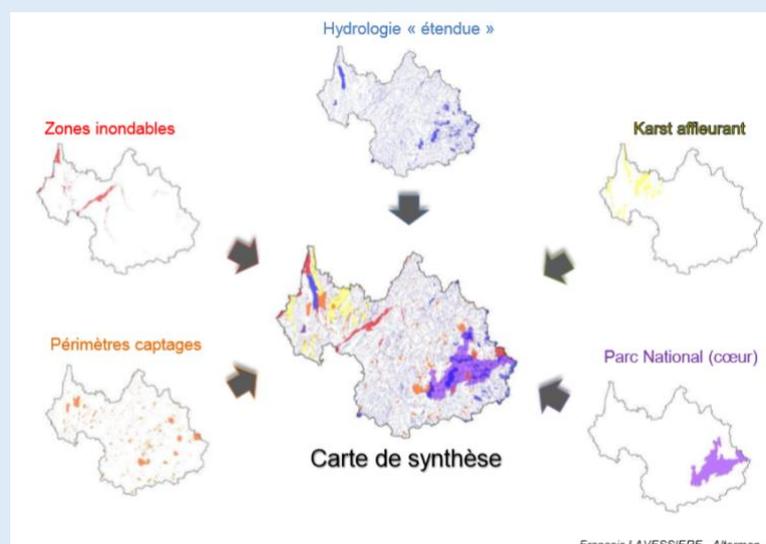
⁸⁵ INEC, *Focus sur le Green Deal, un outil au service de l'économie circulaire*, décembre 2015

Altermap, logiciel d'aide à la décision dans la valorisation des matériaux alternatifs en technique routière⁸⁶

En 2012, le Bureau d'Etudes Altermap a développé un **logiciel** de cartographie environnementale et de traçabilité des matériaux alternatifs. La méthodologie a été établie en lien avec les principales institutions concernées : le CEREMA, le BRGM, plusieurs DREAL et la DGPR. Cette application accompagne les maîtres d'ouvrages et maîtres d'œuvres dans leurs projets de construction routière qui valorisent des matériaux alternatifs (mâchefers d'incinération, laitiers sidérurgiques, matériaux de déconstruction issus du BTP) utilisés comme remblai. Le service a démarré en 2012 pour le compte d'un exploitant d'incinérateur dans les Pyrénées-Orientales puis a progressivement été déployé auprès d'une 40aine d'acteurs en France, principalement des industriels. Aujourd'hui, **71 départements** ont déjà été cartographiés. Tous sont actualisés chaque année par Altermap. À ce jour, **plus de 3000 localisations de chantiers** ont déjà été vérifiées.

L'application Altermap contribue à sécuriser au quotidien la valorisation des mâchefers d'incinération dans le respect des contraintes environnementales et obligations de traçabilité des lots imposés dans l'Arrêté ministériel du 18.11.11. L'approche cartographique, en traduisant visuellement la liste des contraintes réglementaires, apporte une **meilleure connaissance du territoire**. La méthodologie, centrée sur le **principe de précaution**, et la mise à jour régulière des données contribuent à améliorer les pratiques et **atténuer les réticences** parfois observées dans les collectivités. Ainsi, des petites et moyennes quantités de mâchefers trouvent des **exutoires** dans des territoires compatibles qui n'auraient pas été envisagés. A l'inverse, des territoires où des mâchefers ont pu être valorisés dans le passé sont désormais exclus. De plus, en associant aux emprises des chantiers leurs attributs (lots, adresse, tonnage, dates, photos...), l'utilisateur assure la **traçabilité des matériaux recyclés dans le temps et dans l'espace**, ce qui facilite les échanges entre exploitants de matériaux alternatifs, entreprises du BTP, collectivités productrices de déchets et organismes de contrôle.

Les données environnementales utilisées dans le logiciel sont toutes issues de bases de données publiques parfois acquises par convention avec les organisations locales. C'est le cas des **périmètres de captages** récupérés dans le cadre de conventions auprès des Agences



⁸⁶ Propos recueillis auprès de F. LAVESSIERE.

Régionales de Santé et dont la diffusion - pour des raisons de sécurité - est limitée au seul utilisateur final. Le logiciel rassemble également les versions les plus récentes des **zones inondables** (Plans de Prévention du Risque Inondation, Atlas des Zones Inondable Territoires à Risques Inondation), des **données hydrologiques** (cours d'eau, plans d'eau, points d'eau) auxquelles sont appliqués des zones tampon de 30 mètres ou 60 mètres en fonction des secteurs de protection, les cœurs de **parcs nationaux** et les **zones de karst affleurant** déterminées à partir de la BDLISA du BRGM. Les **zones couvertes par une servitude** d'utilité publique instituée au titre de la protection de la ressource en eau ne seront disponibles dans l'application qu'à partir de 2020. Attention toutefois, si cette application permet une analyse de faisabilité quasi-instantanée des chantiers de valorisation, elle n'a pas pour vocation de remplacer des vérifications de terrain (visites et/ou analyses hydrogéologiques).

Ce type d'outil, en matérialisant la doctrine juridique de manière neutre et transparente et facilitant les échanges entre acteurs, contribue à la valorisation des mâchefers en techniques routières.

Le stockage des mâchefers sur les plateformes de maturation doit également être facilité pour que les opérateurs des UIOM et des IME soient en mesure de s'adapter à la fluctuabilité des travaux routiers. Les acteurs de filière verraient d'un bon œil un assouplissement de la réglementation relative aux capacités de stockage des IME. L'autorisation administrative prévoit une capacité maximale de stockage au lancement de l'IME (notamment en fonction de la capacité de traitement déclarée et la quantité stockée en transit). Si l'approvisionnement en mâchefers est régulier et stable du fait de l'incinération de déchets ménagers, les exutoires sont plus variables et également liés à des aspects conjoncturels (chantiers routiers et autres). Aujourd'hui, la rigidité administrative est frein alors même que les conditions de stockage (imperméabilité par exemple) sont assurées.

Enfin, les pouvoirs publics peuvent inciter les acteurs de la filière à utiliser des mâchefers en définissant l'emploi de ce matériau comme **solution de base** pour des **chantiers d'envergure** ou en définissant des objectifs de valorisation spécifiques aux mâchefers. Cela permettrait en outre de réaffirmer le portage politique de la filière et de rassurer les maîtres d'ouvrages publics et privés. Selon l'enquête d'Amorce (Référence DT 91) conduite auprès des CD, « *un conseil départemental a indiqué que, dans leurs marchés, l'emploi de mâchefers ou de laitiers sidérurgiques est d'ores et déjà la solution de base sauf en cas d'incompatibilité hydrogéologique avérée (...). De ce fait, les matériaux naturels ne sont acceptés qu'en variantes* »⁸⁷.

Il serait a minima nécessaire de mettre en équivalence les mâchefers et autres matériaux alternatifs avec les matériaux naturels dans les appels d'offre. Les clauses des appels à projet pourraient alors se baser sur des **critères de performance**, sans faire de distinction entre matériaux primaires ou secondaires dès lors que les conditions géotechniques et environnementales le permettent.

⁸⁷ AMORCE, ANGM, UNPG, *Recyclage des graves de mâchefer en travaux publics (DT 91)*, 2018, p. 10

L'intégration des mâchefers dans les ouvrages routiers et autres ouvrages publics extérieurs non-structurables entre en cohérence avec la réforme de la commande publique⁸⁸, visant à « prendre en compte des objectifs de développement durable dans leurs dimensions économique, sociale et environnementale »⁸⁹.

Les donneurs d'ordre favorables à l'intégration des mâchefers ont recours à différents types d'incitation, qui sont donnés en exemples en annexe 3. Parmi ces incitations :

- Promouvoir les matériaux alternatifs en les **mentionnant et en les décrivant explicitement** (dans le cahier des charges, dans le bordereau de prix unitaire, dans le règlement de consultation...)
- **Autoriser le recours aux variantes en mentionnant expressément la variante MIDND**
- Prendre en compte explicitement l'emploi de MIDND dans la **pondération des notes techniques d'attribution**
- Donner un **cadre de référence à leur emploi** (guides, spécifications appropriées...)
- Les positionner en **solution de base en excluant une variante** sur ce point précis
- Intégrer des paragraphes sur l'origine des matériaux qui spécifient les MIDND comme une possibilité, les rattachent à un corpus normatif et posent un certain nombre d'exigences en termes de système qualité ou d'organisation, tant pour la production que pour la mise en œuvre (exigences courantes pour les matériaux d'origine naturelle). Dans tous les cas, les exigences réglementaires en vigueur sont rappelées.

⁸⁸ INEC, Observatoire des achats responsables, *Focus : Vers une commande publique circulaire*, 2017

⁸⁹ Voir ordonnance 2015-899 et le décret 2016-360, transposant la directive européenne 2014/24/UE

Tableau 8. Récapitulatif des freins réglementaires et techniques.

Freins réglementaires et techniques	Leviers apportés par l'économie circulaire
Complexité (appels d'offre inadaptés, contraintes géologiques, traçabilité)	Prévoir des cahiers des charges et des clauses types à destination des maîtres d'ouvrages publics et privés
Freins techniques	S'appuyer sur des outils de politiques publiques innovants facilitant l'innovation et la diversification des usages des mâchefers
Contraintes liées aux espaces de stockage des mâchefers	Lever les contraintes temporelles liées au stockage des mâchefers sur les plateformes adaptées
Peu d'incitation réglementaire à l'utilisation des mâchefers	Définir l'utilisation des mâchefers comme une solution de base pour certains chantiers et inclure des taux d'usages de mâchefers et des objectifs de valorisation

C. Freins économiques et leviers

Troisième type de frein identifié, celui lié aux **aspects économiques**.

Un premier frein important est celui de la présence, sur certains territoires, de matériaux naturels ou de matériaux alternatifs concurrentiels. Le maillage des carrières est plus fin que celui des IME, ce qui peut avoir un impact non négligeable sur le prix du matériau (coût du transport). Selon le BRGM, on compte en 2014 en France et dans les DROM 4208 carrières.

Malgré cet enjeu de maillage des IME, les mâchefers sont généralement compétitifs vis-à-vis des matières vierges. **Jouer sur l'effet prix n'est toutefois pas forcément positif pour la filière.** Les acteurs de la filière nous ont ainsi rappelé au cours de plusieurs entretiens qu'un prix bas ne contribue pas à améliorer la qualité perçue du matériau. L'enjeu de l'image du matériau doit donc être traité parallèlement à l'enjeu coût.

Sur le plan opérationnel, les équipements de transport peuvent aussi manquer, car ils sont généralement mobilisés pour les matériaux de carrières qui représentent des quantités cent fois plus importantes à l'échelle nationale.

Leviers

La fiscalité constitue un levier incitatif important pour lever les freins économiques. La mise en place d'une fiscalité incitative et progressive pour encourager la valorisation des mâchefers doit être envisagée.

Dans cette perspective, la hausse de la TGAP à venir devrait inciter les collectivités et les IME à trouver davantage d'exutoires pour leurs mâchefers. Il est important que la valorisation des mâchefers soit facilitée sous peine d'impacter financièrement les opérateurs de la filière. La réduction de la TVA sur l'achat et les activités de valorisation des mâchefers permettrait par exemple de soutenir cette activité. La valorisation économique des économies de matières premières réalisées par le biais d'outils de marché type certificats d'économie d'énergie pourrait être envisagés.

Enfin, il convient d'articuler les incitations financières avec une communication positive sur les bénéfices économiques et environnementaux de la filière **à l'échelle du territoire**. Les opérations ancrées dans l'économie circulaire et répondant à un enjeu de territoire pourraient aussi bénéficier d'un accès privilégié aux financements publics et privés.

Tableau 9. Récapitulatif des freins économiques.

Freins économiques	Leviers envisageables
Concurrence avec d'autres matériaux	Fiscalité incitative
Eviter que le « prix bas » des mâchefers ne dégrade la « qualité perçue »	Accompagner les incitations fiscales d'une communication positive sur les bénéfices de la filière
Décalage entre agréments – début des chantiers : pertes Contrats de gestion d'IME courts	Adapter les contrats de gestion d'IME et les cahiers des charges des chantiers pour sécuriser les installations de traitement

L'INEC présente 4 principaux leviers pour dépasser les barrières à l'usage des matériaux alternatifs dans les techniques de valorisation routières : un volet « information/formation » à destination de tous les acteurs du secteur mais aussi la société civile, un volet « portage politique » pour inciter les pouvoirs publics à développer les exutoires aux mâchefers, un volet « fiscalité et financement » qui joue des leviers économiques et enfin un volet « réglementaire ».

Tableau 10. Récapitulatif des leviers à l'ancrage de la filière mâchefer dans la transition vers l'économie circulaire

Principaux leviers	Description des solutions envisageables
Information/Formation	<ul style="list-style-type: none"> • Informer, former et rassurer les maîtres d'ouvrages et AMO en produisant des retours d'expériences • Mettre en place une communication positive permettant de présenter la valorisation des mâchefers comme une opportunité de création de valeur à partir de déchets ultimes • Faciliter les études préalables d'intégration des mâchefers et leur traçabilité • Produire des discours transparents et pédagogiques, revoir les éléments de langage • Insister sur l'éducation et la responsabilisation des citoyens • Mettre en valeur les bénéfices environnementaux et économiques • Inclure dans les formations technologiques et universitaires des enseignements poussés sur les déchets et leurs valorisations possibles • Conduire des études scientifiques régulières <i>in situ</i> visant à rassurer les maîtres d'ouvrages concernant la qualité géotechnique et l'innocuité environnementale des mâchefers
Portage politique	<ul style="list-style-type: none"> • Fournir des « clauses types » à intégrer dans les cahiers des charges • Proposer un projet de label destiné aux opérations d'intégration des mâchefers • Encourager l'usage des mâchefers dans le cadre des objectifs de politiques publiques (nationales, territoriales) et définir des cadres de soutien adaptés
Fiscalité et financements	<ul style="list-style-type: none"> • Mettre en place une fiscalité incitative et progressive en vue d'encourager la valorisation des mâchefers

	<ul style="list-style-type: none"> • Orienter les financements publics et privés vers les opérations de valorisation des mâchefers lorsqu'ils s'intègrent dans le cadre de l'économie circulaire
Réglementation	<ul style="list-style-type: none"> • Diversifier les voies de valorisation des mâchefers • Définir l'intégration de mâchefers comme l'une des solutions de base pour les chantiers d'envergure • Fixer des objectifs de valorisation des mâchefers spécifiques pour les maîtres d'ouvrages publics (Etat et collectivités)

Les rencontres Scorvia d'Eurovia

Des exemples de pistes d'action concrets ont été proposés par les acteurs de la filière, lors des rencontres *Scorvia* organisées par Eurovia en mars 2019 à Bordeaux, en présence de maîtres d'ouvrages et d'acteurs opérationnels.

L'organisation de journées « portes ouvertes » des IME pour sensibiliser les publics scolaires, les particuliers etc. est une solution retenue par les acteurs. Comme des journées portes ouvertes de stations d'épuration sont généralement organisées durant la Semaine européenne du développement durable (qui a eu lieu en mai), des journées similaires pour les **installations de maturation et d'élaboration** pourraient être organisées.

La filière a aussi exprimé le souhait de participer à des événements comme les journées mondiales du recyclage. D'autres événements de ce type pourraient être envisagés : les Assises Nationales des Déchets (organisées tous les deux ans), les Rencontres nationales Prévention et Valorisation des Déchets... A cette occasion, il importe de travailler sur les éléments de langage.

Enfin, les acteurs de la filière veulent maintenir les efforts en termes de formation continue des professionnels de la filière et améliorer continuellement leurs performances en termes de qualité des mâchefers produits (le tri et le traitement des métaux ferreux, non-ferreux, des imbrulés etc.).

Les rencontres Scorvia ont constitué un **espace de dialogue** entre les acteurs de la filière, à reconduire et à élargir pour davantage d'impacts. Cela permet à la filière de partager ses bonnes pratiques et d'être force de proposition en faisant émerger des pistes d'actions concrètes.

Conclusion et recommandations

La valorisation des mâchefers s'inscrit pleinement dans le cadre de l'économie circulaire. La réglementation définit leur usage en sous-couche routières et des travaux par les acteurs de la filière sont en cours pour étudier d'autres voies de valorisation.

Toutefois, les mâchefers valorisables ne sont pas tous recyclés. Pour lever les freins identifiés, il paraît nécessaire de redonner de la noblesse au matériau. Cela passera par la meilleure diffusion des caractéristiques techniques et environnementales du produit et par la valorisation des bénéfices liés à son recyclage. La diversification des usages, par exemple en produisant un granulats de mâchefer pour des usages en construction, constitue aussi un levier pour encourager la valorisation de ce matériau.

Les quatre principaux leviers de l'économie circulaire (information, portage politique, fiscalité, réglementation) sont mobilisables pour faciliter et inciter les maîtres d'ouvrages publics et privés à recycler des mâchefers.

Recommandations

Recommandation

1

Diversifier les voies de valorisation

En France, la valorisation des mâchefers n'est permise qu'en techniques routières. De ce fait, dans certaines régions, des stocks de mâchefers sont donc enfouis du fait d'un manque d'exutoires.

La diversification des usages est un levier essentiel pour valoriser tous les mâchefers et ainsi **réduire l'enfouissement**.

Les usages en béton non-structurants, par exemple, ont donné lieu à des expérimentations et pourraient être autorisés. De manière plus générale, la rigidité des normes liées à l'usage des matériaux alternatifs en BTP limite les possibilités de valorisation des matières premières secondaires. L'assouplissement de ces normes pour des usages moins contraignants et/ou exigeants permettrait de préserver les matières naturelles et de les dédier prioritairement aux usages et ouvrages les plus nobles (bâtiments, ouvrages d'art etc.).

Recommandation

2

Améliorer la qualité perçue du mâchefer

L'amélioration de la **qualité perçue** des mâchefers est un enjeu fort pour les acteurs de la filière. Malgré l'amélioration constantes des pratiques et le renforcement des contraintes réglementaires, les maîtres d'ouvrages et maîtres d'œuvres demeurent réticents à utiliser des mâchefers.

Pour en encourager la valorisation, il faut sensibiliser tous les acteurs (publics, privés, citoyens...) aux enjeux de ressources et à l'intérêt de déployer des boucles d'économie circulaire territoriales.

Recommandation

3

Encourager le portage politique de maîtres d'ouvrages

Les cahiers des charges techniques ne favorisent pas l'utilisation des mâchefers en techniques routières. Cela s'explique par le manque de connaissances des maîtres d'ouvrages sur le matériau, les contraintes administratives liées à son utilisation ou encore le poids du changement d'habitudes.

Un portage politique fort ainsi que la mise à disposition de clauses types aux acheteurs à intégrer dans les marchés pourrait faciliter l'intégration de mâchefers. La définition des mâchefers comme **solution de base** ou a minima leur **mise en équivalence des performances vis-à-vis des matières vierges (choix basé sur performance du matériau)** font partie des solutions à mettre en œuvre. Dans cette perspective, la **commande publique** constitue un levier majeur.

Recommandation

4

Actionner des soutiens financiers

Au même titre que les matières premières secondaires, les mâchefers doivent bénéficier d'incitations fiscales vis-à-vis des matières vierges. Plusieurs outils sont à disposition des pouvoirs publics : la TVA incitative, la TGAP sur les activités d'enfouissement et d'extraction de ressources. Une réduction de la TVA sur les mâchefers, en veillant à ce que la qualité perçue du mâchefer ne soit pas affectée, pourrait rendre ce matériau plus attractif pour les maîtres d'ouvrages.

Recommandation

5

Veiller à la traçabilité et à l'innocuité des mâchefers

Les mâchefers doivent continuer à faire l'objet d'une **traçabilité spécifique et soutenue** dans le but d'améliorer la qualité perçue du matériau et de prévenir tout risque d'éco-toxicité. Des **outils cartographiques d'aide à la décision** permettent de réaliser des pré-diagnostics efficaces et doivent être complétés d'une analyse et d'un suivi précis sur le terrain. Enfin, la réalisation d'études d'éco-toxicité doit se poursuivre afin de veiller à l'innocuité environnementale des mâchefers.

Annexes

Annexe 1 : Critères à respecter pour le recyclage en technique routière de mâchefers d'incinération d'ordures ménagères, 2011.

Annexe de l'arrêté du 18 novembre 2011 relatif au recyclage en technique routière des mâchefers d'incinération de déchets non dangereux

« 1° Critères de recyclage liés à la nature de l'usage routier :

Les usages autorisés sont les usages, au sein d'ouvrages routiers revêtus ou recouverts, des types 1 et 2 définis ci-après.

Les usages routiers de type 1 sont les usages d'au plus trois mètres de hauteur en sous-couche de chaussée ou d'accotement d'ouvrages routiers revêtus.

Les usages routiers de type 2 sont les usages d'au plus six mètres de hauteur en remblai technique connexe à l'infrastructure routière ou en accotement, dès lors qu'il s'agit d'usages au sein d'ouvrages routiers recouverts.

Relèvent également des usages routiers de type 2 les usages de plus de trois mètres et d'au plus six mètres de hauteur en sous-couche de chaussée ou d'accotement d'ouvrages routiers revêtus.

Un ouvrage routier est réputé revêtu si sa couche de surface est réalisée à l'aide d'asphalte, d'enrobés bitumineux, d'enduits superficiels d'usure, de béton de ciment ou de pavés jointoyés par un matériau lié et si elle présente en tout point une pente minimale de 1 %.

Un ouvrage routier est réputé recouvert si les matériaux routiers qui y sont présents sont recouverts par au moins 30 centimètres de matériaux naturels ou équivalents et s'il présente en tout point de son enveloppe extérieure une pente minimum de 5 %.

L'utilisation de matériaux routiers est interdite pour la réalisation de systèmes drainants.

L'utilisation des matériaux dans le but de réaliser des travaux de préchargement est interdite.

2° Critères de recyclage liés au comportement à la lixiviation :

Le comportement à la lixiviation est évalué sur la base des résultats d'un essai de lixiviation mené conformément à la norme NF EN 12457-2 sur trois échantillons du lot à caractériser. Les échantillons sont constitués conformément à l'article 8.

Les valeurs limites à respecter pour les quantités relarguées à un ratio L/S = 10 l/kg sont consignées dans le tableau suivant :

3° Critères de recyclage liés à la teneur intrinsèque en éléments polluants :

La teneur intrinsèque en éléments polluants est évaluée sur la base des résultats d'une analyse en contenu total menée sur trois échantillons du lot à caractériser. Les échantillons sont constitués conformément à l'article 8.

4° Critères de recyclage liés à l'environnement immédiat de l'ouvrage routier :

L'utilisation de matériaux routiers doit se faire :

*En dehors des zones **inondables** et à une distance minimale de 50 cm des plus hautes eaux cinquantennales ou, à défaut, des plus hautes eaux connues ;*

A une distance minimale de **30 mètres de tout cours d'eau**, y compris les étangs et les lacs. Cette distance est portée à 60 mètres si l'altitude du lit du cours d'eau est inférieure de plus de 20 mètres à celle de la base de l'ouvrage ;

En dehors des périmètres de protection rapprochés des captages d'alimentation en **eau potable** ;

En dehors des zones répertoriées comme présentant une sensibilité particulière vis-à-vis des milieux aquatiques. Sont concernées :

— Les zones couvertes par une servitude d'utilité publique instituée, en application de l'article L. 211-12 du code de l'environnement, au titre de la protection de la ressource en eau ;

— Les zones désignées comme zone de protection des habitats des espèces, de la faune et de la flore sauvages en application de l'article L. 414-1 du code de l'environnement ;

— Les parcs nationaux ;

— En dehors des zones de karsts affleurants.

5° Critères de recyclage liés à la mise en œuvre du matériau routier :

La mise en œuvre de matériaux routiers doit être effectuée de façon à **limiter les contacts avec les eaux météoriques, superficielles et souterraines**. A ce titre, la quantité de matériaux routiers stockée temporairement dans l'emprise d'un chantier routier donné doit être limitée aux seuls besoins permettant de s'affranchir de l'irrégularité des approvisionnements du chantier, sans que jamais cette quantité n'excède 1 000 m³. »

Annexe 2 : Valeurs limites à respecter (comportement à la lixiviation et teneur intrinsèque en polluants), Guide Setra, 2012.

Paramètre Comportement à la lixiviation	Valeur limite à respecter exprimée en mg/kg de matière sèche	
	V1	V2
	Usages routiers de type 1	Usages routiers de type 2
As / Arsenic	0,6	0,6
Ba / Baryum	56	28
Cd / Cadmium	0,05	0,05
Cr total / Chrome total	2	1
Cu / Cuivre	50	50
Hg / Mercure	0,01	0,01
Mo / Molybdène	5,6	2,8
Ni / Nickel	0,5	0,5
Pb / Plomb	1,6	1
Sb / Antimoine	0,7	0,6
Se / Sélénium	0,1	0,1
Zn / Zinc	50	50
F / Fluorures	60	30
Cl ⁻ / Chlorures *	10 000	5 000
SO ₄ ²⁻ / Sulfates *	10 000	5 000
FS / Fraction soluble *	20 000	10 000

Figure 1. Valeurs limites à respecter pour les quantités relarguées à un ration L/S = 10 l / kg. Source : Guide Setra.

Paramètre Teneur intrinsèque en éléments polluants	Valeur limite à respecter	
	V1 Usages routiers de type 1	V2 Usages routiers de type 2
COT (carbone organique total)	30 g/kg de matière sèche	
BTEX (benzène, toluène, éthylbenzène et xylènes)	6 mg/kg de matière sèche	
PCB (polychlorobiphényles 7 congénères : 28, 52, 101, 118, 138, 153 et 180)	1 mg/kg de matière sèche	
Hydrocarbures (C10 à C40)	500 mg/kg de matière sèche	
HAP (hydrocarbures aromatiques polycycliques)	50 mg/kg de matière sèche	
Dioxines et furannes*	10 ng I-TEQ _{OMS 2005} /kg de matière sèche	

Figure 2. Valeurs limites à respecter en contenu total de la teneur intrinsèque en éléments polluants. Source : Guide Setra.

Annexe 3 : modèles d'appel d'offres

Il existe plusieurs façons d'intégrer des mâchefers (et ou des matériaux primaires secondaires) dans les appels d'offre publics :

- Promouvoir les matériaux alternatifs en les **mentionnant et en les décrivant explicitement** (dans le cahier des charges, dans le bordereau de prix unitaire, dans le règlement de consultation...)
- **Autoriser le recours aux variantes en mentionnant expressément la variante MIDND**
- Prendre en compte explicitement l'emploi de MIDND dans la **pondération des notes techniques d'attribution**
- Donner un **cadre de référence à leur emploi** (guides, spécifications appropriées...)
- Les positionner en **solution de base en excluant une variante** sur ce point précis
- Intégrer des paragraphes sur l'origine des matériaux qui spécifient les MIDND comme une possibilité, les rattachent à un corpus normatif et posent un certain nombre d'exigences en terme de système qualité ou d'organisation, tant pour la production que pour la mise en œuvre (exigences courantes pour les matériaux d'origine naturelle). Dans tous les cas, les exigences réglementaires en vigueur sont rappelées.

Appel d'offre : modèle 1

ARTICLE 2 – SPECIFICATIONS DES MATERIAUX MIS EN OEUVRE

Outre le respect des spécifications détaillées ci-dessous, le mémoire technique de l'entreprise devra contenir les fiches technique produit listées dans le tableau ci-dessous :

Liste produits	souhaité	exigé
Géotextile	X	
Drain Ø 45mm		
Drain Ø 80mm		
MIDND formulés et traités au liant hydraulique routier pour couche de forme		X
Emulsion au bitume pur	X	
Emulsion de bitume élastomère dite « propre »	X	
Emulsion au bitume pur dite « propre »	X	
Agrégats d'enrobés pour enrobés bitumineux	X	
FTP granulats concernés par les enrobés bitumineux appliqués	X	
EME 2 0/14 au bitume pur	X	
GB 3 0/14 au bitume pur	X	
BBSG 3 0/10 au bitume modifié	X	
Joint mastic bitumineux	X	
Séparateurs modulaires de voie en béton – type BT3		X

2.2 - Les mâchefers d'incinération de déchets non dangereux (MIDND)

2.2.1 - Réglementation

Ce type de produit pourra être utilisé en technique routière dans le cadre évoqué par l'arrêté du 18/11/2011 émanant du Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement et en respectant les critères environnementaux détaillés dans le guide méthodologique édité par le Sétra en octobre 2012, « Acceptabilité environnementale de matériaux alternatifs en technique routière ». Ce dernier complète les différents guides régionaux décrivant les moyens de production des graves à partir de MIDND sur les installations de maturation et d'élaboration (IME), et les conditions pratiques de leur application.

Dans ce cadre, le fournisseur doit, à tout moment, être en mesure de prouver :

- que l'installation de maturation et d'élaboration (IME) est classée pour la protection de l'environnement dont la destination est la transformation de MIDND en grave de mâchefer répondant à un usage routier,
- de la qualité des MIDND, par documents dûment renseignés et contrôlés par les services publics ayant droit de regard et légitimité pour autoriser l'usage des MIDND en terme de compatibilité vis-à-vis de l'environnement.

Les informations inhérentes à cette obligation réglementaire devront figurer en tout premier chapitre sur la Fiche Technique Produit (FTP) du produit proposé.

En termes de traçabilité, la date d'élaboration des MIDND (criblage, déferrailage, soufflage...) et le temps de maturation qu'ils auront subi après cette opération, devront également figurer sur la FTP, tout en respectant la règle suivante :

- la période P de constitution d'un lot périodique de MIDND est de 1 mois si la capacité autorisée de l'installation de traitement thermique productrice du MIDND est supérieure ou égale à 50 000 tonnes de déchets incinérés par an,
- la période P de constitution d'un lot périodique de MIDND est de 3 mois si la capacité autorisée de l'installation de traitement thermique productrice du MIDND est inférieure à 50 000 tonnes de déchets incinérés par an. Cette période peut être portée à 6 mois si l'exploitant de l'installation de traitement thermique productrice du MIDND est en mesure de justifier la conformité de la composition physico-chimique d'au moins 12 lots consécutifs aux critères de recyclage spécifiés à l'annexe de l'arrêté du 18/11/11.

Un document définissant le mode de fonctionnement de l'IME devra accompagner chaque offre dans le SOPAQ. De même, l'exploitant est en capacité de fournir une fiche de données environnementales (pour un chantier donné) indiquant les usages routiers autorisés compte tenu du classement environnemental des mâchefers élaborés entrant dans sa composition et les limitations d'usage liées à l'environnement immédiat de l'ouvrage routier ainsi que celles liées à la mise en œuvre de la grave de mâchefer.

Le produit demandé est une grave de mâchefer formulée et traitée au liant hydraulique

2.2.2 - Domaine d'emploi et spécifications

2.2.2.1 - Emploi en couche d'assise

Selon la norme granulats NF EN 13242+A1, les caractéristiques intrinsèques et de fabrication dépendent des modes d'élaboration et d'éventuelles recompositions.

Pour qu'une grave de mâchefers puisse être utilisée en couche d'assise, il est nécessaire qu'elle respecte les critères suivants, selon le GTR :

- insensibilité à l'eau,
- dimension des plus gros éléments,
- résistance mécanique (LA et MDE) pour la tenue du trafic,
- comportement au gel.

Une couverture minimum de 15 cm sera préconisée pour éviter les gonflements dus à l'oxydation des particules d'aluminium résiduelles.

Une étude en laboratoire complétée par des planches expérimentales devra valider la possibilité d'utilisation des graves de mâchefers.

Dans le cas de grave traitée à base de MIDND, elle sera caractérisée selon la norme NF EN 14227-5 :

Type de MIDND traité au liant hydraulique de classe 3	Classe de plateforme visée	Niveau de trafic	Structure préconisée
formulée	PF2 $50 \leq EV2 < 120$ MPa	T0 TC6	8cm couche de surface 14cm grave bitume 23cm MIDND traité
		T1 TC5 ou T2 TC4	8cm couche de surface 12cm grave bitume 20cm MIDND traité
	PF3 ≥ 120 MPa	T0 TC6	8cm couche de surface 11cm grave bitume 19cm MIDND traité

Exemple de dimensionnement

ARTICLE 4 – AUTRES CONSTITUANTS

4.1 – Mâchefers d'incinération de déchets non dangereux (MIDND)

4.1.1 - Nature des constituants

- pour les terrassements et les couches de forme, les constituants intègrent les caractéristiques de la catégorie F61 de la norme NF P 11-300, les prescriptions du guide technique « Traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydraulique » (Sétra/LCPC – 2000), complétées des dispositions du guide « Acceptabilité environnementale de matériaux alternatifs en technique routière » (Sétra – 2012).
- pour les assises de chaussée, les constituants intègrent les granulats d'origine recyclée et artificielle, selon les normes NF P 18-545, NF P 13285 et NF EN 13242 et selon les dispositions du guide « Acceptabilité environnementale de matériaux alternatifs en technique routière » (Sétra – 2012).

Le Plan d'Assurance Qualité du fournisseur devra reprendre l'ensemble des paramètres ci-après, tout en précisant les fréquences de leur obtention.

La Fiche Technique Produit comprendra les résultats des essais(1) ci-dessous :

- Teneur en eau naturelle* par jour 1 par 50 t
- Analyse granulométrique par jour 1 par 200 t
- Equivalent de sable - ES - 1 par mois 1 par semaine
- Propreté - PS - 1 par mois 1 par semaine
- Valeur de bleu Sol par mois 1 par mois
- Los Angeles** - LA - par an 1 par 2500 t
- Micro Deval en présence d'eau** - MDE - par an 1 par 2500 t
- Friabilité des sables*** - FS - par an 1 par 2500 t
- Détermination des caractéristiques de compactage d'un sol 1 par semaine 1 par 1500 t (****)
- Indice portant Immédiat et après immersion par jour 1 par 1500 t (****)

* : Température limitée à 50 °C

** : Sur les fractions 4/6, 6/10 et 10/14 mm

*** : Sur les fractions 0,2/2 ou 0,2/4 mm

**** : Cette fréquence devrait permettre

(1) apparaîtront également les paramètres de la norme, les fréquences d'essais et mini/maxi

4.1.2 - Classement environnemental

Conformément à l'arrêté ministériel du 18/11/11, les graves de mâchefers sont caractérisées selon leur comportement à la lixiviation (NF EN 12457-2) et selon leur teneur intrinsèque en éléments polluants, par lot périodique. Cet arrêté détaille également les critères de recyclage liés à l'environnement immédiat de l'ouvrage routier, et notamment les conditions d'utilisation.

- critère de recyclage lié à la teneur intrinsèque en éléments polluants :

Paramètre Teneur intrinsèque en éléments polluants	Valeur limite à respecter
COT (carbone organique total)	30g/kg de matière sèche
BTEX (benzène, toluène, éthylbenzène et xylènes)	6mg/kg de matière sèche
PCB (polychlorobiphényles 7 congénères : 28, 52, 101, 118, 138, 153, 180)	1mg/kg de matière sèche
Hydrocarbures (C10 à C40)	500mg/kg de matière sèche
Dioxines et furannes	10ng I-TEQ _{OMS 2005} /kg de matière sèche

- comportement à la lixiviation :

Paramètre comportement à la lixiviation	Valeur limite à respecter en mg/kg de matière sèche	
	Usage de type 1	Usage de type 2
As / Arsenic	0.6	0.6
Ba / Baryum	56	28
Cd / Cadmium	0.05	0.05
Cr total / chrome total	2	1
Cu / Cuivre	50	50
Hg / Mercure	0.01	0.01
Mo / Molybdène	5.6	2.8
Ni / Nickel	0.5	0.5
Pb / Plomb	1.6	1
Sb / Antimoine	0.7	0.6
Se / Sélénium	0.1	0.1
Zn / Zinc	50	50
F- / Fluorures	60	30
Cl- / Chlorures*	10000	5000
SO ₄ -2 / Sulfates*	10000	5000
FS / Fraction Soluble*	20000	10000

*concernant les chlorures, les sulfates et la fraction soluble, il convient, pour être jugé conforme, de respecter soit les valeurs associées aux chlorures et aux sulfates, soit de respecter les valeurs associées à la fraction soluble

6.2 - Contrôles sur grave traitée aux liants hydrauliques à base de MIDND

6.2.1 - Contrôle intérieur

Le contrôle est conduit conformément aux dispositions du PAQ et aux dispositions de l'article 3.1 du fascicule 25 du CCTG et selon les précisions ci-après.

6.2.1.1 - Contrôle des granulats

Dans le cas d'utilisation de constituants titulaires du droit d'usage de la marque NF ou équivalente, les seuls essais à réaliser concernent les caractéristiques pouvant évoluer pendant le transport ou le stockage.

Dans le cas contraire, les essais et leur fréquence sont indiqués dans l'annexe au SOPAQ rendue contractuelle.

6.2.1.2 - Contrôle des liants

Les essais à réaliser par le producteur ou l'entreprise et leur fréquence sont indiqués dans l'annexe au SOPAQ et précisés dans le PAQ.

6.2.1.3 - Contrôles de la fabrication et de la mise en œuvre

Le lot de contrôle correspond à la demi-journée de fabrication et de mise en œuvre.

Le maître d'œuvre se réserve le droit de demander un contrôle externe sur la fabrication afin de valider la conformité du mélange.

Les essais et leur fréquence sont indiqués dans l'annexe au SOPAQ rendu contractuelle.

Les valeurs obtenues sont comparées aux seuils d'alerte et de refus définis à l'article du présent C.C.T.P.

Les informations sont transmises en temps réel au maître d'œuvre. Tout dépassement du seuil de refus conduit à l'arrêt de la production, qui ne peut être reprise qu'avec l'accord du maître d'œuvre.

6.2.1.4 - Contrôles de mise en œuvre des matériaux

Les masses volumiques apparentes sont obtenues au moyen des mêmes matériels que ceux utilisés pour l'épreuve de vérification, si elle a eu lieu.

Le lot de contrôle correspond à une demi-journée de mise en œuvre et comporte au minimum 20 mesures.

Pour les contrôles de conformité, les mesures sont effectuées par absorption de rayonnement gamma, à une profondeur maximale compatible avec l'épaisseur de la couche répandue.

Les résultats à obtenir lors des contrôles de conformité sont ceux détaillés à (sans épreuve de vérification).

Pour les GTLH à base de MIDND, le contrôle s'effectue par mesure de déflexions à 28 jours. Ces mesures serviront de réception du support avant application des enrobés bitumineux.

L'entreprise peut demander à réceptionner le support à 15 jours. Dans ce cas, les mesures de déflexions seront à sa charge.

5.8 - Mise en œuvre des graves traitées au liant hydraulique routier à base de MIDND

L'acceptation des matériels de mise en œuvre et des modalités d'utilisation constitue un point d'arrêt qui est levé par le maître d'œuvre avant le commencement des travaux.

5.8.1 - Conditions générales

Une liaison phonique est obligatoire entre la centrale de fabrication et l'atelier de mise en œuvre.

Selon l'état du support et les conditions météorologiques, le support peut nécessiter une humidification préalable.

L'entrepreneur est tenu d'avoir en permanence sur le chantier une citerne à eau.

5.8.2 - Répandage

La méthode de répandage est précisée dans le PAQ de l'entreprise et intègre la préfissuration éventuelle des graves traitées au liant hydraulique.

5.8.3 - Guidage du matériel de mise en œuvre

Les moyens utilisés doivent permettre de respecter les tolérances définies par la norme NF P 98-115.

Le mode de guidage est défini lors de la visite préalable du support. Il est précisé dans le PAQ de l'entreprise.

5.8.4 - Conditions météorologiques défavorables

La mise en œuvre est interdite sous pluie forte et persistante et lorsque les températures dans les 24 heures risquent d'être négatives.

L'entreprise précisera dans son PAQ les règles retenues activant l'arrêt de l'application lors de conditions défavorables.

Appel d'offre : modèle 2

- graves de mâchefers d'incinération de déchets non dangereux issues des mâchefers produits par et élaborées par

Les matériaux sont de classe F61.

Ils sont conformes au guide technique SETRA "Acceptabilité environnementale de matériaux alternatifs en technique routière – Les mâchefers d'incinération de déchets non dangereux " et satisfont aux conditions d'utilisation pour des usages routiers de type 2.

Les graves de mâchefers seront fournies et livrées sur le chantier par le maître d'ouvrage.

Le matériau sera livré dans des conditions hydriques m ou s permettant sa mise en œuvre. Il sera réceptionné en présence du maître d'œuvre et du laboratoire du contrôle extérieur.

- matériaux de carrière :

Les matériaux sont de classe R61, R41.

1.7.6.4 Mise en œuvre et réception

La mise en œuvre des matériaux sera conforme aux dispositions du guide technique de réalisation des remblais et des couches de forme - SETRA / LCP - septembre 1992.

La qualité requise du compactage est q3 en couche de forme et q4 en remblais (référence Proctor Normal).

La mise en œuvre des graves de mâchefers sera conforme aux fiches d'emploi n°1 à 3 du guide technique SETRA "Acceptabilité environnementale de matériaux alternatifs en technique routière - Les mâchefers d'incinération de déchets non dangereux". Une attention particulière sera portée à la maîtrise de la teneur en eau impactant le compactage des matériaux. En couche de forme, les matériaux mis en œuvre seront dans des conditions hydriques m ou s.

Les conditions d'emploi (régalage, compactage, ...) des graves recyclées sont à déterminer par référence au Guide Technique de réalisation des remblais et des couches de forme - SETRA / LCPC - septembre 1992. Les dispositions applicables pour la classe F7 "Matériaux de démolition" sont celles de la famille de sol "naturel" dont les paramètres d'identification sont les mêmes.

1.7.6.3 Couche de forme

Les matériaux à utiliser pour la réalisation de couche de forme sont conformes aux dispositions du guide technique de réalisation des remblais et des couches de forme - SETRA / LCP - septembre 1992 et soumis à l'agrément du maître d'œuvre / maître d'ouvrage.

La granulométrie est comprise entre 0/63 mm et 0/150 mm, selon la norme NF P 94-056.

Les matériaux sont insensibles à l'eau au sens du guide technique de réalisation des remblais et des couches de forme - SETRA / LCP - septembre 1992.

Les matériaux sont non gélifs au sens du guide technique de réalisation des remblais et des couches de forme - SETRA / LCP - septembre 1992.

Les paramètres de comportement mécanique - coefficients Los Angeles (LA) et Micro Deval (MDE) - sont conformes au guide technique de réalisation des remblais et des couches de forme - SETRA / LCP - septembre 1992.

Les couches de forme sont réalisées avec les matériaux suivants :

- matériaux provenant de la filière du recyclage de la déconstruction (route ou bâtiment) et fournis par

2.2. Matériaux de recyclage

Pour les remblais et couches de forme, le référentiel utilisé est la norme NF P11-300, associée au « Guide Technique pour la réalisation des remblais et des couches de forme » – GTR SETRA/LCPC.

La qualification du matériau sera de type F71, avec en complément des caractéristiques permettant d'assimiler son comportement à celui des sols de type D2-D3-B3 : analyse granulométrique et teneur en eau, VBS, étude Proctor, caractéristiques intrinsèques LA – MDE.

2.2.2. Mâchefers d'incinération de déchets non dangereux

2.2.2.1. Généralités

Le référentiel relatif à la fourniture et mise en œuvre des mâchefers d'incinération de déchets non dangereux (MIDND) doit être respecté, et est le suivant :

- Référentiel normatif : NF P11-300, NF P18-545, NF EN 13285
- Autres référentiels : GTR2000, guide CEREMA « acceptabilité environnementale de matériaux alternatifs en technique routière : les MIDND d'octobre 2012, arrêté ministériel de du 18 novembre 2011 relatif au recyclage en technique routière des MIDND.

Conformément à ce référentiel, les MIDND auront un usage routier de type 1 (sous-couches routières revêtues) et seront utilisés en remblai et couche de forme.

Les MIDND seront acceptés, après accord préalable par visa du Maître d'Œuvre pour chaque application et sous réserve des dispositions décrites ci-après :

2.2.2.2. Caractéristiques chimiques, physiques et géotechniques

■ Propriétés chimiques :

Conformément à la circulaire du Ministère de l'Environnement du 9 mai 1994, seuls les mâchefers de catégorie V (à faible fraction lixifiable / fraction soluble < 5 % ; taux d'imbrûlés < 5 % ; etc.) sont utilisables. Cette garantie doit être apportée par l'usine de production dans le cadre de sa démarche qualité.

■ Propriétés physiques :

L'installation de valorisation devra présenter un plan d'assurance qualité permettant de s'assurer de la qualité du processus :

- Maîtrise des documents et des données
- Processus de fabrication
- Descriptif de l'outil de production
- Plan de contrôle interne et externe
- Maîtrise des produits non-conformes.

Appel d'offre : modèle 3

La granularité du produit devra être de type 0/D (avec $D \leq 0,315$ mm).

Seuls les MIDND valorisés de catégorie V et ayant subi une maturation de plus de trois mois seront acceptés sous réserve que la teneur en eau soit proche des caractéristiques « Optimum Proctor Modifié » (OPM) du matériau.

■ **Caractéristiques géotechniques :**

Une Fiche Technique Produit devra être remise pour identification du produit et possibilité de juger de sa conformité en fonction de son utilisation (remblai / couche de forme).

Le référentiel utilisé est le Guide Technique pour la réalisation des remblais et des couches de forme – GTR SETRA/LCPC. La qualification du matériau sera du type F61, en assimilant le produit à un sol de type D2/B3 pour les conditions d'emploi.

Les résultats complémentaires suivants seront demandés : analyse granulométrique et teneur en eau, VBS, étude OPM, caractéristiques intrinsèques LA – MDE.

2.2.2.3. Domaine d'emploi

La circulaire précitée limite l'utilisation des mâchefers en dehors des zones inondables et des périmètres de protection rapprochée des captages d'alimentation en eau potable, ainsi qu'à une distance minimale de 30 m de tout cours d'eau. Le bas de la couche de mâchefers doit être 50 cm au-dessus des plus hautes eaux connues.

La partie supérieure du remblai ou couche de forme doit être imperméabilisée dès la fin de mise en œuvre (enduit hydrocarboné par exemple), les flancs éventuels du remblai doivent être recouverts d'une couche de matériau limitant la circulation d'eau (terre végétale par exemple).

L'utilisation des mâchefers est limitée au remblai et couche de forme de chaussée, en excluant les remblaiements de tranchées.

Appel d'offre : modèle 4

2-6. Variantes

Les candidats doivent répondre à la solution de base.

Les candidats peuvent présenter une offre comportant des variantes par rapport aux spécifications du cahier des charges (notamment) à l'exception de celles définies

ci-après qui sont qualifiées d'intangibles :

- ligne projet non modifiable ;
- arase sous la déviation insensible au gel sur 30 cm ;

4-2. Jugement et classement des offres

Le pouvoir adjudicateur éliminera les offres irrégulières (ex : absence de SOPAQ), inacceptables ou inappropriées.

Il choisira l'offre économiquement la plus avantageuse conformément aux critères suivants, pondérés de la manière suivante :

Appel d'offre : modèle 5

« 2-3 Variantes – Prestations supplémentaires éventuelles

Les variantes sont autorisées en vertu de l'article 58 du décret 2016-360 relatif aux marchés publics et seront proposées avec l'offre de base.

En tout état de cause chaque candidat doit présenter une proposition entièrement conforme à la solution de base. Dans cette solution, les pièces du DCE ne peuvent être modifiées.

Les candidats peuvent présenter des variantes concernant les structures de chaussée (Remblais techniques + couche de forme + chaussée) :

- 1)** La structure de chaussée proposée en solution variante devra être dimensionnée pour 20 ans avec un nombre de poids lourds pris en compte (PTAC > 35 kN) sur 20 ans qui ne sera pas inférieur à 250 000 unités par voie,
- 2)** La nature de la couche de roulement ne pourra pas être modifiée et sera un BBSG 0/10 (module ≤ 7000 Mpa),
- 3)** Le module d'Young (E) pris en compte pour le dimensionnement des couches de base et de fondation ne pourra pas être supérieur à 9 500 Mpa,
- 4)** Les variantes concernant les matériaux bitumineux seront faites soit avec des enrobés tièdes, soit avec des enrobés froids :
 - . Concernant les enrobés tièdes : les plages de température de fabrication de ces enrobés seront inférieures de 30° par rapport aux intervalles de température de fabrication des enrobés à chaud définis par la norme NF P 98-150-1, en fonction du grade du bitume. Par exemple, pour un grade de bitume 35/50 dont l'intervalle de température de fabrication des enrobés à chaud est de 150 à 170°, la température que le candidat pourra proposer sera située entre 120 et 140°. Le bilan réalisé après travaux permettra de vérifier à l'aide du listing des températures établi en centrale la véracité de cette partie déclarative.
 - . Concernant les agrégats d'enrobés : La formule proposée devra prévoir une insertion d'agrégats recyclés comprise entre un minimum de 10 % et un maximum de 30 % pour les Bétons Bitumineux et 40 % pour la GB..
 - . Concernant les études de formulation : Les couches d'assises seront formulées sur la base d'une étude de niveau 4 pour les enrobés tièdes.
 - . Concernant les enrobés à froid (Grave émulsion) : L'épaisseur proposée ne pourra pas être inférieure à l'épaisseur d'une GB (module $\leq 9 500$ Mpa) dimensionnée avec ALIZÉ (ou logiciel équivalent) augmentée de 2cm.

- 5) La couche de forme sera du niveau PF2 exclusivement. Une variante proposant une PF3 ou une PF4 sera refusée. La variante sur la couche de forme ne portera que sur sa constitution et sur son épaisseur et prévoira systématiquement une couche de fretage permettant la circulation du chantier qui sera compatible avec la mise en œuvre des enrobés,
- 6) Le profil en long restera inchangé et une compensation des épaisseurs mises en œuvre sera réalisée sur les volumes de terrassement (couche inférieure à la couche de forme) dans le cas d'une modification des épaisseurs d'enrobés et de la couche de forme,
- 7) Les quantités proposées intégreront des quantités pour aléas et imprévus à l'image de celles prévues dans les avants métrés de la solution de base,
- 8) Les Matériaux d'Incinération des Déchets Non Dangereux (MIDND) sont autorisés en remblai et couche de forme dans le respect des contraintes réglementaires relatives à la protection de l'environnement. Le secteur situé entre les profils 78 et 92 concerne le cours d'eau de l'Engranne et l'arrivée potentielle de sources, l'utilisation de MIDND y sera donc interdite en remblai et en couche de forme.

Toute variante ne respectant pas les 8 conditions énumérées précédemment sera refusée. »

Références bibliographiques

Rapports

ADEME, *L'épuisement des métaux et minéraux : faut-il s'inquiéter ?*, 2017

ADEME, *L'essentiel de l'incinération*, 2017

ADEME, Fiche technique, *Déchets des travaux publics*, 2017

ADEME, *Déchets - Chiffres-clé*, 2018

ADEME, *Economie circulaire – Un atout pour relever le défi de l'aménagement durable des territoires*, octobre 2018

ADEME, « Installation de stockage des déchets non dangereux », *Dossier Stockage*, 2018

ADEME, *Le traitement des déchets*, 2018

ADEME, *La chaîne de recyclage : du produit au produit en passant par le déchet*, 2019

ADEME, *Approvisionnement durable*, 2019

AMORCE, ANGM, UNPG, *Etat des lieux du recyclage des mâchefers en France*, DT 92, 2018

AMORCE, ANGM, UNPG, *Recyclage des graves de mâchefers en travaux publics*, DT 91, 2018

AMORCE, ADEME, « Recueil d'exemples de chantiers ayant valorisé des mâchefers », 2014

AMORCE, SYCTOM, Présentation « Les mâchefers, Définition, Chiffres Clés », 2018

Commission européenne, Fiche d'information, *Paquet économie circulaire : questions et réponses*, décembre 2015

EUROVIA, VINCI, *Matériaux routiers à base de mâchefers d'incinération (MIDND), Scorvia, Objectif valorisation*, 2012

INEC, *Focus sur le Green Deal, un outil au service de l'économie circulaire*, 2015

INEC, Observatoire des achats responsables, *Focus : Vers une commande publique circulaire*, 2017

INERIS, Compte-Rendu disponible en ligne, « Dangers, risques et valorisation des déchets », 2018

International Association of Hydrogeologists, *The world karst aquifer mapping project: concept, mapping procedure and map of Europe*, Springer (disponible en ligne), 2017

INSA Lyon, *Entretien avec Denise Blanc*, « Le mâchefer, un matériau prometteur », mars 2019

ISWA Report, *Bottom ash from WtE plants – Metal recovery and utilization*, 2015

ISWA Report, *Management of bottom ash from WtE Plants*, 2006

Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire, *Feuille de route pour l'économie circulaire : les 50 mesures*, 2018

RECORD, *Qualité et devenir des mâchefers d'incinération de déchets non-dangereux. Etat des lieux et perspectives*, octobre 2015

RECORD, *Synthèse étude n°12-0241/1A*, 2015

Commissariat général au développement durable (CGDD), *L'empreinte matières, un indicateur révélant notre consommation réelle de matières premières*, avril 2018

Guide SETRA, *Acceptabilité du mâchefer en techniques routières*, mars 2011

Guide SETRA, *Acceptabilité environnementale de matériaux alternatifs en technique routière*, 2012

Rapport d'activités SYCTOM 2018

UNICEM, *Granulats en Ile-de-France, Panorama régional*, 2017

Références juridiques

Loi n°2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte.

Arrêté du 20 septembre 2002 relatif aux installations d'incinération et de co-incinération de déchets non dangereux et aux installations incinérant des déchets d'activités de soins à risques infectieux, modifié le 3 août 2018. Annexe IV de l'arrêté du 20 septembre 2002.

Arrêté du 18 novembre 2011 relatif au recyclage en technique routière des mâchefers d'incinération de déchets non dangereux.

Directive 2008/98/CE du Parlement Européen et du Conseil du 19 novembre 2008, relative aux déchets et abrogeant certaines directives.

Directive 2018/850 du Parlement Européen et du Conseil du 30 mai 2018, modifiant la directive 1999/31/CE concernant la mise en décharge des déchets.

Articles

ANKER H., BASSE E., « Les changements en droit et politique de l'environnement au Danemark depuis 2001 », *Revue européenne de droit de l'environnement*, 2004

AUGISEAU V., *La dimension matérielle de l'urbanisation, flux et stocks de matériaux de construction en Ile-de-France*, 2017

BARLES S., « Comprendre et maîtriser le métabolisme urbain et l'empreinte environnementale des villes », *Responsabilité & Environnement*, 2008

DEBOUTIERE A., GEORGEAULT L., *Quel potentiel d'emplois pour une économie circulaire ?*, INEC, 2015

FRANCOIS D. et all., « Comportement mécanique et environnemental de deux chaussées anciennes réalisées avec des mâchefers d'incinération d'ordures ménagères », *Bulletin des laboratoires des ponts et chaussées*, n°227, 2000

HAMMOUD O., « Caractérisation, prétraitement et valorisation dans un béton prêt à l'emploi de Mâchefers d'Incinération de Déchets Non Dangereux (MIDND) », thèse soutenue à l'INSA Lyon, juillet 2019

Entretiens

E. ALLEGRINI, P. LANET, Suez R&V France

A. MOURROT, CC Haut-Doubs

C. BOUX, L. MOREL, Sycotom Paris

P. VAILLANT, Cerema

C. DEBOFFE, Néo-Eco

B. WEIBEL, Eurovia PACA

D. GUENIFFEY, Reims Métropole

Ateliers SCORVIA Eurovia

F. LAVESSIERE, Altermap

PRÉSENTATION DE L'INSTITUT NATIONAL DE L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE

L'Institut National de l'Économie Circulaire (INEC) est la **référence française de l'économie de la ressource**, depuis sa création en **2013** par **François-Michel Lambert**, député des Bouches-du-Rhône.

NOS MISSIONS



NOS MEMBRES

L'INEC est composé d'environ **200 membres** : entreprises, fédérations, collectivités, institutions, associations, écoles et universités. La diversité de ses membres permet de nourrir une vision holistique de l'économie circulaire, prenant en compte l'ensemble des enjeux économiques, sociaux, et environnementaux.

NOTRE EXPERTISE

Les actions de l'INEC s'articulent principalement autour de 4 axes : réflexion, plaidoyer, mise en œuvre opérationnelle et sensibilisation à l'économie circulaire.



PLAIDOYER

Suite à sa large participation à l'élaboration de **la Feuille de route pour l'économie circulaire en 2018**, l'INEC a initié en 2019 **un travail de concertation** avec ses 200 membres. Cette réflexion collaborative a mené à la création de **dix propositions** pour le projet de loi relatif à la lutte contre le gaspillage pour une économie circulaire. Traduites en amendements et portées auprès des pouvoirs publics, **la majorité de ces propositions ont été adoptée et ont permis de renforcer le texte législatif**.

Le mercredi 8 janvier, jour de l'adoption de la loi par la Commission mixte paritaire, **l'INEC diffuse en exclusivité le texte décrypté**, suivi d'une analyse synthétique quelques jours plus tard.

L'INEC continue son travail législatif, suite à ce document, en suivant et participant activement aux groupes de travail des **décrets d'application** de la loi anti-gaspillage pour une économie circulaire.

DERNIÈRES PUBLICATIONS

L'Institut National de l'Économie Circulaire a effectué plus d'une **quarantaine de publications** sur l'ensemble des sujets liés à l'économie circulaire : loi anti-gaspillage pour une économie circulaire, systèmes agricoles et agroalimentaires, textile, eaux usées, numérique, commande publique, etc.



La valorisation des mâchefers

Une boucle d'économie circulaire inscrite dans les
territoires

