

Gestion des mâchefers issus des déchets genevois

Rapport



Version 4.1



SIG Environnement

Activité VD

Les Cheneviers

40, route de Verbois

CP 25

1288 Aire-la-Ville

Gestion des mâchefers issus des déchets genevois

RAPPORT

Janvier 2018

Version 4.1

Table des matières

1. Introduction	5
2. Définitions	6
3. Etat des lieux sur les modes de gestion des déchets dans l'union européenne hors filières de recyclage dédiées	7
4. Veille législative	8
4.1. Veille législative dans l'union européenne	8
4.1.1. Danemark	8
4.1.2. France	10
4.1.3. Allemagne	12
4.1.4. Italie	14
4.1.5. Pays-Bas	15
4.1.6. Espagne	16
4.1.7. Suède	16
4.2. Synthèse des valeurs limites à respecter	17
4.3. Caractérisation des mâchefers suisses	18
5. Traitement des mâchefers et veille technologique	20
5.1. Processus de traitement classique des mâchefers	21
5.1.1. Récupération des mâchefers en sortie de four	21
5.1.2. Criblage et concassage des mâchefers	24
5.1.3. Récupération des métaux ferreux et non-ferreux	25
5.1.4. Maturation	28
5.2. Quelques exemples de traitement innovants des mâchefers	29
5.2.1. Extraction et traitement à sec : KEZO	30
5.2.2. Extraction et traitement humide : DHZ	31
5.2.3. Lavage humide + fragmentation sélective (SELFRAG)	32
5.3. Quelques exemples de réutilisation des mâchefers	33
5.3.1. Production de blocs de béton	33
5.3.2. Vitrification des mâchefers	35
6. Situation suisse	37
6.1. Législation	37
6.1.1. Situation actuelle	37
6.1.2. Historique de la législation suisse sur le traitement des mâchefers	38
7. Cheneviers IV – Gestion des mâchefers genevois	41
7.1. Situation actuelle : Cheneviers III - Gestion des mâchefers	41
7.2. Projection d'installations de traitement pour l'usine Cheneviers IV	42
7.2.1. Extracteur sec + traitement à sec	42
7.2.2. Extracteur humide + traitement humide	42

7.3. Délocalisation du traitement des mâchefers	43
7.3.1. KEZO	43
7.3.2. DHZ	43
8. Conclusions et recommandations.....	44
8.1. Veille législative.....	44
8.2. Veille technologique (traitement des mâchefers)	44
8.3. Législation suisse.....	45
8.4. Evacuation des mâchefers hors canton.....	46
8.5. Création d'une décharge cantonale.....	46
Bibliographie	47
Annexes	49
Annexe 1 : détail des coûts actuels de l'élimination des mâchefers pour l'usine des Cheneviers	49
Annexe 2 : estimation de l'investissement à consentir pour une unité de traitement à sec (type KEZO) pour l'usine Cheneviers IV.....	51
Annexe 3 : liste des sites d'enfouissement de mâchefers en Suisse.....	52

1. Introduction

Contexte de l'étude

La totalité des déchets ménagers ainsi que la majorité des déchets industriels genevois sont incinérés à l'Usine de Valorisation et de Traitement des Déchets (UVTD) des Cheneviers. L'incinération de ces déchets permet dans un premier temps d'effectuer une valorisation énergétique de ces déchets (électricité et chaleur produite par l'UVTD) et dans un second temps de réduire fortement les quantités des déchets à traiter. En effet, les résidus de cette incinération (les mâchefers bruts non traités) représentent environ 20% du poids des déchets initiaux.

La décharge de Châtillon, dite de type D, accueillant aujourd'hui les mâchefers de l'usine des Cheneviers aura atteint sa capacité de stockage maximale à l'horizon 2019 (selon la dernière planification calculée). Le Plan de Gestion des Déchets 2017 (PGD) prévoit la création d'une nouvelle décharge sur le canton de Genève. Bien que la décision de la création d'une nouvelle décharge soit actée, sa localisation sur le canton est en discussion au sein du comité de pilotage consacré à la recherche d'un site d'accueil. L'entrée en vigueur au 1^{er} janvier 2016 de l'Ordonnance sur la Limitation et l'Élimination des Déchets (OLED), édicte le nouveau cadre régissant la gestion des déchets. Elle remplace l'Ordonnance sur le Traitement des Déchets (ODT) du XXX.

Ce rapport s'attachera à étudier les solutions alternatives pour le traitement des mâchefers (valorisation partielle ou totale des mâchefers) dans le cadre de la nouvelle réglementation.

Afin de répondre aux nouvelles exigences de la législation en la matière, les Services Industriels de Genève (SIG) ont mandaté OmniConseil afin d'établir un état des lieux et une analyse technico-financière des pratiques de traitement des mâchefers dans les autres cantons ainsi qu'à l'étranger.

Ce rapport s'articulera autour des axes suivants :

1. Veille législative
2. Veille technologique
3. Situation suisse
4. Cheneviers IV – gestion des mâchefers genevois
5. Enfouissement des mâchefers

2. Définitions

Mâchefers = Résidus solides produit par l'incinération des déchets en sortie de four.

UVTD = Usine de Valorisation et de Traitement des Déchets.

Lixiviation = Désigne toutes les techniques d'extraction de produits solubles par un solvant, et notamment par l'eau circulant au travers du mâchefer (éventuellement polluée).

Relargage= Capacité qu'un matériau a de libérer des éléments (polluants ou non) dans son environnement sous l'action d'un solvant (de l'eau par exemple).

Déchet secondaire = Déchet résiduel engendré par le traitement des déchets primaires (ordures ménagère, les sols contaminés)...

MSWI = Municipal Solid Waste Incineration

Décharge, dite de type D = Décharge permettant de stocker, entre autre, les cendres volantes et les mâchefers issus de l'incinération des déchets (détails dans OLED, annexe 5).

Décharge, dite de type C = Décharge permettant de stocker, entre autre, les déchets métallifères, inorganiques et difficilement solubles, pour autant que les métaux aient été récupérés au préalable... La décharge de type C est « moins contraignante que la décharge de type D (détails dans OLED, annexe 5).

L/S = Liquide/Solide, ratio rendant compte de la quantité de liquide passant au travers de la partie solide lors du test de lixiviation.

COT = Composés Organiques Totaux.

OLED = Ordonnance sur la limitation et l'élimination des déchets réf 814.600 du 1^{er} Janvier 2016, état au 1er janvier 2018

OTD = Ordonnance sur le traitement des déchets, du 1^{er} février 1991

ASED = Association Suisse des Exploitants d'installations de traitement des Déchets

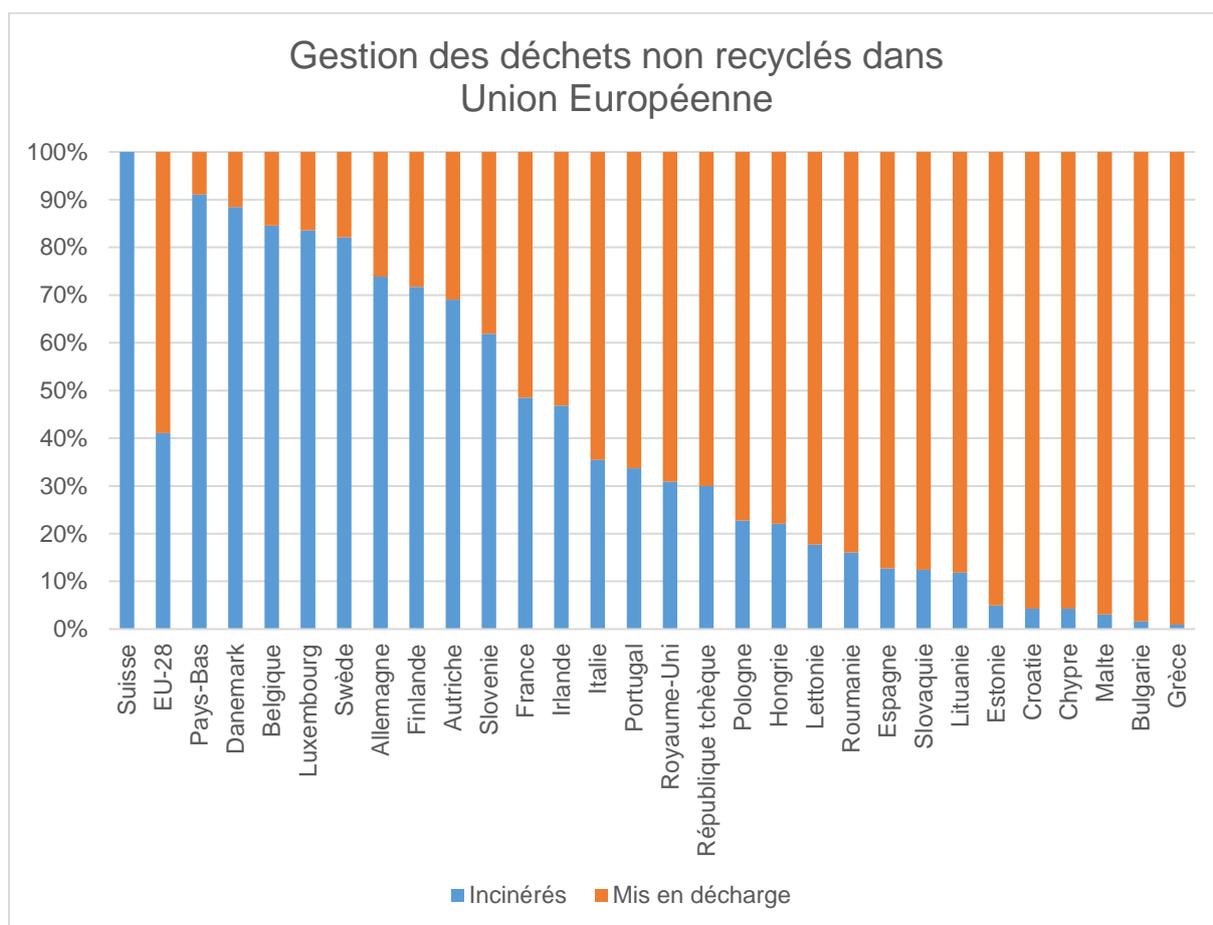
OFEV = Office Fédéral de l'Environnement

3. Etat des lieux sur les modes de gestion des déchets dans l'union européenne hors filières de recyclage dédiées

Le graphique suivant illustre la proportion entre :

- ⇒ Déchets incinérés, valorisation énergétique ou non
- ⇒ Déchets mis en décharge

Il ne prend pas en compte les déchets recyclés dans les filières dédiées (PET, papier, verre...)



Source : EuroStat - 2014

Ce graphique illustre le fait que la majorité des pays européens favorise encore la mise en décharge des déchets non-recyclés contrairement à la Suisse qui incinère les 100%.

4. Veille législative

4.1. Veille législative dans l'union européenne

Nous proposons dans ce chapitre de parcourir différentes législations européennes concernant le traitement et la gestion des mâchefers afin de contextualiser l'avancement technologique en la matière.

4.1.1. Danemark

Source [1] [2] [3] [4]

En tant que matière première, les mâchefers sont utilisés comme substitut du gravier naturel dont les stocks s'amenuisent au Danemark. Cette utilisation est toutefois règlementée (depuis 1983) afin de trouver le bon équilibre entre les considérations écologiques et économiques.

La législation danoise définit les mâchefers en tant que déchets secondaires au même titre que les résidus issus de la décontamination des sols et les résidus de charbon. Ces résidus sont soumis à la même réglementation dans le cadre de leur recyclage dans le domaine de la construction.

Cette réglementation s'appuie sur le comportement de ces résidus à la lixiviation et non selon leur teneur propre en éléments polluants. Le cadre juridique danois détermine trois catégories de réutilisation pour les résidus. La première catégorie concerne les résidus issus de la décontamination des sols, les deux autres catégories concernent les résidus non-organiques (incluant les mâchefers). Les mâchefers sont ainsi placés dans la catégorie 2 ou 3 selon le résultat du test de lixiviation (CEN prEN 12457-1) déterminant ainsi le type de réutilisation/recyclage dont ils peuvent faire l'objet.

Valeurs limites du test de lixiviation du mâchefer pour sa réutilisation selon sa catégorie – Danemark

Pays/Région	Danemark	
Remarques	EN 12457-1	
L/S Liquide/Solide	2	
	Catégorie 2	Catégorie 3
Unité des valeurs limites : mg/l		
Cl ⁻	0-150	150-3000
SO ₄ ²⁻	0-250	250-4000
Na	0-100	100-1500
As	0-0,008	0,008-0,05
Ba	0-0,3	0,3-0,4
Cd	0-0,002	0,002-0,04
Cr	0-0,01	0,01-0,5
Cu	0-0,045	0,045-2
Hg	0-0,0001	0,0001-0,001
Mn	0-0,15	0,15-1
Ni	0-0,01	0,01-0,07
Pb	0-0,01	0,01-0,1
Zn	0-0,1	0,1-3
Protocole du test de lixiviation	<i>Rotation autour de l'axe long avec 5-10 rpm pendant 6 heures à 22°C (15-25oC). Repos 15 minutes et filtration par un filtre 0.45 µm. Pas de contrôle pH</i>	

Le tableau suivant donne les contraintes constructives selon les catégories de mâchefers :

	Category 2	Category 3
Roads	Firm top layer, ^a h max. 1 m	Sealed surface, ^b h max. 1 m
Pathways	Firm top layer, h max. 1 m	Firm top layer, h max. 1 m
Squares	Firm top layer, h max. 1 m	-
Cable trenches	Firm top layer	Firm top layer
Ramps	Firm top layer, h max. 4 m	-
Sound absorbing walls	Firm top layer, h max. 5 m	-
Foundations, floors	h max 1 m ^c	h max 1 m ^c

^a Asphalt, concrete, tiles, min. 1 m of category 1 soil.
^b Asphalt, concrete, etc. and drainage of surface water.
^c No indoor climate problems.

4.1.2. France

Sources [3] [4] [5]

Concernant le cas de la France, plusieurs éléments sont à prendre en compte afin de comprendre le système de gestion des mâchefers.

- ⇒ L'incinération est l'une des deux grandes filières de traitement des déchets urbains (environ 50% en 2014) avec l'enfouissement direct des déchets urbains (environ 50% en 2014). La conséquence étant une masse importante de mâchefers (près de 3M en 2002) dont la gestion est devenue une priorité environnementale. Les organismes publics et privés impliqués dans la gestion des déchets ayant ainsi des intérêts communs se sont organisés afin de faciliter la gestion des mâchefers.
- ⇒ Une législation spécifique au traitement des mâchefers existe (Arrêté du 18/11/2011 relatif au recyclage en technique routière des mâchefers d'incinération de déchets non dangereux).
- ⇒ Au regard de la taille du pays, des gisements / manques de gravier naturel et des coûts de transports, la valorisation des mâchefers rencontre une adhésion différenciée sur l'ensemble du territoire. Paris et la région Nord ont mis en place des politiques afin de dynamiser l'utilisation des mâchefers dans la construction routière (conséquence du taux important d'incinération des déchets urbains) quand d'autres régions préféreront l'enfouissement des déchets urbains (pas de production de mâchefers).
- ⇒ Les capacités de mise en décharge des déchets urbains (DU) sont en décroissance et entraînent une augmentation des coûts de mise en décharge.
- ⇒ Bien que l'enjeu du recyclage et de l'utilisation de produits recyclés rencontrent une acceptabilité croissante de la part de la population, l'utilisation des mâchefers comme matière première reste mal perçue.
- ⇒ Les mâchefers sont principalement utilisés dans le cadre de la construction routière.

Valeurs limites du test de lixiviation du mâchefer pour sa réutilisation – France

Pays/Région	France
Remarques	EN12457-2 & 4
L/S Liquide/Solide	10
Unité des valeurs limites : mg/l	
SO ₄ ²⁻	10'000
As	0,6
Ba	56
Cd	0,05
Cr	2
Cu	50
Hg	0,01
Mo	5,6
Ni	0,5
Pb	1,6
Sb	0,7
Se	0,1
Zn	50
Protocole du test de lixiviation	<i>L/S 10, 24 heures, pas de contrôle pH</i>

4.1.3. Allemagne

Sources [3] [4] [6]

La base légale cadrant la gestion des déchets en Allemagne (Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz) entrée en vigueur en 1996 vise à promouvoir le recyclage et ainsi la protection de l'environnement. Ce texte préconise dans un premier temps d'éviter dans la mesure du possible la production de déchets, si cela ne peut être évité, le déchet devra être réutilisé. Si la valorisation des déchets n'est pas viable économiquement, l'élimination du déchet peut alors être envisagée. Cette hiérarchie a dynamisé le secteur de la valorisation des mâchefers en tant que matériau de construction que les allemands préfèrent alors au gravier naturel. Cette utilisation est toutefois cadrée par un ensemble de règles liées à l'impact environnemental des mâchefers (LAGA-Mitteilung 20 [6]).

L'utilisation des mâchefers pour le secteur routier doit remplir certaines conditions :

- ⇒ La composition du mâchefer (minéraux, matériaux inertes, métaux, fraction organique...) ne doit pas dépasser certains seuils.
- ⇒ Le volume du mâchefer doit rester stable dans le temps afin de ne pas entraîner de déformations des structures au sein desquels ils seront employés.
- ⇒ Les mâchefers doivent présenter une forte résistance au froid et aux impacts mécaniques (secousses, impacts soudains...).
- ⇒ La granulométrie et la formes des grains de mâchefer doivent respecter certaines limites afin de préserver les caractéristiques mécaniques du matériau.
- ⇒ La réaction des mâchefers avec l'eau (lixiviation) doit être réduite au minimum afin de réduire l'impact environnemental via le relargage d'éléments polluants. Les seuils limites sont détaillés dans le tableau suivant.

Il est à noter que l'Allemagne étant constituée de plusieurs Lands avec des législations spécifiques, la réglementation peut être plus stricte localement.

Valeurs limites du test de lixiviation du mâchefer pour sa réutilisation – Allemagne

Pays/Région	Allemagne
Remarques	EN12457-2
L/S Liquide/Solide	10
Unité des valeurs limites : mg/l	
Cl-	2500
SO ₄ ²⁻	6000
Cd	0,005
Cr	0,2
Cu	0,3
Hg	0,001
Ni	0,04
Pb	0,05
Zn	0,3
Protocole du test de lixiviation	<i>L/S 10, 24 heures, pas de contrôle pH</i>

4.1.4. Italie

Sources [3] [4]

La législation italienne cadrant l'utilisation des mâchefers (« Décret Ronchi » Government Decree n°22 of February 5, 1997) encadre la utilisation des mâchefers dans les travaux de construction. Les mâchefers respectant les valeurs limites décrites dans le tableau suivant peuvent être réutilisés dans la fabrication de ciment, béton, terrassement... les autres mâchefers devront être enfouis.

Valeurs limites du test de lixiviation du mâchefer pour sa réutilisation – Italie

Pays/Région	Italie
Remarques	EN 12457-4
L/S Liquide/Solide	5
Unité des valeurs limites : mg/l	
Cl-	1000
F-	7,5
SO ₄ ²⁻	1250
As	0,25
Ba	5
Cd	0,025
Co	1,25
Cr	0,25
Cu	0,25
Hg	0,005
Ni	0,05
Pb	0,25
Se	0,05
V	1,25
Zn	15
Protocole du test de lixiviation	<i>Retrait de l'éluât et du solvant après 2, 8, 24, 48, 72, 102, 168, et 384 hrs; pH <> 5.5 – 12; L/S 10, 24 hrs. pas de contrôle pH</i>

4.1.5. Pays-Bas

Sources [3] [7]

Le texte de loi posant les bases de la gestion des déchets au Pays-Bas est le Plan Fédéral pour la Gestion des Déchets (Landelijk Afvalbeheer Plan, LAP3 - 2017). Le texte stipule que :

- ⇒ Les mâchefers et les cendres volantes doivent être collectés et gérés séparément. Aucun mélange n'est autorisé.
- ⇒ Au moins 90% des résidus produits (mâchefers, cendres volantes...) doivent être réutilisés, l'objectif étant d'atteindre les 100%. Il semblerait que les faibles objectifs dans les valeurs limites à respecter découlent de cette volonté.
- ⇒ La valorisation des mâchefers en sous-couche routière est considérée comme la solution par défaut.

Valeurs limites du test de lixiviation du mâchefer pour sa réutilisation – Pays-Bas

Pays/Région	Pays-Bas
Remarques	NEN 7384
L/S Liquide/Solide	10
Unité des valeurs limites : mg/l	
Cl ⁻	8800
F ⁻	8800
SO ₄ ²⁻	65000
As	7
Ba	155
Cd	0,061
Co	2,3
Cr	1,2
Cu	23
Hg	0,075
Mo	23
Ni	3,5
Pb	8,2
Sb	2
Se	0,27
Sn	2,3
V	95
Zn	14
Protocole du test de lixiviation	L/S pH initial à 7, pas de contrôle pH ensuite, débit de 0.5 L/S par jour.

4.1.6. Espagne

Sources [3] [8]

Parmi les 9 UVTD espagnoles, 7 sont situées en Catalogne. Le gouvernement catalan fixe les conditions de valorisation des mâchefers et ces normes servent de référence pour l'Espagne. La majorité des mâchefers produits sont enfouis à cause d'un manque de volonté politique de dynamiser la filière de valorisation des mâchefers. Le tableau suivant présente les seuils limites pour la réutilisation des mâchefers.

Valeurs limites du test de lixiviation du mâchefer pour sa réutilisation - Espagne

Pays/Région	Espagne
Remarques	DIN 38414-S4
L/S Liquide/Solide	10
Unité des valeurs limites : mg/l	
As	0,1
Cd	0,1
Cr	0,5
Cu	2
Pb	0,5
Zn	2
Protocole du test de lixiviation	<i>L/S 10, 24 heures, pas de contrôle pH</i>

4.1.7. Suède

Sources [3] [4]

La Suède possède de vastes ressources en matériaux de construction au regard de ses besoins. De ce fait, la réutilisation des mâchefers n'est pas une priorité. Dans les zones les plus densément peuplées du pays, certaines initiatives de réutilisation des mâchefers pour la construction ont vu le jour mais ces projets restent marginaux.

Il n'existe ainsi pas de texte régulant l'utilisation des mâchefers en Suède. Les cas où des mâchefers seraient utilisés pour des travaux de construction sont laissés à l'appréciation des autorités locales. Les restrictions se portent alors, comme pour les autres pays, sur les considérations environnementales et plus précisément les taux de polluants que pourraient relarguer les mâchefers.

4.2. Synthèse des valeurs limites à respecter

Pays/Région	Danemark	Pays-Bas	Allemagne	France	Italie	Espagne
Remarques	EN 12457-1	NEN 7384	EN12457-2	EN12457-2 & 4	EN 12457-4	DIN 38414-S4
L/S Liquide/Solide	2	10	10	10	5	10
Unité des valeurs limites : mg/l						
Cl-	3000	8800	2500		1000	
F-		8800			7,5	
SO ₄ ²⁻	4000	65000	6000	10000	1250	
Na	1500					
As	0,05	7		0,6	0,25	0,1
Ba	0,4	155		56	5	
Cd	0,04	0,061	0,005	0,05	0,025	0,1
Co		2,3			1,25	
Cr	0,5	1,2	0,2	2	0,25	0,5
Cu	2	23	0,3	50	0,25	2
Hg	0,001	0,075	0,001	0,01	0,005	
Mn	1	–				
Mo		23		5,6		
Ni	0,07	3,5	0,04	0,5	0,05	
Pb	0,1	8,2	0,05	1,6	0,25	0,5
Sb		2		0,7		
Se		0,27		0,1	0,05	
Sn		2,3				
V		95			1,25	
Zn	3	14	0,3	50	15	2
Protocole du test de lixiviation Source [3]	<i>Rotation autour de l'axe long avec 5-10 rpm pendant 6 heures à 22°C (15-25°C). Repos 15 minutes et filtration par un filtre 0.45 µm. Pas de contrôle pH.</i>	<i>L/S pH initial à 7, pas de contrôle pH ensuite, débit de 0.5 L/S par jour.</i>	<i>L/S 10, 24 heures, pas de contrôle pH</i>	<i>L/S 10, 24 heures, pas de contrôle pH</i>	<i>Retrait de l'éluât et du solvant après 2, 8, 24, 48, 72, 102, 168, et 384 hrs; pH <> 5.5 – 12; L/S 10, 24 hrs. pas de contrôle pH</i>	<i>L/S 10, 24 heures, pas de contrôle pH</i>

La principale contrainte quant à la comparaison entre les différents modèles est l'inhomogénéité des réglementations et des protocoles de test de lixiviation des mâchefers. En effet, les ratios Liquide/Solide (L/S) indiquant la quantité d'eau apportée aux mâchefers pour quantifier le taux d'éléments chimiques relargués ainsi que les conditions des tests sont différents selon les pays.

Il semblerait que les pays ayant la plus forte volonté d'effectuer une valorisation matière (recyclage en sous-couche routière) aient les valeurs limites les plus élevées et donc moins difficiles à respecter (ex : facteur 10 entre les valeurs françaises et allemandes).

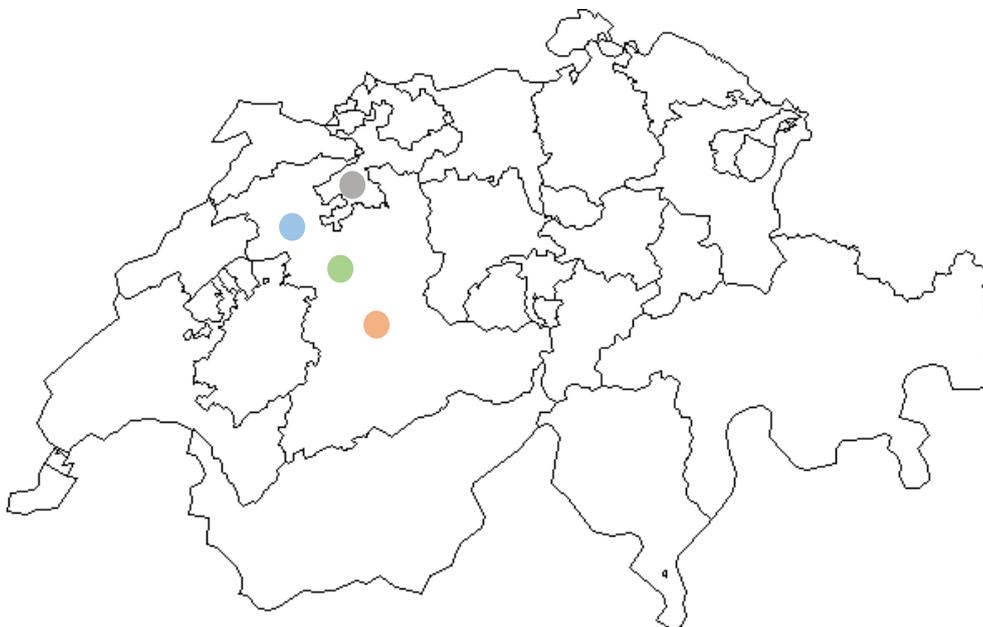
4.3. Caractérisation des mâchefers suisses

Source [11]

L'université de Berne poursuit en ce moment une étude sur la caractérisation des mâchefers suisses traités et mène des tests de lixiviation sur des mâchefers provenant de différents cantons. Les résultats de cette étude menée par Monsieur Andreas Glauser sont attendus pour 2020.

Il existe toutefois une étude ayant effectué des tests de lixiviation sur des mâchefers suisses. Elle résulte des travaux publiés en 2017 par Monsieur Ruggero Maria Cavallino de l'université de Berne. Cette étude teste des mâchefers bruts, prélevés en sortie de fours et n'ayant pas subi de traitement (lavage, récupération des métaux). Les résultats proposés sont donc purement indicatifs et ne peuvent être comparés aux valeurs limites précédemment exposées.

L'étude porte sur quatre échantillons de mâchefers prélevés dans quatre usines d'incinération suisses (trois dans le canton de Berne, une dans le canton de Soleure). Les échantillons ont été prélevés dans ces quatre usines car elles ont un mélange de déchets différents (part de déchets urbains et déchets industriels) et un âge différent (évolution de la technique). Il semblerait d'après cette étude, que ces deux facteurs influencent grandement la composition et le comportement des mâchefers produits.



Echantillon (usine)	Age	Capacité d'incinération	Mâchefers
MSWI_1 (KEBAG)	40 ans	222'025 t/an (2014)	52'227 t/an (2014)
MSWI_2 (AVAG)	10 ans	126'215 t/an (2015)	34'900 t/an (2015)
MSWI_3 (EWB)	3 ans	121'068 t/an (2015)	24'200 t/an (2015)
MSWI_4 (MÜVE)	20 ans	45'880 t/an (2015)	8'465 t/an (2015)

Résultats des tests :

Les paramètres des tests de lixiviation sont les suivants :

	Bottom Ash (g)	Pure water (g)	pH	EC
MSWI_1	111.21 g	988.8	6.14	3.69 mS
MSWI_2	107.18 g	993 g	6.23	3.93 mS
MSWI_3	113.37 g	986.8 g	6.28	4.5 mS
MSWI_4	112.6 g	987.3 g	6.13	3.89 mS
Pure water	-	1000 g	4.09	42.7 µS

Table 15, TVA-CO₂ Eluate preparation setting. Liquid:Solid ratio of 10, between Milli-Q pure water and bottom ash. The pH and electrical conductance were directly calculated via multi-parametric probe.

Les résultats du test (L/S = 10):

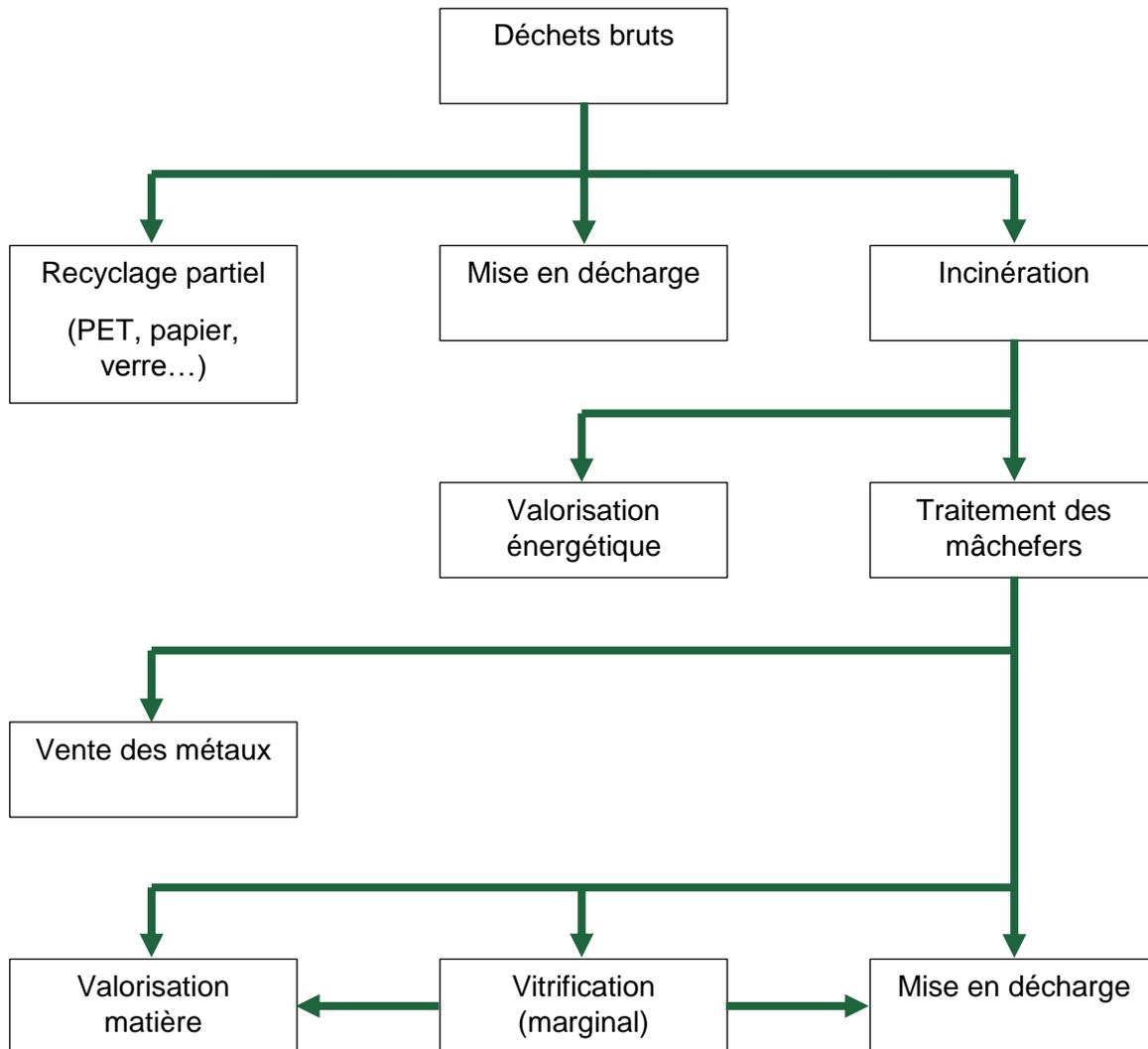
Pays/Région	MSWI_1 (KEBAG)	MSWI_2(AVAG)	MSWI_3(EWB)	MSWI_4(MÜVE)
L/S	10	10	10	10
Unité des valeurs limites : mg/l				
Ca	883,02	1128,00	1286,63	1137,28
Na	161,08	188,64	169,49	124,82
Ba	0,26	0,15	0,18	0,20
P	< Limite détectable	< Limite détectable	<Limite détectable	<Limite détectable
Ni	< Limite détectable	< Limite détectable	0,08	< Limite détectable
K	81,73	71,85	73,10	62,97
Zn	11,57	4,64	4,57	6,68
Mg	37,76	26,95	41,57	42,67
S	317,06	321,43	366,21	269,20
Al	0,12	0,14	0,06	<Limite détectable
Si	32,50	41,56	46,81	44,17
Fe	0,18	0,09	0,19	0,26
Pb	< Limite détectable	< Limite détectable	<Limite détectable	<Limite détectable
Sb	< Limite détectable	< Limite détectable	<Limite détectable	<Limite détectable
Mn	1,47	1,88	1,68	2,04
Cd	< Limite détectable	< Limite détectable	<Limite détectable	<Limite détectable
Cr	< Limite détectable	< Limite détectable	<Limite détectable	<Limite détectable
Cu	0,77	1,98	0,88	0,69

Ces mâchefers ont été prélevés en sortie de fours et n'ont donc pas subi de traitement (lavage, extraction des métaux). Nous pouvons donc considérer que leur teneur en éléments polluants est supérieure que s'ils avaient subi un traitement. Au regard des valeurs en éléments chimiques avancés dans l'étude, ces mâchefers suisses seraient éligibles au recyclage en construction routière en France et aux Pays-Bas. Cela pourrait être dû au fort taux de recyclage des déchets entrant dans les usines ainsi qu'à l'efficacité des incinérateurs suisses.

5. Traitement des mâchefers et veille technologique

Source [9] [10]

La figure suivante présente schématiquement les différents processus depuis la prise en charge du déchet jusqu'à sa fin de vie.



Dans ce chapitre, nous nous intéresserons plus particulièrement au traitement des mâchefers dont l'efficacité diffère selon les pays et la modernité des installations de traitement. Les différentes étapes du processus de traitement des mâchefers sont toutefois similaires et nous en détaillerons ici les principes fondamentaux.

5.1. Processus de traitement classique des mâchefers

5.1.1. Récupération des mâchefers en sortie de four

Il existe deux principaux types de récupération de mâchefers en sortie de four, l'extraction humide et l'extraction sèche.

Extraction humide

L'extraction humide est le type de récupération des mâchefers le plus répandu. Une fois que la fraction imbrûlée (le mâchefer) atteint l'extrémité de la grille de four où se produit la combustion des déchets, le mâchefer tombe dans un bassin rempli d'eau. Ce bassin a plusieurs fonctions dont la principale est de garantir l'étanchéité aéraulique du four (maîtrise de la quantité d'air dans le four pour la combustion). Cela assure par ailleurs l'extinction des éventuelles dernières flammes, le refroidissement des mâchefers (facilitant leur traitement ultérieur) et enfin permet de limiter fortement la production de poussière pour la suite du processus. Une fois refroidis, les mâchefers sont extraits du bassin par des moyens mécaniques (pistons refoulant les mâchefers, tapis roulants...) afin de passer à la seconde phase du traitement. Il est à noter que les eaux du bassin de récupération des mâchefers constituent un environnement alcalin causé par la dissolution de différents sels contenus dans les mâchefers.

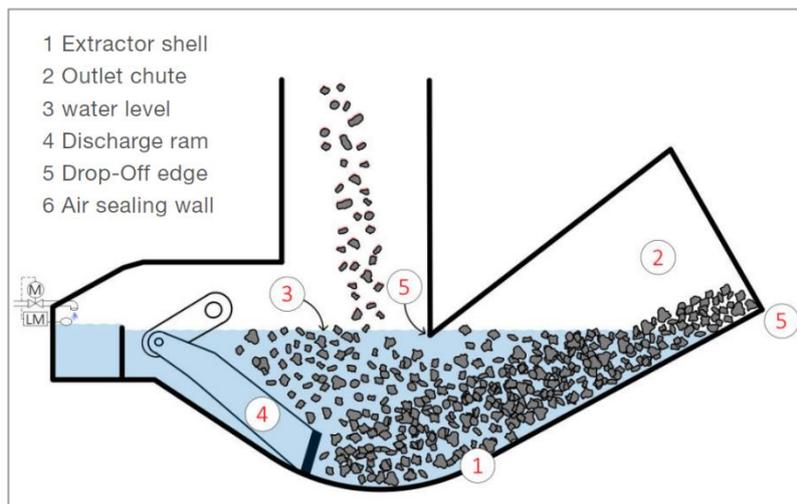


Schéma de principe de l'extraction humide des mâchefers

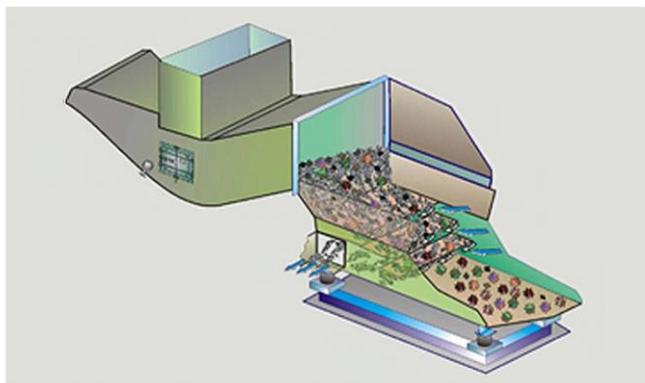
Dans le cas d'un traitement humide des mâchefers, le lavage à l'eau en sortie de four permet de diminuer la teneur en sels des mâchefers de près de 50 % et ainsi de diminuer la quantité d'éléments polluants susceptibles d'être libérés lors de leur mise en décharge future.

Extraction sèche

Dans le cas d'une extraction sèche, les mâchefers ne passent pas par un bac rempli d'eau en sortie de four mais sont directement acheminés vers le processus de séparation des matériaux afin d'en effectuer le tri et optimiser la récupération des métaux. En effet, l'extraction sèche permet d'éviter le phénomène d'agglomération des matériaux que l'on retrouve dans l'extraction humide ce qui facilite le tri ultérieur des mâchefers.

Le principal inconvénient de l'extraction sèche réside dans la forte production de poussières émises par les mâchefers en mouvement. Afin de conserver un environnement « propre » des dispositifs de ventilation / extraction d'air puis de filtrage sont nécessaires.

Les deux dispositifs les plus modernes d'extraction à sec des mâchefers sont situés en Suisse dans les usines de SATOM (Monthey, VS) et de KEZO (Hinwil, ZH). Les mâchefers sont disposés en sortie de four sur un système de tamis vibrants superposés soumis à une ventilation mécanique afin de récupérer les poussières. Les différents tamis permettent un tri granulométrique des mâchefers tandis que les poussières récupérées par le flux d'air pulsé seront captées par un cyclone et acheminées vers le traitement des parties fines.



Extraction sèche de l'usine de la SATOM à Monthey (VS)

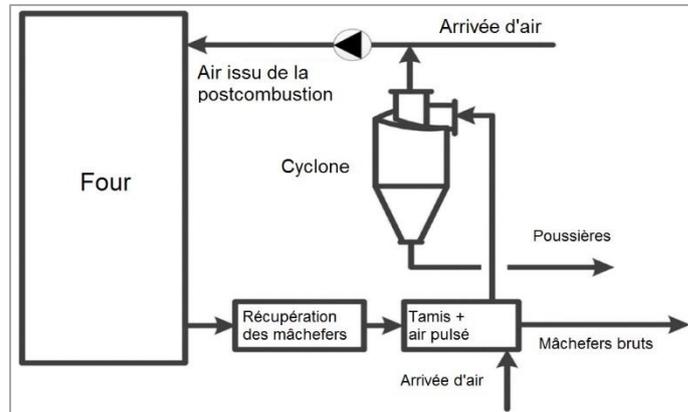


Schéma de principe de l'extraction sèche et du tri entre les poussières et le mâchefer grossier

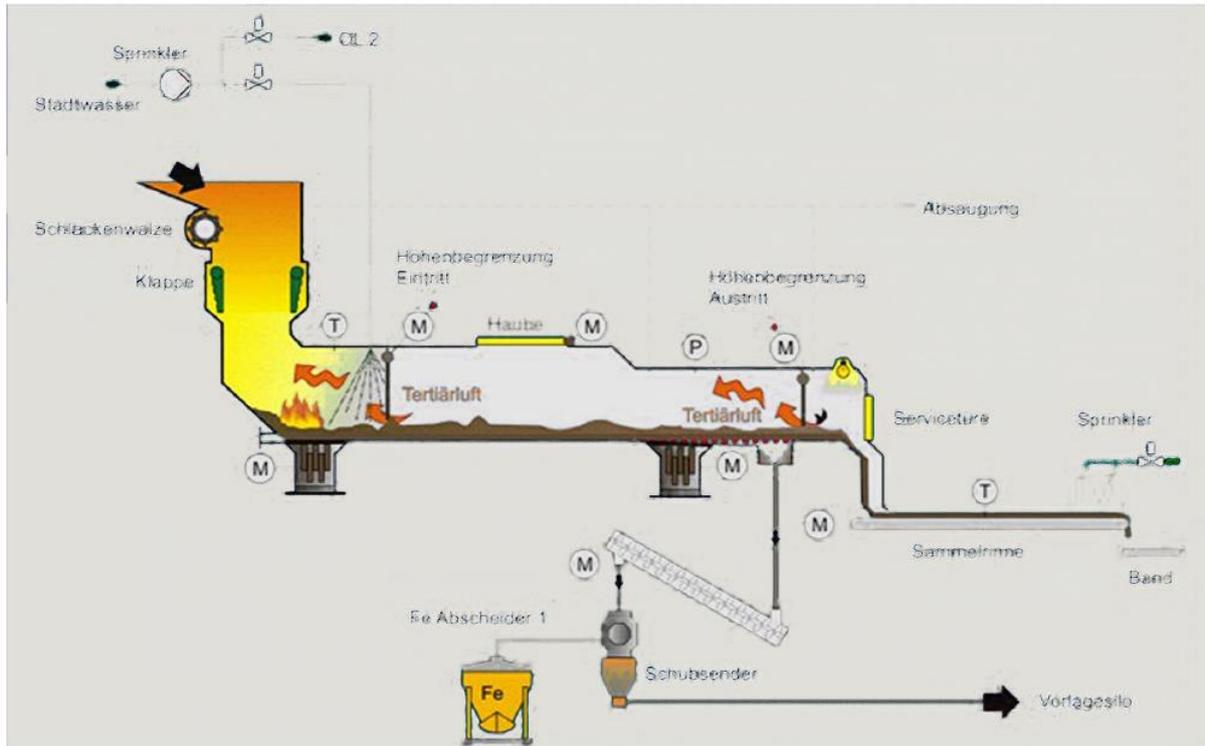


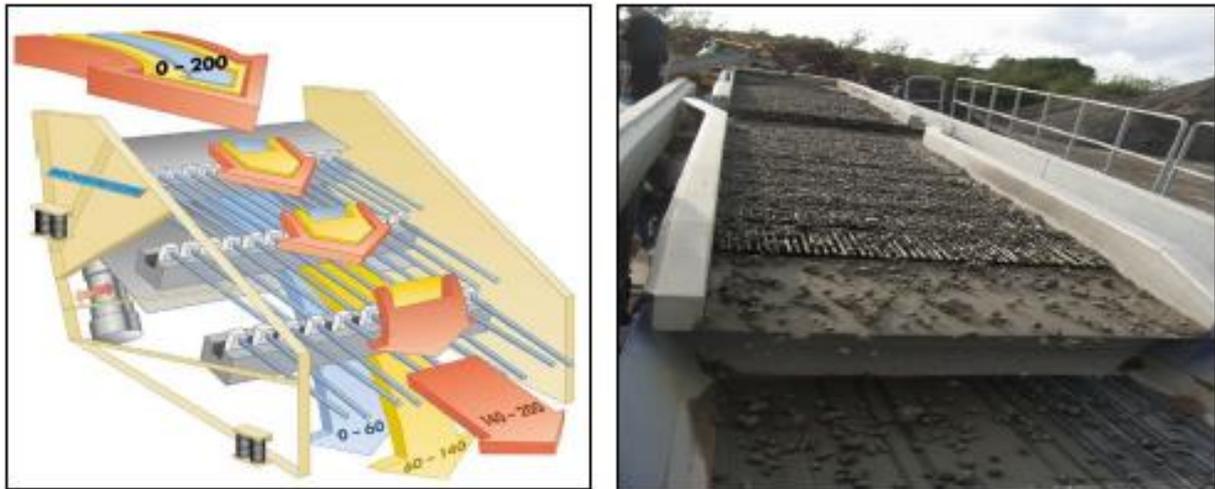
Schéma de l'extraction sèche des mâchefers de l'usine de KEZO (Hinwil, ZH)

5.1.2. Criblage et concassage des mâchefers

Le criblage permet de séparer les mâchefers en fractions de taille différentes. En effet, le mâchefer contient des éléments de dimensions variables allant de plaques de métal à de la poussière. Cette séparation se fait au moyen de cribles / tamis permettant d'acheminer les différentes fractions du mâchefer vers une filière spécifique.

Si certains éléments pourront être extraits de façon automatique ou manuelle (plaque de métal, canettes, bouteilles...) d'autres éléments seront acheminés vers le concasseur afin de rester dans la chaîne de traitement. Dans la pratique, ces éléments sont souvent des agrégats de déchets s'étant formés dans les fours dont le concasseur pourra séparer les éléments présents à l'origine.

Exemple de séparateur :



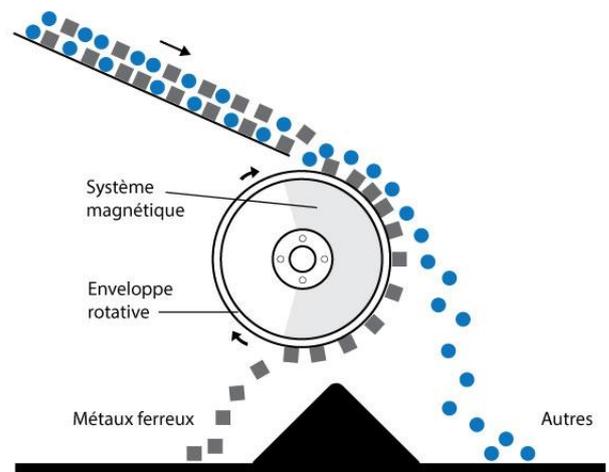
L'objectif de cette étape est d'homogénéiser les fractions de mâchefers à traiter afin d'optimiser les différentes étapes de tri en aval.

5.1.3. Récupération des métaux ferreux et non-ferreux

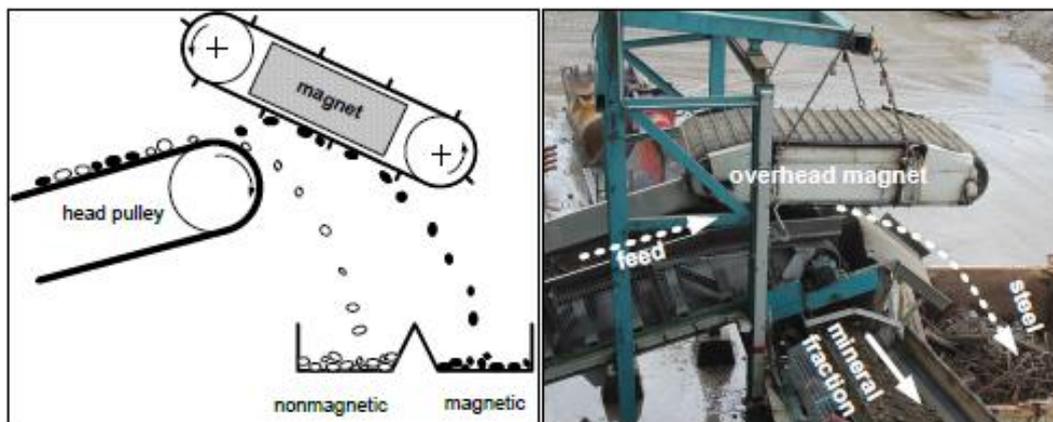
Séparation magnétique

La séparation magnétique est la seconde étape de tri des mâchefers dont elle permet l'extraction des éléments ferreux. Il existe principalement deux types de séparateurs magnétiques et dans les deux cas, les éléments ferreux voient leur trajectoire de chute modifiée par la présence d'un aimant contrairement aux autres éléments du mâchefer.

Séparateurs à tambour



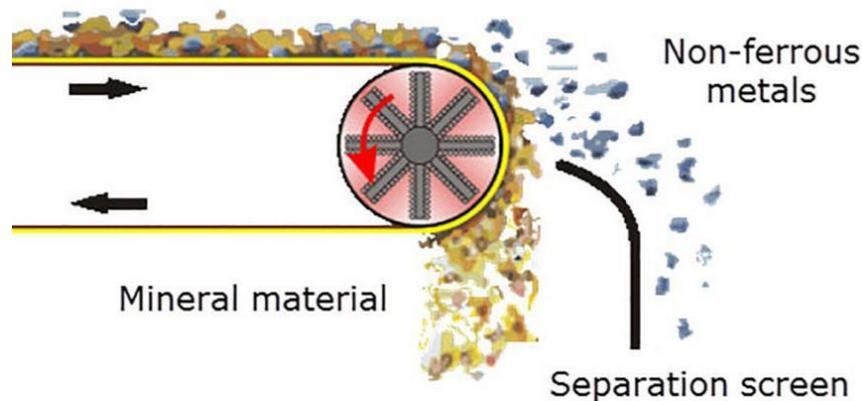
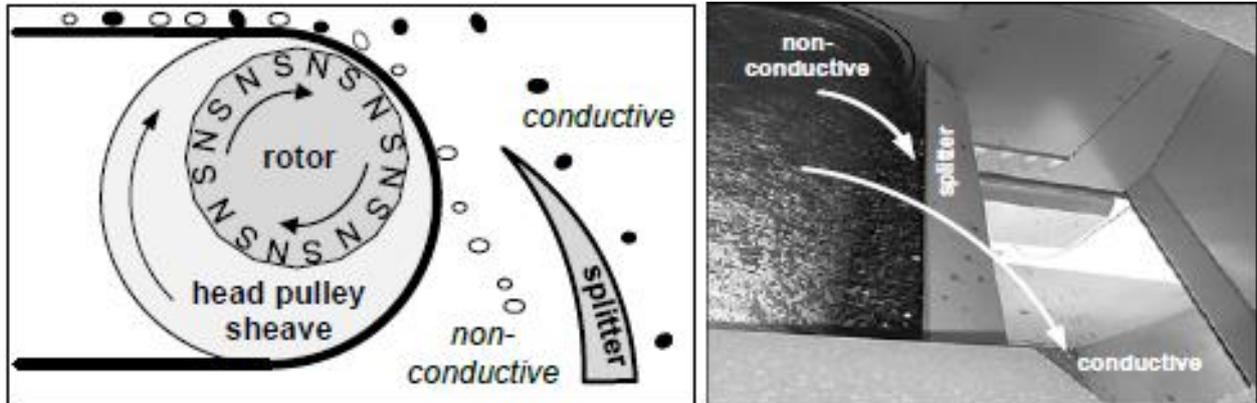
Aimant suspendu



Séparateur par conductivité – Eddy Current Separators (courants de Foucault)

Cette technologie permet l'extraction des métaux non-ferreux des mâchefers.

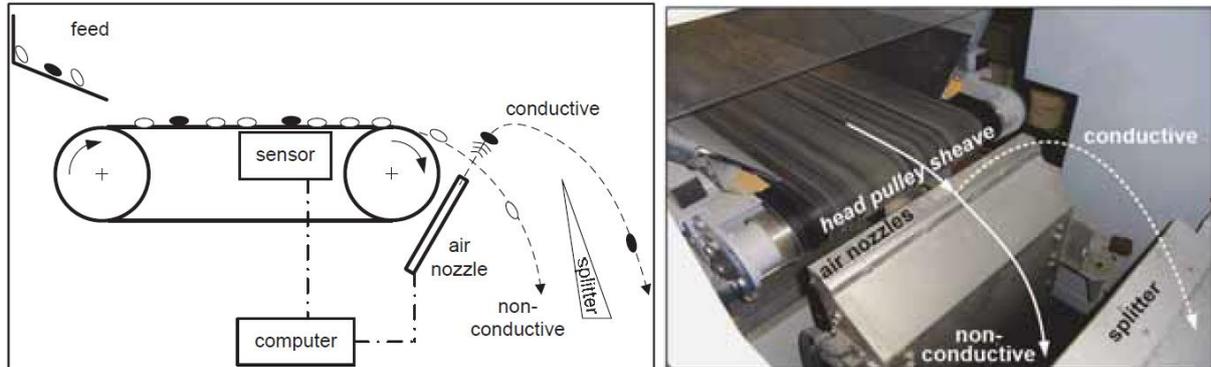
Le flux de mâchefers est transporté sur un convoyeur à l'extrémité duquel est placé un rotor magnétique comme décrit dans les figures suivantes :



Ce rotor (tournant dans le sens inverse du convoyeur) produit au sein des particules possédant une conductivité électrique (les métaux) un phénomène de courant de Foucault (Eddy current). Ce courant de Foucault génère un effet de répulsion qui éjecte les particules ayant une conductivité au-delà du séparateur (splitter). Les éléments inox présentent toutefois une faible conductivité et constituent une limite à ce séparateur. Afin d'obtenir une récupération optimale des matériaux, il existe des séparateurs à capteurs (magnétiques, optiques, ou rayon X, etc.) dont nous détaillerons le fonctionnement.

Séparateur par capteurs

Alors que les séparateurs magnétiques et par conductivité sont employés dans toutes les chaînes de traitement des mâchefers, les séparateurs par capteurs permettent la récupération de l'ensemble des éléments métalliques. Le fonctionnement de ce séparateur est détaillé dans la figure suivante :



Les éléments métalliques sont identifiés par le capteur (sensor), un ordinateur calculera la trajectoire de chute de ces particules qui seront alors éjectées mécaniquement par un flux d'air comprimé (air nozzle).

Les avantages de ce séparateur sont les suivants :

- ⇒ L'ensemble des éléments métalliques, y compris l'inox sont extraits des mâchefers.
- ⇒ Même les métaux piégés dans une matrice minérale peuvent être récupérés.

Ces capteurs sont par contre coûteux en termes d'investissement et d'exploitation, nécessitent une maintenance importante et peuvent entraîner des nuisances par la production de poussières (éjectée par les flux d'air comprimé).

5.1.4. Maturation

Une fois les métaux majoritairement extraits, les mâchefers sont stockés à l'air libre afin de procéder à ce que l'on nomme la « maturation » pour une période allant de 1 à 12 mois (le plus souvent 3 à 4 mois).

Cette étape permet de stabiliser les mâchefers afin que leur propension à relarguer des éléments polluants atteigne les seuils requis par les législations pour leur enfouissement ou leur réutilisation. Cette stabilisation s'effectue par l'oxydation naturelle du mâchefer, la carbonatation de la chaux, la baisse du potentiel d'hydrogène, etc. La maturation répond également à un impératif économique car elle permet de réduire la teneur en eaux des mâchefers par évaporation et ainsi de diminuer le poids total de mâchefers.

L'impact sur l'environnement des mâchefers est principalement lié à leur capacité à relarguer, lors d'un contact avec l'eau, un certain nombre d'éléments chimiques et notamment de sels solubles et de métaux lourds.



Halle de maturation des mâchefers à Argenteuil (France)

5.2. Quelques exemples de traitement innovants des mâchefers

Les visites que nous avons effectuées d'installations de tri de métaux issus mâchefers ont permis de comparer les processus de récupération des particules non-ferreuses. La totalité des techniques repose sur les propriétés physiques suivantes des éléments du mâchefer :

- ⇒ La conductivité électrique : propension d'un matériau à être traversé par un courant électrique
- ⇒ Les propriétés magnétiques des matériaux
- ⇒ La densité (ou masse volumique)
- ⇒ La granulométrie

La calibration granulométrique fine (tamisage) est un des paramètres clé du succès des opérations de tri. Plus les coupures granulométriques sont serrées, plus le processus est efficace. Les choix de coupures diffèrent selon les usines.

En plus de l'étude des différentes technologies, nous étudierons leur capacité à être transposées au modèle genevois dans le cadre de la construction de l'UVTD Cheneviers IV.

5.2.1. Extraction et traitement à sec : KEZO

Dans le cas de l'usine ThermoRe de KEZO à Hinwil (ZH), les mâchefers sont traités à sec dès la sortie du four (un tapis roulant transporte les mâchefers depuis la sortie des fours à l'entité de traitement). Ce mode de traitement à sec permet d'avoir un tonnage minimal de mâchefers à traiter. En effet, l'hydratation des mâchefers en sortie de four pour les lavages augmente sa masse de l'ordre de 10%.

Le centre de traitement des mâchefers de KEZO permet de d'extraire 16% du poids initial des mâchefers (données de production réalisées sur le traitement de 31'066t de mâchefer).

Mâchefer initial 31'066t		
	Tonnage extrait	Part extraite
Ferreux	3'182t	10,24%
Non-Ferreux	1'342t	4,32%
Inox	126t	0,41%
Verre	274t	0,88%
Total extrait	4'924t	15,85%

Les inconvénients du site de traitement de KEZO reposent sur le fait que la technologie n'est pas transposable au modèle genevois car les machines nécessitent un important flux de mâchefers à traiter pour fonctionner. Le site de KEZO est dimensionné pour 200'000t de mâchefers/an sur une seule ligne de production.

Les investissements consentis ne permettent pas de rentabiliser une installation de moins de 200'000t/an (l'usine de Cheneviers IV prévoit une production maximale de 30'000t/an). Nous détaillerions ce point dans la suite du rapport.

5.2.2. Extraction et traitement humide : DHZ

L'usine DHZ à Oberglatt (ZH) permet de traiter les mâchefers humides issus d'un premier traitement classique (processus listés dans le point 5.1 du rapport). La particularité de cette usine réside dans la méthode de libération des métaux qui ne se fait pas par concassage (méthode habituelle) mais en projetant le mâchefer à forte vitesse contre un obstacle. Cela permet d'augmenter la qualité des métaux récupérés en vue de leur recyclage (exportation à l'étranger).

La contrainte de l'usine de DHZ est une fois de plus que cette technologie n'est pas transposable au modèle genevois et ses faibles tonnages (le site de DHZ est conçu pour traiter 400'000t/an de mâchefers) et que son coût opérationnel semble élevé d'un point de vue énergétique (nous n'avons pas pu avoir accès aux données).

L'avantage du site de DHZ tient au fait que l'usine possède son propre site d'enfouissement ce qui permet d'y entreposer le mâchefer.

5.2.3. Lavage humide + fragmentation sélective (SELFRAG)

La technologie SELFRAG, actuellement en activité sur le site de l'incinérateur SAIDF à Posieux (FR) permet en plus de la récupération des métaux, une extraction accrue des fractions inertes (verre, céramique...) qui n'auront pas à être enfouies sur site bioactif mais potentiellement en DCMI (Décharges Contrôlées pour Matériaux Inertes). Des tests devraient toutefois être effectués afin de soumettre des mâchefers genevois à la technologie SELFRAG afin de valider la composition chimique et leur acceptabilité en DCMI.

Cette technologie est exportable (business plan propre au site de Cheneviers IV dans le chapitre suivant) et le tableau suivant permet d'estimer le part de matériaux récupérés à 22% du poids initial de mâchefer :

	Part extraite (poids)
Ferreux	9,3%
Non-Ferreux	4,0%
Inertes (verre, céramique...)	9,0%
Total extrait	22,3%

Seuls 0,3 à 0,4 % des métaux non-ferreux vont en décharge.

Il est à noter que le coût de mise en décharge (hors transport) des mâchefers est d'environ **90CHF/t** quand le coût de mise en décharge en DCMI est d'environ **25CHF/t**.

5.3. Quelques exemples de réutilisation des mâchefers

Comme nous l'avons vu dans le chapitre « veille législative », la réutilisation des mâchefers s'effectue principalement dans le domaine de la construction routière où le mâchefer sert de substitut au gravier naturel. Il existe toutefois quelques exemples d'autres applications pour la réutilisation des mâchefers.

5.3.1. Production de blocs de béton

L'entreprise SITA, filiale de SUEZ en Belgique a mis au point un procédé innovant permettant de transformer le mâchefer en blocs compacts (Valoblock) servant aux constructions provisoires sur les chantiers ou sur les sites industriels. Les caractéristiques mécaniques de ces blocs semblent limitées car ils sont destinés à un usage provisoire. D'autres applications de ce type ont été explorées au Danemark ou au Pays-Bas (construction de mur anti-bruit).

Nous n'avons que peu d'informations sur ces technologies en cours de développement et nous ne pouvons pas conclure quant à la viabilité de ces solutions à grande échelle.



Valoblock – SITA, Belgique



Blocs de béton créés à partir de mâchefers –Danemark



Construction d'un mur anti-bruit le long de l'autoroute A12 aux Pays-Bas à partir de mâchefer.

Il est à noter que l'ensemble des solutions de recyclage des mâchefers ne permettent pas d'éliminer les mâchefers. Lors de la déconstruction de ces ouvrages, la problématique du traitement / recyclage de ces matériaux pollués se posera à nouveau, voire de façon accrue car ces matériaux auront été dispersés dans la nature.

5.3.2. Vitrification des mâchefers

La vitrification des mâchefers est une technique très coûteuse qui répond à des problématiques spécifiques telles que celles du Japon.

Une des caractéristiques du Japon est sa forte densité de population et son manque de ressources de type gravier / matériau de construction. La gestion des déchets passe donc nécessairement par l'incinération des déchets (peu d'espace pour stocker / enfouir). De plus, le Japon cherchant à gagner du terrain sur la mer (250km² ont déjà été gagnés sur la mer dans la baie de Tokyo) a une forte demande en matériaux inertes. Le mode de traitement privilégié dans ce pays est donc la vitrification du mâchefer.

La vitrification transforme complètement le matériau hétérogène que constituent les mâchefers en un matériau vitreux présentant les caractéristiques d'un déchet inerte qui pourrait donc être utilisé à terme dans d'autres applications que dans les techniques routières (par exemple, ajouté dans du ciment ou de la céramique, remblais inerte pour le cas du Japon). La vitrification est un procédé dans lequel les mâchefers subissent une fusion à haute température (entre 1'100 et 1'400°C environ).

La vitrification présente certains avantages :

- ⇒ Une homogénéité accrue par rapport au mâchefer classique
- ⇒ Une destruction complète des dioxines et des furannes ; les hautes températures nécessaires pour la vitrification entraînent la destruction complète des dioxines et des furannes et le refroidissement rapide des vitrifiats ne permet pas leur reformation
- ⇒ La vitrification permet de bloquer certains métaux lourds sous forme d'oxydes métalliques notamment si la température est basse (< 1'200°C)

Mais la vitrification présente également des inconvénients :

- ⇒ La vitrification ne permet pas de bloquer ni les composés chlorés ni les composés soufrés qui polluent alors les eaux permettant de refroidir brutalement le mâchefer après la combustion des déchets
- ⇒ Dans le cas de températures élevées (> 1 400°C), la vitrification ne permet pas de bloquer certains métaux qui peuvent se volatiliser (c'est le cas notamment du mercure,

du plomb, du zinc et du cadmium), un traitement en aval du gaz est donc nécessaire pour capturer ses polluants

- ⇒ La vitrification a souvent un coût financier et énergétique élevé qui augmente fortement le coût de traitement des déchets (~900\$/t et 4kWh/kg de déchet)



Mâchefer japonais vitrifié

6. Situation suisse

6.1. Législation

6.1.1. Situation actuelle

La législation concernant le traitement des déchets a été modifiée en 2016 lors de l'entrée en vigueur de l'OLED (Ordonnance sur la limitation et l'élimination des déchets réf 814.600, état du 1^{er} janvier 2018) venant remplacer l'OTD (Ordonnance sur le traitement des déchets). L'OTD prévoyait la réutilisation des mâchefers (scories) issus de l'incinération des déchets urbains sous certaines conditions (voir p.38 du rapport). L'OLED quant à elle ne propose à ce jour aucune disposition quant à la réutilisation des mâchefers, elle ne précise que les conditions sous lesquelles les mâchefers peuvent être mis en décharge de type D.

Il semblerait que les importants gisements de graviers et autres matériaux de construction en Suisse permettent de ne pas avoir à considérer les mâchefers comme de potentiels matériaux de construction. La totalité des mâchefers sont donc enfouis dans les sites spécialisés. De plus, l'acceptabilité des mâchefers en tant que matériau de construction est très faible en Suisse, les mâchefers sont donc totalement destinés à la mise en décharge.

6.1.2. Historique de la législation suisse sur le traitement des mâchefers

Afin de comprendre d'histoire de la législation suisse concernant le traitement final des mâchefers, nous présentons ici l'OTD ainsi que le commentaire entre OTD et OLED de la part de l'ASED (Association Suisse des Exploitants d'installations de traitement des Déchets).

OTD (état du 1^{er} juillet 2011)

Art. 13 Mâchefers provenant d'installations d'incinération
des déchets urbains

¹ L'utilisation comme matériau de construction de mâchefers provenant d'installations d'incinération des déchets urbains n'est autorisée que dans la construction de routes, de places ou de remblais. Ces mâchefers doivent:

- a. répondre aux dispositions de l'art. 39;
- b. n'être utilisés qu'à l'extérieur des zones de protection des eaux souterraines (zones S 1, S 2 et S 3) et des périmètres de protection des eaux souterraines.

² L'utilisation de mâchefers dans la construction de routes ou de places n'est autorisée que si:

- a. la route ou place est recouverte d'une couche protectrice empêchant autant que possible les eaux météoriques de traverser les mâchefers;
- b. la couche de mâchefers n'excède pas 50 cm d'épaisseur;
- c. la distance séparant la couche de mâchefers du niveau le plus élevé possible des eaux souterraines est d'au moins 3 m dans le secteur A de protection des eaux, et d'au moins 2 m dans le secteur B de protection des eaux.

³ L'utilisation de mâchefers dans la construction de remblais n'est autorisée que si:

- a. des mesures appropriées sont prises pour empêcher autant que possible les eaux météoriques de traverser les mâchefers;
- b. le remblai est construit sur un revêtement assez étanche pour empêcher la pénétration des eaux de lixiviation dans le sol;
- c. les eaux de lixiviation sont collectées et évacuées.

⁴ Si des conditions locales particulières l'exigent, l'autorité renforce les dispositions des al. 1 à 3 sur l'utilisation des mâchefers afin de protéger les eaux ou de maintenir la fertilité du sol.

⁵ Les dispositions des al. 1 à 4 ne sont pas applicables s'il est apporté la preuve que les mâchefers répondent à la fois aux dispositions de l'annexe 1, ch. 11, sur les matériaux inertes, et à celles de l'art. 39, let. a et c.

Commentaire de l'OTD

Commentaire de l'ASED¹ sur la nouvelle Ordonnance sur la limitation et l'élimination des déchets (OLED)

<p>Art. 13 Schlacke aus Verbrennungsanlagen für Siedlungsabfälle Art. 13 Mâchefers provenant d'installations d'incinération des déchets urbains 1 L'utilisation comme matériau de construction de mâchefers provenant d'installations d'incinération des déchets urbains n'est autorisée que dans la construction de routes, de places ou de remblais.(...)</p>	<p>Pas de réglementation correspondante dans l'OLED 2016</p>	<p>L'utilisation des mâchefers d'UVTD comme matériau de construction n'est plus autorisée à partir du 1.1.2016. Cette interdiction n'a pas de signification pratique pour les UVTD, puisque ce type d'utilisation n'est plus pratiqué depuis longtemps.</p>
---	--	---

Le commentaire de l'ASED précise que : « l'utilisation des mâchefers d'UVTD comme matériau de construction n'est plus autorisée à partir du 01.01.2016. Cette interdiction n'a pas de signification pratique pour les UVTD, puisque ce type d'utilisation n'est plus pratiqué depuis longtemps. »

Ordonnance sur la limitation et l'élimination des déchets (Ordonnance sur les déchets, OLED) (état du 1^{er} janvier 2018)

L'OLED, contrairement à l'OTD, n'intègre aucune disposition quant à l'utilisation des mâchefers traités. Il semblerait que la seule voie prévue par la législation pour les mâchefers issus de l'incinération des ordures ménagères soit la mise en décharge de type D. Des restrictions existent par contre quant à la qualité des mâchefers pouvant être mis en décharge :

OLED, annexe 5, paragraphe 4.3 :

- 4.3 Les mâchefers provenant d'installations d'incinération des déchets urbains ou des déchets de composition analogue peuvent être stockés définitivement dans des décharges ou des compartiments de type D:
- a. si les particules de métaux non ferreux contenues dans les mâchefers ont été récupérées au préalable, du moins de manière qu'elles ne dépassent pas 1 % (en poids) des mâchefers; pour déterminer la teneur en métaux non ferreux sous forme particulaire, les mâchefers sont moulus jusqu'à une granulométrie de 2 mm;
 - b. si les mâchefers ont une teneur en COT ne dépassant pas 20 000 mg par kg.

*COT = Composés Organiques Totaux.

Il est à noter que l'OLED n'a aucune exigence quant à la récupération des métaux ferreux.

¹ Source : La nouvelle ordonnance sur les déchets OLED et les changements les plus importants pour les UVTD – ASED 2016

Echanges avec Monsieur Laube de l'OFEV, en charge des « Décharges et planification de la gestion des déchets »

Pourquoi la nouvelle ordonnance sur l'élimination des déchets (OLED) ne reprend pas les dispositions qui existaient dans l'ancienne ordonnance (OTD) concernant la valorisation des mâchefers comme matériau de construction ?

L'abandon de ces dispositions résulte d'une observation de la pratique. En effet, hormis quelques expérimentations au début des années 90, les mâchefers n'ont plus jamais fait l'objet d'une valorisation matière dans le secteur de la construction.

Lors de ces expérimentations il est apparu que le matériau ne respectait pas l'ordonnance sur la protection des eaux, et les sites ayants utilisés des mâchefers dans leur conception sont aujourd'hui placés au cadastre des sites pollués. Dès lors, les mâchefers n'ont jamais été réutilisés comme matériaux de construction et l'abandon de cette pratique a engendré l'abandon des dispositions pour la valorisation dans la loi.

Dans quelle mesure peut-on soustraire, suite à divers processus de tri et de lavage, une fraction des mâchefers à la décharge de type D ?

Dans le cas où une technologie permettrait de sortir une fraction « propre » des mâchefers, il faudrait faire une demande spécifique aux autorités compétentes pour « déclasser » le matériau et pouvoir le réutiliser. Les déchets pourraient être redirigés vers des décharges de type B (DCMI, décharge contrôlées de matériaux inertes) voire être valorisés.

7. Cheneviers IV – Gestion des mâchefers genevois

7.1. Situation actuelle : Cheneviers III - Gestion des mâchefers

L'UVTD des Cheneviers fait traiter son mâchefer brut sur le site du Bois-de-Bay afin d'en extraire les fractions métalliques (métaux ferreux et non-ferreux) puis expédie le mâchefer traité vers les sites d'enfouissement suivants :

- ⇒ Décharge de type D (anciennement dite « bioactive ») de Châtillon (Bernex, GE)
- ⇒ Gravière des Tuileries, Cand-Landi (Grandson, VD)

L'usine Cheneviers III présente une extraction humide des mâchefers puis un traitement à sec des mâchefers. Afin d'effectuer un tri à sec pour la récupération des métaux, les mâchefers humides sont disposés en andins dans les halles du site du Bois-de-Bay pendant un mois afin de favoriser l'évaporation naturelle de l'eau qu'ils contiennent et leur « maturation ». Ce processus de séchage limite la corrosion des installations de tri et permet de traiter un volume plus faible de matériaux.

Le coût actuel du traitement des mâchefers issus de l'UVTD des Cheneviers est de **101,5 CHF/t²**

² Annexe 1

7.2. Projection d'installations de traitement pour l'usine Cheneviers IV

7.2.1. Extracteur sec + traitement à sec

Une installation traitant le mâchefer sur une filière sèche ne peut être rentable pour un volume de mâchefers correspondant aux seuls mâchefers genevois. En effet, l'usine de KEZO à Hinwil (ZH) a consenti à un investissement de 45 MCHF pour traiter 200'000t/an. L'estimation de coût pour une installation traitant 25'000t/an de mâchefers est d'environ 19MCHF³.

7.2.2. Extracteur humide + traitement humide

Dans l'éventualité d'une extraction humide des mâchefers en sortie de four, l'usine Cheneviers IV pourrait se doter des modules SELFRAG afin d'accroître le tri des métaux présents dans le mâchefer.

Selon les estimations de SELFRAG, l'investissement nécessaire en fonction du volume de mâchefers à traiter est de :

Volume de mâchefers à traiter	Investissement initial
20'000 t/an	7'000'000 CHF
35'000 t/an	8'500'000 CHF
50'000 t/an	10'000'000 CHF

Le coût d'exploitation observé sur le site de Fribourg est situé entre 32 et 35 CHF/t. Ce coût comprend la main d'œuvre, la maintenance, les fournitures, l'électricité et l'eau. Il ne comprend par contre pas les coûts liés à l'amortissement des installations.

³ Annexe 2

7.3. Délocalisation du traitement des mâchefers

Une alternative à la création d'une entité de traitement des mâchefers sur le site de Cheneviers IV serait d'évacuer le mâchefer brut (sorti des fours) afin de l'envoyer vers un site de traitement puis le réacheminer vers une décharge (sur le canton de Genève ou hors canton).

7.3.1. KEZO

L'usine KEZO (ZH) propose de traiter les mâchefers genevois mais ne propose pas la mise en décharge. La particularité d'un partenariat avec le site de KEZO tient au fait que les Cheneviers deviendraient partenaires du site de traitement et récupèreraient en conséquence une partie du produit de la vente des métaux. Il resterait à la charge de l'usine des Cheneviers le transport aller et retour des mâchefers évacués vers KEZO puis la mise en décharge.

Les hypothèses retenues dans l'offre de traitement des mâchefers genevois sont les suivantes :

- ⇒ Le mâchefer doit impérativement être issu d'une extraction sèche (cf.22)
- ⇒ Le tarif de la prise en charge du traitement des mâchefers (en entrée du site de KEZO) incluant la revente des métaux = 34.-/t
Le prix de la revente des métaux est indexé 2017. Les fluctuations des cours des métaux auront un impact direct sur leur prix de revente.
- ⇒ La réduction d'environ de 16% du volume de mâchefers à enfouir (cf p.30)

7.3.2. DHZ

Le site de traitement DHZ (ZH) propose, pour du mâchefer humide, d'effectuer le traitement ainsi que la mise en décharge sur leur site de Lufingen (ZH) pour un prix de 80 CHF/t. Ce prix n'inclut pas le transport entre Genève et le site de traitement à Zurich.

8. Conclusions et recommandations

Cette étude nous a permis d'analyser les éléments suivants concernant les mâchefers :

1. Veille législative
2. Veille technologique (traitement des mâchefers)
3. Législation suisse
4. Evacuation des mâchefers hors canton
5. Création d'une décharge cantonale

Nos éléments de conclusion sur la gestion des mâchefers genevois sont :

8.1. Veille législative

- ⇒ Les pays autres que la Suisse incinérant leurs déchets voient les mâchefers comme une ressource (Danemark, Pays-Bas, France...) qui se doit d'être réutilisée (manque de matériaux de construction, manque de place de mise en décharge).
- ⇒ Il n'existe pas, à ce jour, de tests de lixiviation sur les mâchefers genevois (avant ou après traitement) ce qui empêche d'établir une comparaison des résultats avec exigences des législations internationales.

8.2. Veille technologique (traitement des mâchefers)

- ⇒ Les processus de traitement des mâchefers en sortie de four sont comparables selon les pays : extraction humide ou sèche des mâchefers, criblage, récupération des métaux, maturation, mise en décharge du mâchefer traité ou réutilisation dans la construction routière.
- ⇒ Des traitements innovants existent en suisse (KEZO, SAIDEF, DHZ) ainsi qu'à l'étranger (Pays-Bas...) afin d'optimiser la récupération des métaux.

8.3. Législation suisse

⇒ La législation suisse ne prévoit pas à ce jour de possibilité de réutiliser les mâchefers en tant que matière première, même après traitement. La seule issue pour les mâchefers suisses est la mise en décharges de type D. Des expérimentations ont été faites au début des années 90 avec l'utilisation de mâchefers dans le secteur de la construction mais les sites ont tous été placés au cadastre des sites pollués pour non-respect de la protection des eaux.

La législation autorise toutefois l'extraction des métaux ferreux et non-ferreux pour la valorisation financière. L'extraction de la fraction inerte pour un traitement spécifique (mise en DCMI ou dans la filière de traitement du verre) présente toutefois un flou juridique. En effet, la législation ne donne pas d'indication sur les étapes de traitement des mâchefers qui pourraient permettre une requalification d'une fraction du mâchefer en un autre matériau, éventuellement éligible à la réutilisation dans la construction routière par exemple.

⇒ La législation suisse ne prévoyant que la récupération des métaux présents dans le mâchefer, l'objectif du canton doit être d'adopter la technologie permettant de réduire au minimum la quantité de mâchefers à enfouir tout en gardant à l'esprit que la mise en décharge du solde (sur le canton ou hors canton) est inéluctable. En effet, quelle que soit la technologie retenue, il restera une proportion non négligeable de mâchefer à enfouir (environ 85% du mâchefer brut).

⇒ Le cadre actuel de la législation ne prévoit pas d'autres pistes d'exploration que celle de la récupération des métaux pour la diminution des tonnages de mâchefers à enfouir en décharge de type D. Ces pistes de réflexion pourraient porter sur la récupération des fractions inertes ou sur la création d'une décharge moins contraignante pour les mâchefers lavés donc moins pollués. La création d'une décharge d'un type autre que D (éventuellement C) s'accompagnerait des mêmes nuisances (visuelle, emprise au sol et augmentation du trafic routier) qu'une décharge de type D.

⇒ La technologie permet aujourd'hui de produire des fractions « propres » de verre ou de déchets inertes à l'issue du traitement des mâchefers (KEZO extrait 0,9% de verre, SELFRAG extrait 9% de matériaux inertes). Ces fractions « propres » pourraient, sous réserve d'une modification de la législation, être envoyées dans des filières de traitement dédiées au lieu d'être mises en décharge de type D. Il est à noter que la Confédération n'a pas donné son autorisation pour le déclassement de ces fractions « propres » issues des mâchefers.

8.4. Evacuation des mâchefers hors canton

⇒ Afin d'éviter la construction d'une décharge tout en respectant la législation suisse, la solution de l'établissement d'un contrat longue durée avec un site d'enfouissement hors canton pourrait être étudiée. Néanmoins, ce site restera tributaire de l'autorisation d'exploiter délivrée par les autorités cantonales locales (renouvelée tous les 5 ans). Le canton de Genève n'aura pas l'assurance que le site d'enfouissement hors canton conserve son autorisation d'exploiter d'où le risque pour ce type de contrat longue durée.

A titre d'illustration, tous les derniers contrats d'enfouissement des mâchefers de l'usine des Cheneviers hors canton de Genève ont fait l'objet de questionnements des autorités cantonales concernées. Ces questionnements découlent de leur volonté politique de préserver les capacités cantonales d'enfouissement pour leurs propres mâchefers.

8.5. Création d'une décharge cantonale

⇒ Dans le cas où l'évacuation des mâchefers hors canton deviendrait caduque, la création d'une décharge cantonale de type D serait la seule solution respectant le droit suisse.

Dans l'éventualité d'une évolution de la législation permettant le reclassement d'une partie des mâchefers en décharge de type C, la création d'une décharge (qu'elle soit de type C et/ou de type D) restera nécessaire. Les volumes à enfouir ainsi que les nuisances liées (visuelles, emprise au sol, trafic routier, ...) demeureront sensiblement identiques.

⇒ La création d'une décharge cantonale permettrait, en plus d'une maîtrise des coûts, de s'affranchir du risque de dépendance vis-à-vis de décharges tierces, voire des cantons dans lesquelles elles sont situées.

Cela pourrait également témoigner de la volonté du canton de prendre en charge les déchets produits sur le territoire genevois.

OmniConseil Sarl



Thomas Savourey

OmniConseil Sarl



Dominique Falciola

Bibliographie

Principaux documents utilisés

- [1] Waste incineration bottom ashes in Denmark

- [2] Waste Strategy 2005-08, The Danish Government 2004

- [3] Management of Bottom Ash from WTE Plants, ISWA 2008

- [4] Management of Residues from Energy Recovery by Thermal Waste-to-Energy Systems and Quality Standards, KIT – Universität des Landes Baden-Württemberg und nationales Forschungszentrum in der Helmholtz-Gemeinschaft, 2012

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

- [6] Mitteilungen der länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 20

- [7] Review of MSWI bottom ash utilization from perspectives of collective characterization, treatment and existing application – 2017

- [8] Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya, Departament de medi ambient, ordre de 15 de febrer de 1996, sobre valorització d'escòries – 1996

- [9] Bottom ash from Waste To Energy (WTE) plants, metal recovery and utilization – ISWA 2015

- [10] Recovery of metals from waste incinerator bottom ash - Prof. Dr. Rainer Bunge – 2016

- [11] Effect of Organic Carbon in MSWI Bottom ash on the Mobilization of Heavy Metals – thèse UNIBE - Ruggero Maria Cavallino - 2017

Législations internationales

Waste, Danish Environmental Protection Agency – 2001

Ash utilisation - Åbo Akademi University (Finlande) – 2010

Bottom ash factsheet- Confederation of European Waste-to-Energy Plants – 2016

Use of waste ash, effects of the law - Linköpings universitet (Suède) 2004

Législations suisses

Loi fédérale sur la protection de l'environnement (LPE). Etat du 01.01.2018

Ordonnance sur la limitation et l'élimination des déchets – OLED. Etat du 01.01.2018

La nouvelle ordonnance sur les déchets OLED et les changements les plus importants pour les UVTD (ASED) – 04.2016

Ordonnance sur l'assainissement des sites pollués – OSites. Etat du 1.05.2017

Ordonnance sur le traitement des déchets (OTD) – Remplacée par l'OLED en 2016

Littérature générale

An evaluation of technologies for the heavy metal remediation of dredged sediments
ELSEVIER 2001

Soil washing for metal removal: A review of physical/chemical technologies and field applications, ELSEVIER 2007

Recycling potentials of MSWI Bottom Ash - Confederation of European Waste-to-Energy Plants – 2014

Treatment of Bottom Ashes of Waste-to-Energy Installations, State of the Art – F.Lamers 2015

Qualité et devenir des mâchefers d'incinération de déchets non dangereux, état des lieux et perspectives – 2015

Gestion des mâchefers d'incinération de déchets non dangereux – CEREMA, France 2014

Annexes

Annexe 1 : détail des coûts actuels de l'élimination des mâchefers pour l'usine des Cheneviers

Activité : Traitement et valorisation mâchefer - chiffres en milliers de CHF	
Année 2017	
Produits d'exploitation	850,0
Métaux ferreux	350,0
Métaux non-ferreux	500,0
Charges d'exploitation	4 999,0
Elimination mâchefer final	3 238,2
Décharge cantonale	1 834,8
Autre décharge	1 403,4
Exploitation	727,2
Transports	1 033,5
Logistique indirecte	0,0
Location terrain	0,0
EBITDA	-4 149,0
Amortissements ordinaires	384,4
EBIT	-4 533,4
Frais financiers	
Résultat net de l'activité	-4 533,4

Les hypothèses retenues sont les suivantes :

<u>Données initiales</u>	
Quantité de déchets	235 000 tonnes/an
% mâchefer sortie extracteur	19,0%
Quantité de mâchefer	44 650 t/an
Rachat ferraille	100 CHF/t

Rachat non ferreux	500 CHF/t
Décharge Châtillon (GE)	91,74 CHF/t
<u>Actuel</u>	
Métaux ferreux extraits	7,8% soit 3'500 t/an
Métaux non ferreux extraits	2,2% soit 1'000 t/an
Perte en eau par évaporation naturelle	9,0% soit 4'019 t/an
Mâchefer résiduel	15,4% soit 36'132 t/an
Décharge Grandson	87 CHF/t
Transport Grandson	43 CHF/t
	129,6 CHF/t
<u>Charges</u>	
Charge salariale	250 000 CHF/an
Location camions	97 152 CHF/t
Location chargeuses	114 048 CHF/t
Exploitation Bois-de-Bay	363 200 CHF/t
Entretien	250 000 CHF/t

Annexe 2 : estimation de l'investissement à consentir pour une unité de traitement à sec (type KEZO) pour l'usine Cheneviers IV

Mail de Monsieur Böni, directeur de l'usine de KEZO concernant l'estimation du coût de construction d'une usine de traitement des mâchefers pour Genève :

We have checked the cost for a plant with a capacity of about 25'000 BA per year.

The estimate is based on the following conditions:

- Capacity: 25'000 t/y
- Incoming BA-transport: Conveyor
- Operation: 24 h – 7600 h/y
- Handpicking: > 40 mm
- No separate ferrous treatment
- 2 separation lines: 0.3 – 15 and 15 -40 mm
- Only one stainless steel separator
- No glass separation
- 2 Silos for treated BA
- Building and steel construction not include

We come up with an investment of about CHF 19 Mio. (including engineering CHF 2.0 Mio, erection CHF 3.0 Mio, EMSR CHF 4.5 Mio).

Annexe 3 : liste des sites d'enfouissement de mâchefers en Suisse

Dans le cas où la solution de l'enfouissement hors canton des mâchefers traités serait à l'étude, le tableau suivant liste les différents sites d'enfouissement de mâchefers présents sur le territoire.

Nom	Ville	Canton	Site web
Boécourt	Delémont	Jura (JU)	www.seod.ch
Buchserberg	Buchs	Saint-Gall (SG)	www.vfa-buchs.ch
Burgauerfeld	Flawil	Saint-Gall (SG)	www.zab.ch
Cazis-Unterrealta	Cazis	Grisons (GR)	www.avm-gr.ch
Cholwald	Ennetmoos	Nidwald (NW)	www.cholwald.ch
Chrüzlen	Oetwil am See	Zurich (ZH)	www.wiedag.ch
Décharge bioactive de Châtillon	Hauterive	Fribourg (FR)	www.ville-fribourg.ch
Eielen	Attinghausen	Uri (UR)	www.zaku.ch
Elbisgraben	Liestal	Bâle-Campagne (BL)	www.baselland.ch
Gravière des Tuileries	Grandson	Vaud (VD)	www.candlandi.com
Gummersloch	Köniz	Berne (BE)	www.koeniz.ch
Häuli	Lufingen	Zurich (ZH)	www.dhz.ch
Hinterm Chestel	Liesberg	Bâle-Campagne (BL)	www.kelsag.ch
ISDS Oulens	Eclépens	Vaud (VD)	www.cridec.ch
Kehlhof	Berg	Thurgovie (TG)	www.kvatg.ch
Kölliken	Kölliken	Argovie (AG)	www.smdk.ch
Laufengraben	Krauchthal	Berne (BE)	www.kewu.ch
Pflumm	Gächligen	Schaffhouse (SH)	www.abfall-sh.ch
Plaun Grond	Rueun	Grisons (GR)	www.regiun-surselva.ch
Riet	Winterthur	Zurich (ZH)	www.bau.winterthur.ch
Ronde Sagne	Tavannes	Berne (BE)	www.celtor.ch
Rothacker	Buchs (AG)	Argovie (AG)	www.transport-ag-aarau.ch
Sass Grand	Samedan	Grisons (GR)	www.abvo.ch
Seckenberg	Frick	Argovie (AG)	www.kopa.ch
Tännlimoos	Baar	Zoug (ZG)	www.risi-ag.ch
Teuftal	Frauenkappelen	Berne (BE)	www.teuftal.ch
Tüfentobel	St. Gallen	Saint-Gall (SG)	www.stadt.sg.ch
Türliacher	Jaberg	Berne (BE)	www.avag.ch
Valle della Motta	Coldrerio	Tessin (TI)	www.aziendarifiuti.ch

Source : ASED