

IV - Caractérisation du dépôt de mâchefers

Diagnostic d'un dépôt de mâchefers

Ce dossier est élaboré avec le CETE APAVE Normande

Siège: 2, rue des Mouettes - B.P 98 - 76132 Mont-Saint-Aignan Cédex Tél: 02.35.52.60.72

Version du 09/07/1998

IV - Caractérisation du dépôt de mâchefers

1 - Données générales et référentiel réglementaire sur les mâchefers

1.1 - Données générales sur les mâchefers

Les Mâchefers d'Incinération des Ordures Ménagères (MIOM) représentent en France une production annuelle de 1,5 Millions de tonnes/an pour les usines en fonctionnement.

Ils se présentent sous forme d'une gangue silicoalumineuse d'oxydes de sodium et de calcium contenant des oxydes métalliques très variés dont la température de fusion est comprise entre 1 000 et 1 500 °C. Ce matériau est composé en moyenne de 80 à 90 % de scories, de 1 à 5 % de métaux. Les mâchefers ont l'aspect de solides noirs plus ou moins divisés et très hétérogènes, où apparaissent, pour environ 1/3, des emballages métalliques, des morceaux de verre et diverses pièces de taille plus ou moins importante.

La masse volumique apparente après déferrailage et concassage est de l'ordre de 1,1 à 1,2 10^3 kg/m³. La valeur réelle est beaucoup plus élevée (2,5 10^3 kg/m³).

Les matières imbrûlées présentes dans le mâchefer constituent une donnée importante. Ces matières imbrûlées résultent des fractions pyrolysées mais non brûlées, de fractions combustibles n'ayant pas séjourné suffisamment longtemps dans le four ou ayant été protégées de la flamme par d'autres constituants. Une teneur comprise entre 1 et 5 % (en poids) est souvent observée, mais cette valeur est parfois largement dépassée en fonction de la nature du four et de la qualité de combustion des ordures ménagères.

Les **principales propriétés** des mâchefers sont les suivantes (cf. LAMY Environnement- Les déchets - octobre 1997) :

- *comportement sous l'action de l'eau*: les oxydes alcalins et alcalino-terreux se dissolvent en présence d'eau et génèrent une solution de pH tel que ce milieu favorise la dissolution des hydroxydes amphotères d'aluminium, de plomb, de zinc et de cadmium,
- *propriétés d'adsorption et de filtration* dues à la présence imbrûlés qui se comportent comme des charbon actifs,
- *pouvoir neutralisant*: la forte teneur en chaux confère aux mâchefers une capacité à précipiter les cations métalliques,
- *effet thermique*: existence d'un échauffement au coeur du dépôt (de 60 °C à 90 °C), en particulier au sein de zones homogènes non compactées. Ce mécanisme résulterait de réaction exothermique au sein du mâchefer : oxydation lente et ménagée des imbrûlés, oxydation du fer, carbonatation de la chaux, dévritification du verre.

Il faut noter que le mâchefer est un matériau très spécifique qui a une double propriété:

⊛ composition évolutive en fonction de la nature des résidus incinérés et des caractéristiques techniques de l'incinération,

✱ comportement évolutif dans le temps, en particulier sous l'action de l'eau, compte-tenu de la multiplicité des espèces et formes chimiques qui le composent.

La composition moyenne d'un MIOM varie de façon notable. On peut, à titre indicatif, fournir les fourchettes suivantes:

Composition	Pourcentage
Métaux résiduels	5 à 15 %
Silice	30 à 40 %
Oxydes métalliques (Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃)	15 à 20 %
Chaux	5 à 10 %
Oxydes divers	5 à 10 %
Imbrûlés	2 à 4 %
Humidité	15 à 25 %
Métaux lourds	1 %

1.2 - Cadre réglementaire

1.2.1 - Contraintes environnementales

Les mâchefers contiennent en faible proportion des constituants qui peuvent présenter un potentiel polluants. La circulaire du ministère de l'Environnement du 9 Mai 1994 (annexe I), relative à l'élimination des mâchefers d'incinération des résidus urbains, précise, vis à vis de l'environnement, les possibilités et les conditions de réutilisation des mâchefers en technique routière.

Elle rappelle notamment:

- l'interdiction du mélange des mâchefers et des cendres volantes
- la limitation à 5 % de la teneur en imbrûlés
- elle classe les mâchefers en 3 catégories selon leurs caractéristiques physico-chimiques et leur potentiel polluant.

Ainsi, ces trois catégories pourront être dénommées par les lettres « V », « M », « S », par analogie aux termes « valorisation », « maturation » et « stockage ».

Catégories	Destination/utilisation potentielle
Mâchefers de catégories « V » mâchefers à faible fraction lixiviable	valorisable en techniques routières et dans d'autres applications semblables
Mâchefers de catégories « M » mâchefers intermédiaires	élimination dans une installation de stockage de déchets ménagers et assimilés, pré-traitement, simple maturation en vue d'une valorisation
Mâchefers de catégories « S » mâchefers à forte fraction lixiviable	élimination dans une installation de stockage permanent de déchets ménagers et assimilés

Les critères d'appartenance à ces trois catégories sont les suivants:

Type d'analyse	Catégories de mâchefers		
	V (*)	M (*)	S (**)
Taux d'imbrulés	< 5%	< 5%	> 5%
Fraction soluble	< 5%	< 10%	> 10%
Potentiel polluant:	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Hg	< 0,2	< 0,4	> 0,4
Pb	< 10	< 50	> 50
Cd	< 1	< 2	> 2
As	< 2	< 4	> 4
Cr ⁶⁺	< 1,5	< 3	> 3
SO ₄ ²⁻	< 10 000	< 15 000	> 15 000
COT	< 1 500	< 2 000	> 2 000

(*) : ces mâchefers doivent répondre à l'ensemble des conditions ci-dessous

(**) : ces mâchefers présentent l'une au moins des caractéristiques listées ci-dessous

Le test de potentiel polluant est effectué en trois lixiviations successives conformément à la norme NF X 31-210, celui de la fraction soluble est exprimée comme le rapport au poids sec de l'échantillon lixivié du cumul des valeurs obtenues par pesée du résidu sec de chacun des trois lixiviats. La détermination du poids ou du résidu sec est réalisée conformément aux normes en vigueur et notamment la norme NF 90029.

La procédure d'échantillonnage est basée sur les éléments figurant dans le guide méthodologique d'échantillonnage des mâchefers d'usine d'incinération d'ordures ménagères, publié par le ministère de l'Environnement en date du 28 mai 1996 (annexe II).

La circulaire du 9 Mai 1994 limite également la localisation possible des zones d'utilisation: « l'utilisation des mâchefers doit se faire en dehors de zones inondables et des périmètres rapprochés des captages d'alimentation en eau potable, ainsi qu'à une distance minimale de 30 m de tout cours d'eau. Il convient de veiller à la mise en oeuvre des tels matériaux à une hauteur suffisante du niveau des plus hautes eaux connues. Enfin, ils ne doivent pas servir pour le remblaiement de tranchées comportant des canalisations métalliques ou pour la réalisation de systèmes drainants ».

1.2.2 - Guide technique de réalisation de remblais

Le SETRA a publié une note d'information N° 103 « Utilisation des mâchefers d'incinération d'ordures ménagères en techniques routières », ministère de l'Équipement paru en Août 1997 (reprise en annexe III).

Elle a pour objectif de présenter les conditions et les domaines d'emploi en technique routière des MIOM non traités avec un liant.

Ils sont alors utilisables dans les remblais et les couches de forme ainsi que les couches de fondation de chaussées faiblement circulées.

Cette note fait ressortir les éléments suivants:

- la qualité des mâchefers est variable
- le mélange de mâchefers et de cendres volantes pourrait conduire à des dégradations des ouvrages par gonflement
- quel que soit le type d'utilisation envisagée l'utilisateur routier doit connaître les caractéristiques géotechniques des mâchefers
 - les mâchefers ont une faible perméabilité.

Cette note présente des recommandations pour une bonne réalisation des ouvrages, qui tiennent compte des constatations effectuées sur les chantiers, des résultats d'études de laboratoires et qui s'appuient sur des documents techniques généraux applicables aux matériaux routiers classiques:

Couche de forme et terrassements routiers:

La circulaire du ministère de l'environnement limite l'utilisation à des remblais compactés d'au plus 3 mètres de hauteur, sans aucun dispositif d'infiltration et à condition qu'il y ait en surface:

- soit une structure routière ou de parking
- soit un recouvrement végétal sur un substrat d'au moins 0,5 m.

Pour être ainsi utilisées, les mâchefers (non traités par un liant) doivent être exempts des éléments les plus volumineux, supérieur à 150 mm en remblai et supérieure à 40 mm pour la partie supérieure des terrassement et la couche de forme. On applique alors le « guide technique - réalisation des remblais et des couches de formes » (SETRA - LCPL; 1992) et la norme P 11 300.

Utilisation comme matériaux de chaussée:

Les mâchefers non traités par un liant sont utilisables en couche de fondation de chaussées faiblement circulées en appliquant les prescriptions du manuel pour la conception des chaussées neuves à faibles trafic (SETRA - LCPC), si leurs caractéristiques géotechniques permettent de les classer dans les catégories de graves.

2 - Localisation et dimensions du dépôt

2.1 - Localisation

Le dépôt se situe à environ 30 mètres de l'UIOM. Il est positionné entre l'usine et l'extrémité Nord-Est du site, parallèlement à la clôture en limite de propriété Nord-Ouest.

La distance séparant le dépôt du grillage est d'environ 10 mètres (cf. Plan de masse du site au chapitre VII: Plans).

Sur le site, il existe deux tas de mâchefers. Seul, le plus grand des deux est concerné par cette étude. Le second, de part sa nature très disparate, ne pourra être utilisé comme remblai.

2.2 - Dimensions du dépôt

Le dépôt a la forme d'un tas en andain irrégulier dont les contours ont été modifiés au cours de ces dernières années. En effet, l'activité du site (déversement des ordures ménagères et excavation contre le tas avant la mise en service de la fosse de réception), le tassement naturel et sa maturation ont fait évoluer les caractéristiques de ce tas.

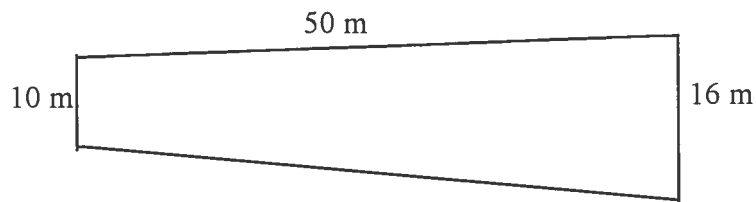
Les mâchefers entreposés sur ce tas proviennent exclusivement de l'incinération des ordures ménagères de l'usine située à proximité, il représente environ 18 mois d'exploitation (de juin 1994 au 31 décembre 1995, soit environ 3000 t de mâchefers).

Ces résidus ont été extraits du four par un système d'entraînement à tapis qui les déversait dans une tranchée de stockage avant d'être par la suite déposés sur le tas à l'aide d'un tracto-pelle.

Le schéma de la page suivante représente les différentes dimensions du dépôt. Le dépôt a une hauteur comprise entre 3,3 m et 2,7 m.

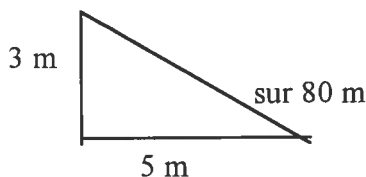
Estimation du volume du dépôt:

La surface supérieure est assimilée à un trapèze: $S1 = (10+16) \times 50 / 2 = 650 \text{ m}^2$

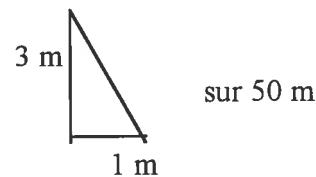


La hauteur du tas est en moyenne égale à 3 m: $V1 = 3 \times 650 \text{ m}^2 = 1950 \text{ m}^3$

Le talus peut être assimilé à une couronne de forme triangulaire :



Soit $S2 = 3 \times 5 / 2 = 7,5 \text{ m}^2$
D'où $V2 = 7,5 \times 80 = 600 \text{ m}^3$



$S3 = 1 \times 3 / 2 = 1,5 \text{ m}^2$
 $V3 = 1,5 \times 50 = 75 \text{ m}^3$

Calcul théorique: $V1 + V2 + V3 = 600 + 75 + 1950 = 2625 \text{ m}^3$

En première approximation le volume du dépôt est d'environ 2 600 m³.

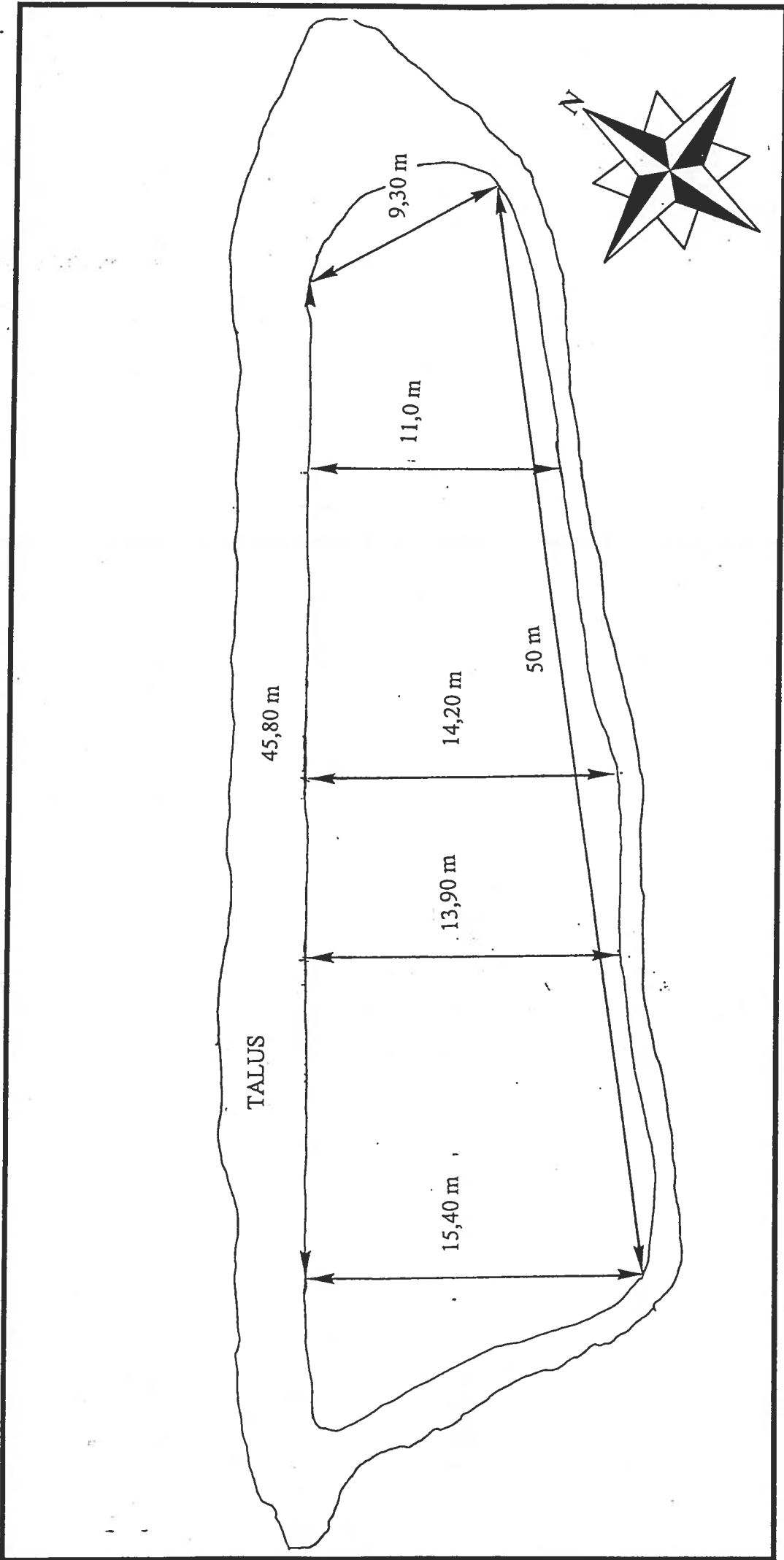


Figure n°1: dimensions du dépôt de mâchefers

Ce dossier est élaboré avec le CETE APAYE Normandie

Siège: 2, rue des Mouettes - B.P. 98 - 76132 Mont-Saint-Aignan Cédex Tél: 02.35.52.60.72

Version du 12/06/1998

3 - Description des campagnes de prélèvements d'échantillons

L'ensemble des investigations a été effectué en plusieurs campagnes de prélèvements: le 6 et 7 Avril et le 23 Avril 1998. Seul le premier tas de mâchefers est concerné par cette étude.

3.1 - Echantillon moyen de mâchefers pour analyses chimiques

3.1.1 - Prélèvements d'échantillons élémentaires dans le dépôt de mâchefers

Une première campagne de prélèvements a été réalisée le 6 Avril 1998 en collaboration avec l'Entreprise GREGOIRE (spécialisée dans les travaux publics) qui a fourni le matériel de terrassement nécessaires aux différents prélèvements (tracto-pelle,...).

L'échantillonnage a été réalisé conformément au guide méthodologique édité par le ministère de l'Environnement, un protocole préalable de prélèvements des échantillons figure en annexe IV.

Il faut noter cependant que certaines dimensions et caractéristiques du dépôt ayant évolué, il a été nécessaire de corriger ce protocole préalable en cours de mission.

Plusieurs seaux de 12 l remplis de mâchefers ont été pesés afin d'évaluer la densité apparente, celle-ci est constante sur l'ensemble du tas.

densité apparente mesurée:	1.3 (avec des variations dans le dépôt de plus de 10 %)
volume estimé :	2 600 m ³
nombre de prise d'échantillons élémentaires:	25
distance entre chaque prélèvement:	2 m
masse approximative de chaque prise élémentaire:	10 kg



Le tracto-pelle a servi à faire les prélèvements à différentes profondeurs (la profondeur a été évaluée à l'aide d'un décimètre), un seau jaugeur a permis de réaliser les prises élémentaires d'une façon constante tout au long des opérations (10 kg à chaque prise).

Le tableau ci-dessous retrace le déroulement de la campagne de prélèvement des échantillons élémentaires:

N° de prélèvement (localisation sur plan ci-après)	Heure de prélèvement	Profondeur de prélèvement	Observations Particulières
1	9h15	0,5 m	couleur clair
2	9h20	0,5 m	granulométrie fine
3	9h25	0,5 m	
4	9h30	0,5 m	
5	9h35	0,5 m	
6	9h40	1 m	
7	9h42	1 m	
8	9h45	1 m	
9	9h50	1 m	sombre (noir)
10	9h55	1 m	sombre
11	10h00	2 m	couche noir
12	10h10	2 m	couleur rouille
13	10h15	2,3 m	
14	10h20	2,50 m	
15	10h30	2,3 m	
16	10h45	3,20 m	couleur rouille
17	10h55	3,10 m	
18	11h05	3,60 m	présence d'eau au fond
19	14h00	3,40 m	couleur foncée
20	14h15	3,40 m	
21	14h30	2,81 m	présence de plastique couleur bleu argile éléments plus grossier (gravats)
22	15h00	2,6 m	plastique couleur noir imbrulés en quantité non négligeable
23	15h25	2,5 m	bon aspect pas d'imbrulés
24	15h40	2,45 m	
25	11h15	3,3 m	

☞ Cette campagne de prélèvements a montré une certaine hétérogénéité en ce qui concerne la composition du dépôt.

En effet, des différences d'aspect et de composition (couleur, densité, présence d'imbrulés...) ont été observées lors des prises élémentaires.

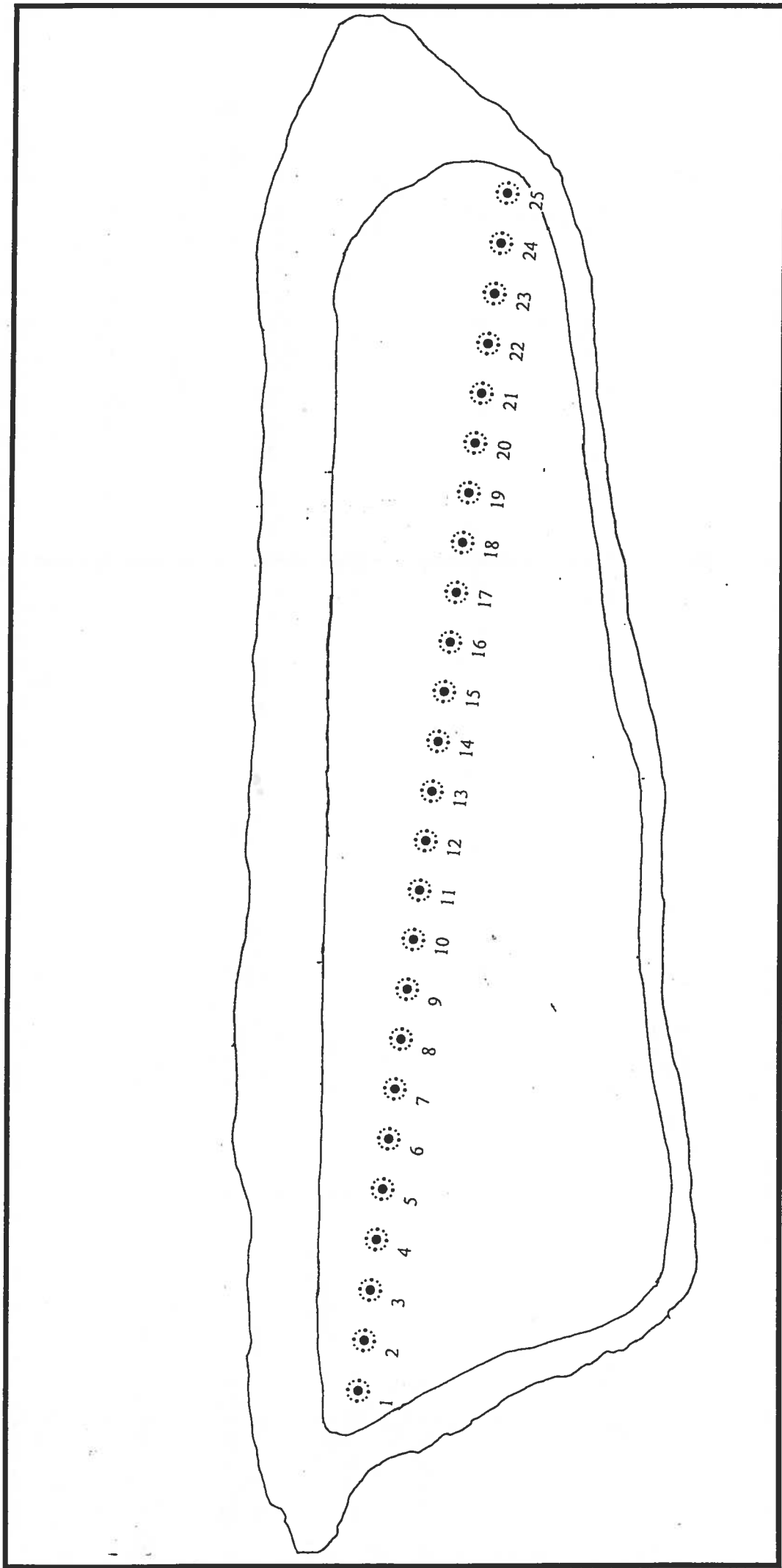


Figure n°2: 1ère campagne de prélèvements

Ce dossier est élaboré avec le CETE APAYE Normande

Siège: 2, rue des Mouettes - B.P. 98 - 76132 Mont-Saint-Aignan Cédex Tél: 02.35.52.60.72

Version du 12/06/1998

Remarques:

☞ Les prélèvements ont été effectués dans des conditions pluvieuses ce qui a limité la dispersion de poussières (aspect pulvérulent du mâchefers) lors des prises

☞ Un phénomène de production de vapeur d'eau a été observé lors de certaines prises (dans la partie ouest du dépôt), il pourrait s'agir d'une légère oxydation-combustion des mâchefers encore en maturation dans cette zone (voir photo ci-dessous). Ceci est corroboré par le rapport de l'association Robin des Bois qui avait déjà relevé une élévation de température lors d'une précédente investigation.

☞ On a constaté, sur la partie Nord-Est du dépôt, une proportion plus importante d'imbrûlés et de plastiques (voir photo suivante).

L'ensemble des prélèvements a été déposé sur une aire spécifique, isolée du sol à l'aide d'une bâche en polyuréthane, à l'abri des intempéries (à l'intérieur de l'ancienne UIOM).



Production de vapeur d'eau



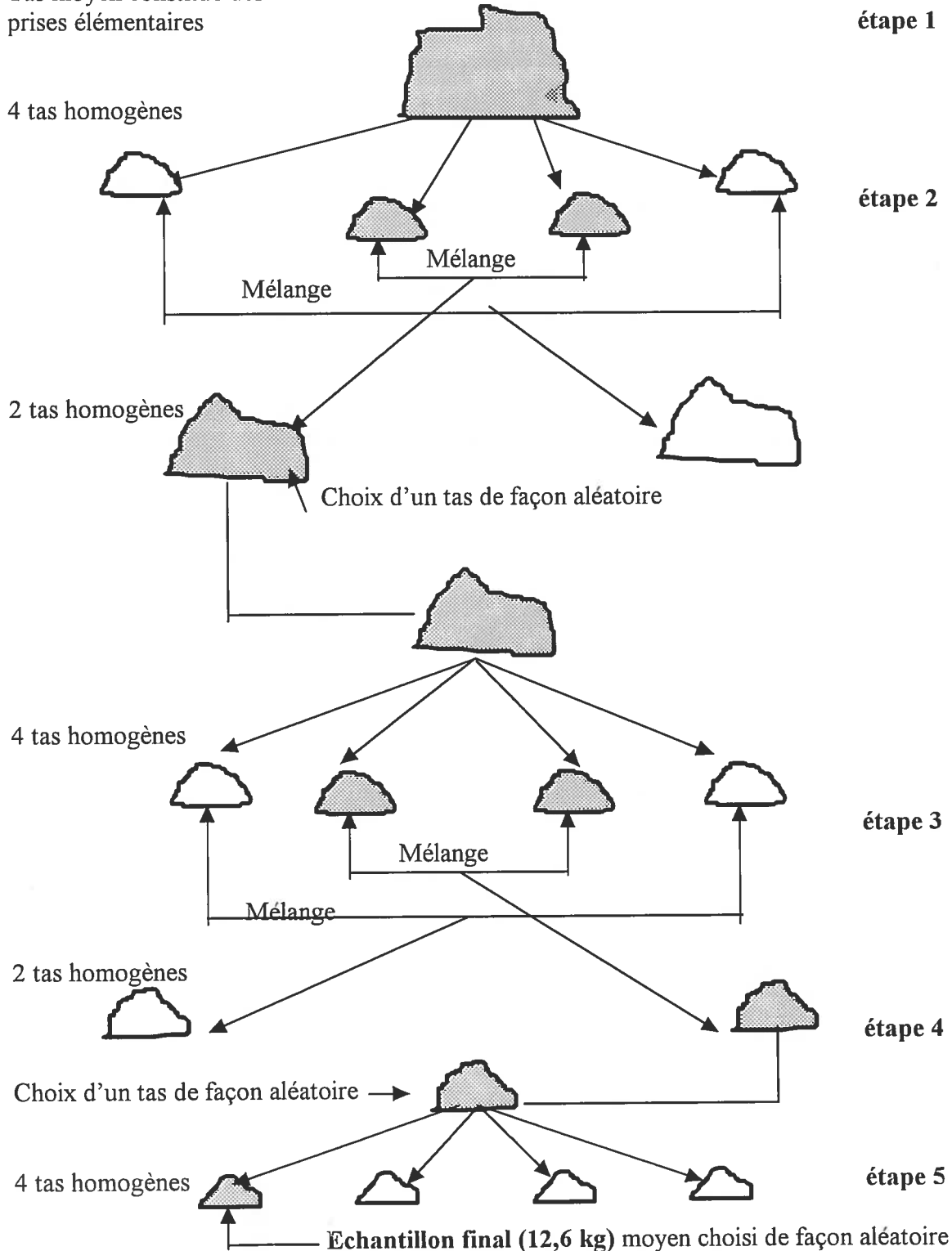
Vue de la tranchée

3.1.2 - Constitution de l'échantillon moyen

Le synopsis page suivante décrit les différentes opérations de quartage effectuées le 7 Avril 1998.

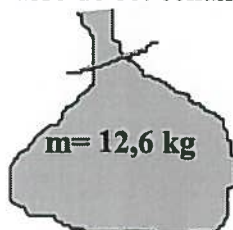
DEBUT DES OPERATIONS:

Tas moyen constitué des 25 prises élémentaires



FIN:

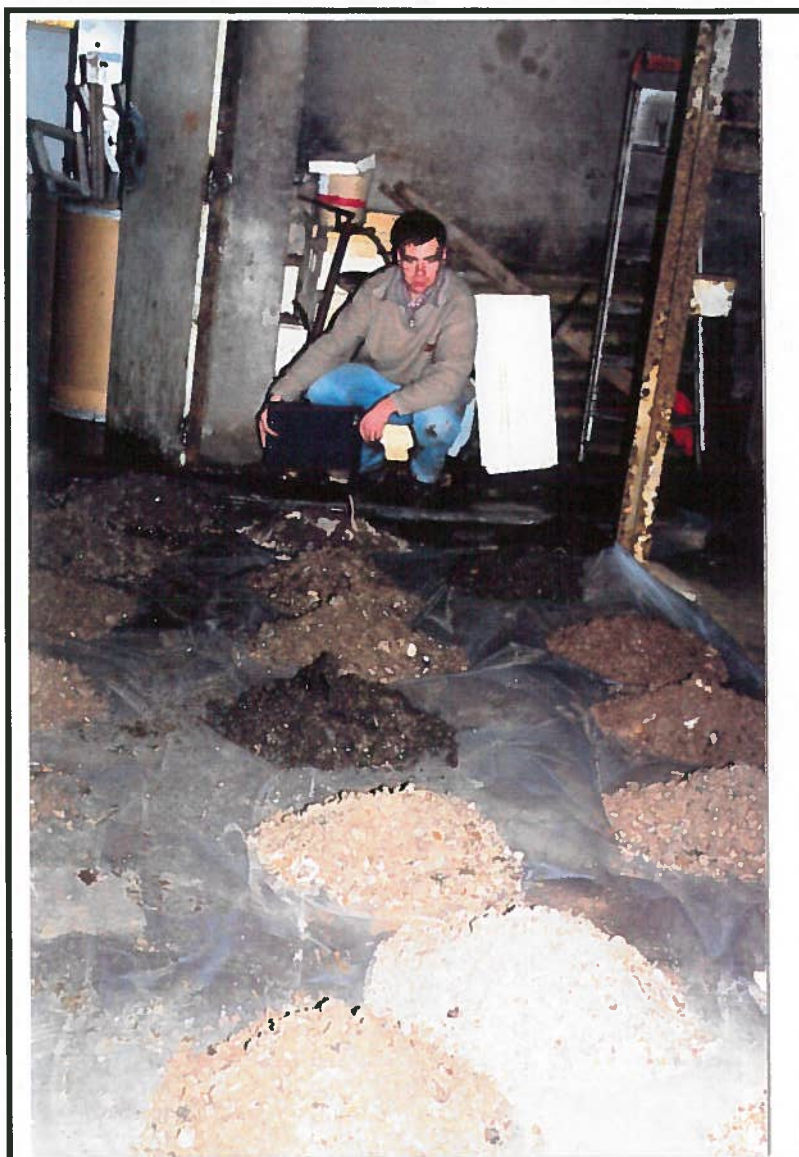
L'échantillon final a été conditionné dans un sac en plastique épais, fermé.
Une pesée a permis de déterminer la masse de cet échantillon:



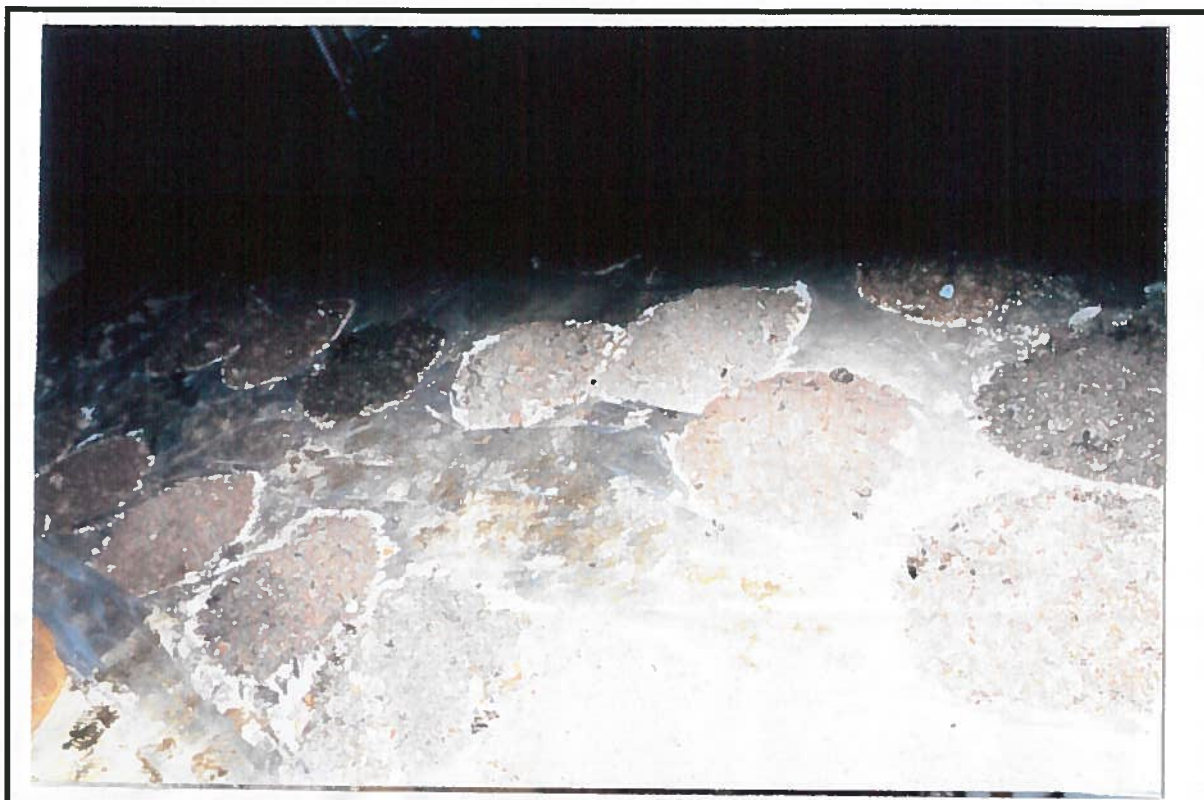
Etiqueté puis expédié le 8 Avril 1998 au laboratoire de l'APAVE Parisienne pour analyse.

3.1.3 - Déroulement des opérations en photos

Les photos suivantes reprennent le synopsis de la page précédente en faisant référence aux différentes opérations de quartage:



Les 25 prises élémentaires



25 prises élémentaires



le tas moyen initial - étape 1

*Ce dossier est élaboré avec le CETE APAVE Normande
Siège: 2, rue des Mouettes - B.P 98 - 76132 Mont-Saint-Aignan Cédex Tél: 02.35.52.60.72
Version du 09/07/1998*



4 tas homogènes - étape 2



4 tas homogènes - étape 3

*Ce dossier est élaboré avec le CETE APAVE Normande
Siège: 2, rue des Mouettes - B.P 98 - 76132 Mont-Saint-Aignan Cédex Tél: 02.35.52.60.72
Version du 09/07/1998*



2 tas homogènes - étape 4



4 tas homogènes dont l'échantillon final - étape5

3.2 - Prises d'échantillons au droit du dépôt

3.2.1 - Echantillons de sols

Une deuxième campagne de prélèvements a été réalisée le 7 Avril 1998 dans le sous-sol au droit du dépôt.

5 prélèvements au droit du dépôt ont été réalisés:

- 2 prélèvements dans la couche de vieux remblai (ancien mâchefers)
- 3 prélèvements dans la couche supérieure du terrain naturel (argile).

Localisation et identification des prélèvements:

N° échantillon (localisation sur le plan ci- après)	Localisation du prélèvement	Profondeur	Type d'échantillon	masse de l'échantillon	Observations
2	centre du dépôt	4,1 m	remblai vieux mâchefers	4,2 kg	plus sombre que le mâchefers précédent
3	début chantier	3,9 m	remblai vieux mâchefers	3 kg	idem
4	centre dépôt	4,5 m	terrain naturel	3,4 kg	argile
5	début chantier	4,3 m	terrain naturel	4,6 kg	argile
6	fin de chantier	4,7 m	terrain naturel	4,8 kg	argile



Vieux mâchefers et argile (terrain naturel)

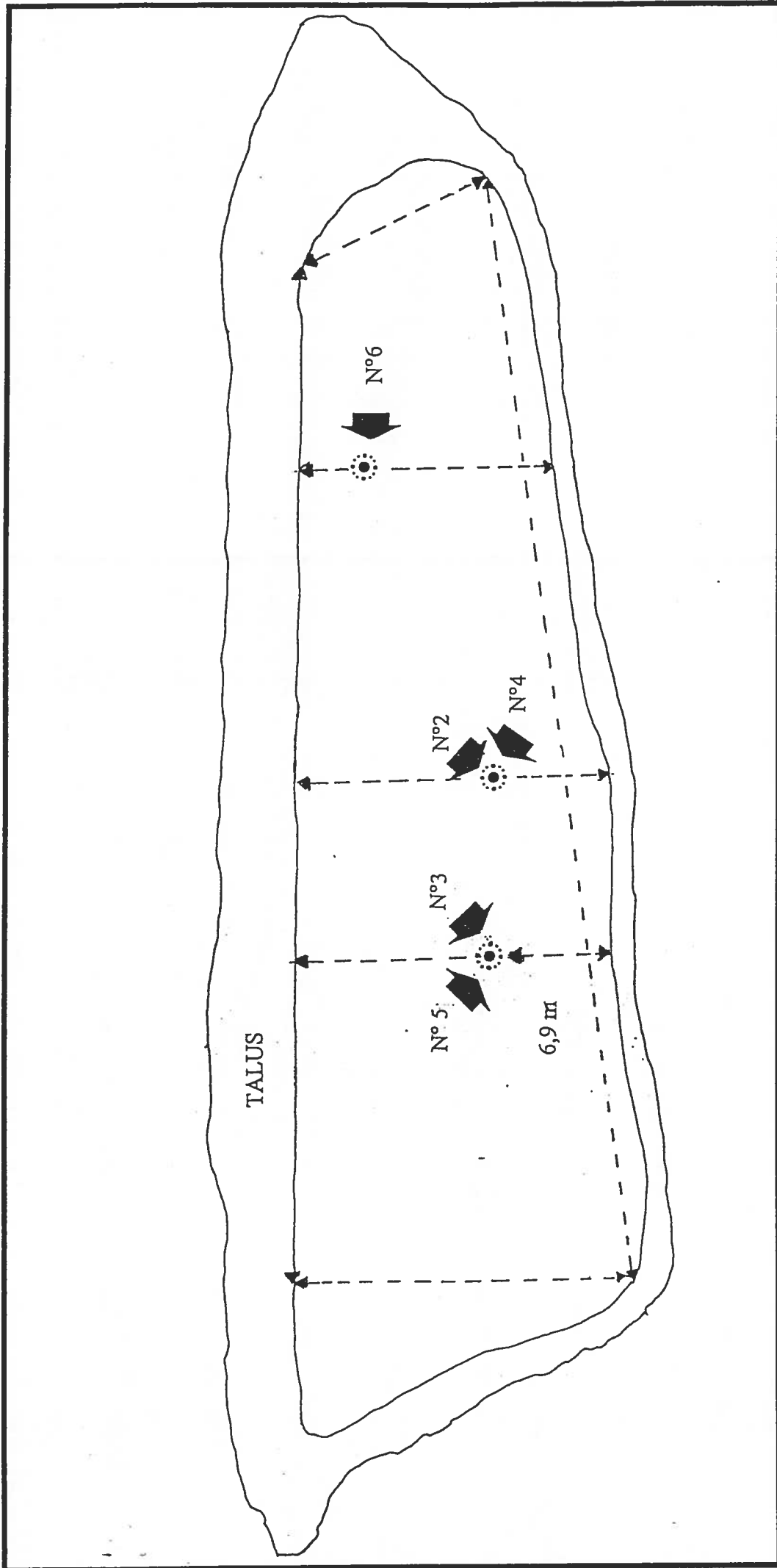


Figure n°3: 2ème campagne de prélèvements

Ce dossier est élaboré avec le CETE APAVE Normandie

Siège: 2, rue des Mouvettes - B.P. 98 - 76132 Mont-Saint-Aignan Cédex Tél: 02.35.52.60.72

Version du 12/06/1998

3.3 - Echantillon moyen de mâchefers pour analyses physiques

3.3.1 - Prélèvements d'échantillons élémentaires dans le dépôt de mâchefers

Une troisième campagne de prélèvements d'échantillons a été réalisée le 23 Avril 1998 dans le dépôt afin de déterminer les caractéristiques physiques du mâchefer.

Cette troisième campagne de prélèvement a pour objectif d'échantillonner le dépôt sur les bases suivantes:

densité apparente mesurée:	1.3
volume estimé:	2 500 m ³
nombre de prise d'échantillons élémentaires:	12
distance entre chaque prélèvement:	4 m
masse de chaque prise élémentaire:	14 kg

N° de prélèvement (localisation sur plan ci-après)	Heure de prélèvement	Profondeur de prélèvement	Observation
1	9h15	3,7 m	début chantier
2	9h25	3,5 m	
3	9h42	3,3 m	
4	9h52	3,2 m	
5	10h07	3,0 m	
6	10h16	2,9 m	
7	10h61	2,7 m	apparition d'eau de percolation
8	10h45	2,5 m	
9	11h20	2,1 m	
10	11h30	1,9 m	
11	11h40	1,5 m	
12	11h50	1 m	fin de chantier

L'ensemble des échantillons a été déposé sur une aire spécifique, isolée du sol à l'aide d'une bâche en polyuréthane, à l'abri des intempéries (à l'intérieur de l'ancienne UIOM).



Vue de la tranchée



Vue d'une poche d'eau de percolation

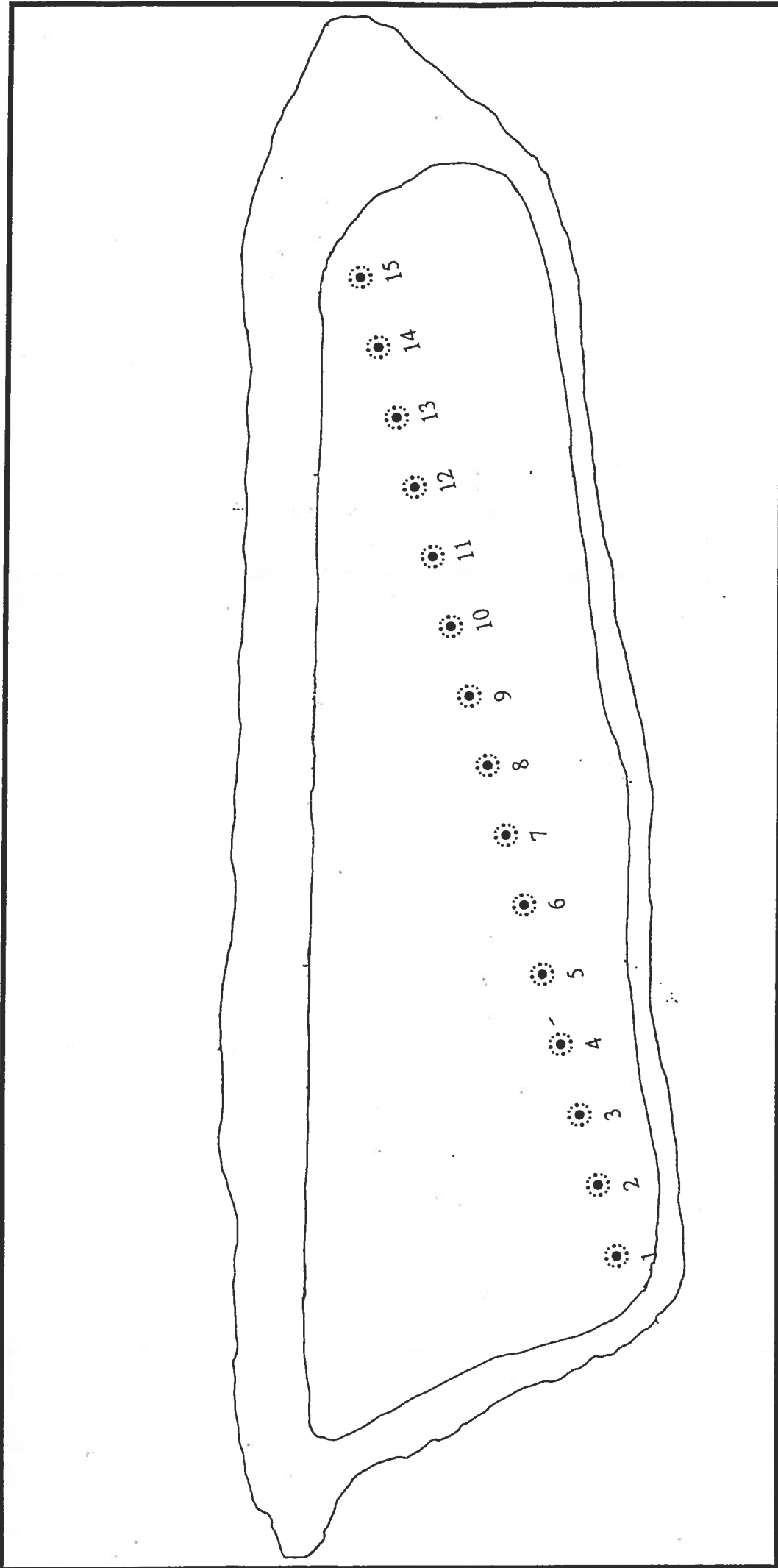


Figure n°4: 3ème campagne de prélèvements

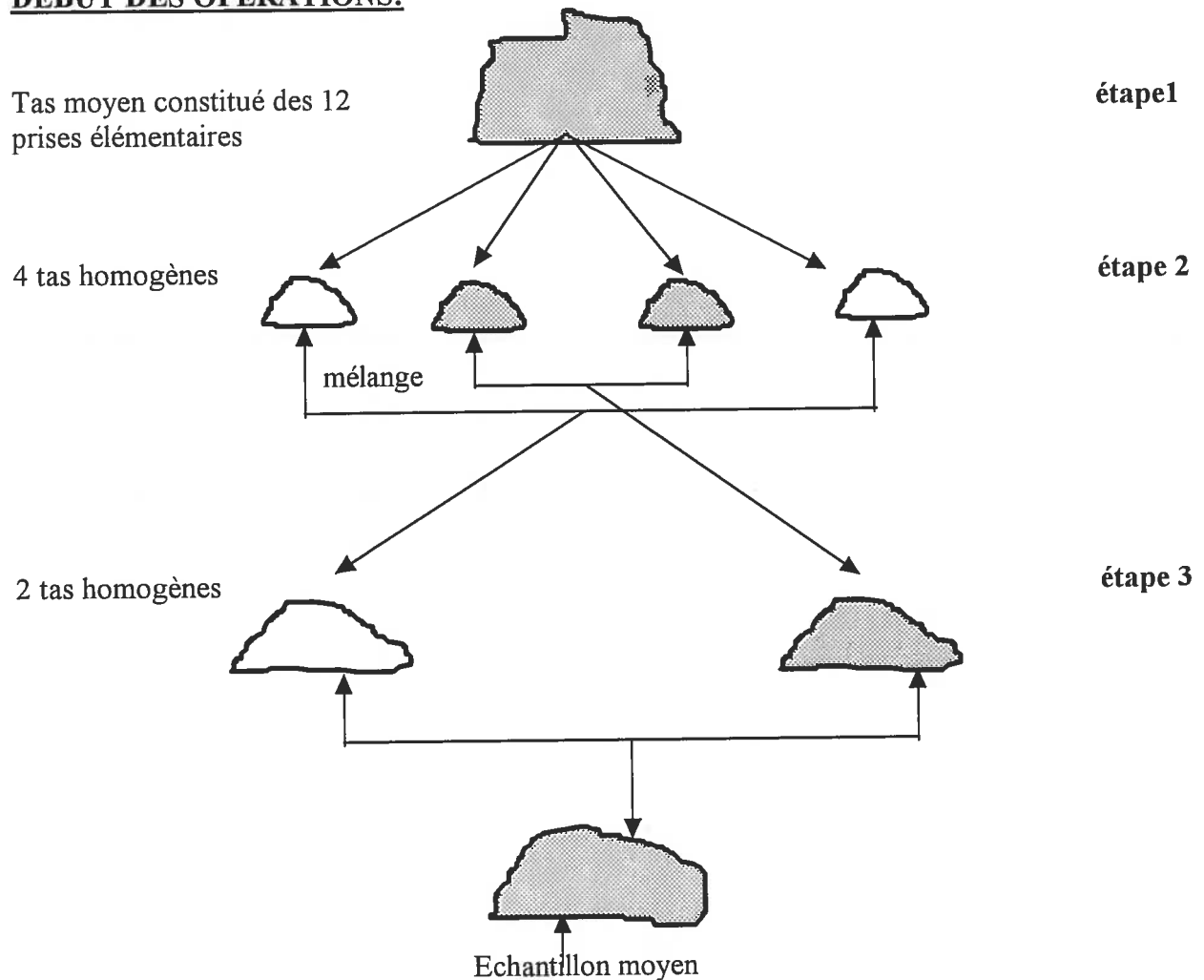
Ce dossier est élaboré avec le CETE APAVE Normande
Siège: 2, rue des Mouettes - B.P 98 - 76132 Mont-Saint-Aignan Cédex Tél: 02.35.52.60.72
Version du 12/06/1998

3.3.2 - Réduction de l'échantillon initial

Les différentes opérations de réduction de l'échantillon initial ont eu lieu le même jour que les prélèvements élémentaires.

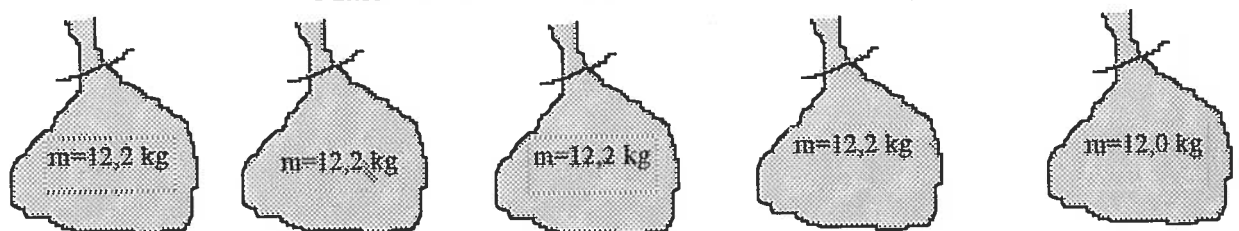
Le synopsis suivant reprend le déroulement de cette réduction:

DEBUT DES OPERATIONS:



Conditionnement de l'échantillon final en 5 sacs, vidés de leur air, étiquetés et expédiés pour analyse à SOLEN Géotechnique.

Masse totale de l'échantillon final $m=60,8$ kg



3.3.3 - Déroulement des opérations en photos



Tas moyen constitué - étape 1



4 tas homogènes - étape 2

*Ce dossier est élaboré avec le CETE APAVE Normande
Siège: 2, rue des Mouettes - B.P 98 - 76132 Mont-Saint-Aignan Cédex Tél: 02.35.52.60.72
Version du 09/07/1998*



Photo n°10: 2 tas homogènes - étape 3



Photo n°11: Echantillon final - étape 4

3.4 - Echantillon d'eaux de percolation

Au cours de la campagne précédente, un échantillon d'eau a été prélevé au droit du dépôt (correspondant au point de prélèvements N° 7) à environ 3, 80 mètres de profondeur pour analyses.

Volume prélevé: 2 l

Conditionnement: 1 flacon en verre (v= 1 l) pour l'analyse des métaux lourds (stabilisation du liquide par ajout d'1 ml d'acide nitrique concentré)

1 flacon plastique (v= 1 l) pour les autres analyses

Date d'expédition: le 24 Avril 1998



Eau de percolation

4 - Résultats des analyses physico-chimiques

4.1 - Echantillon moyen de mâchefers

4.1.1 - Analyses chimiques

L'échantillon moyen de mâchefers a été expédié au laboratoire d'analyses de l'APAVE Parisienne le 10 Avril 1998, soit 3 jours après la date de prélèvement (6 et 7 Avril).

Un test de lixiviation a été réalisé sur 100 g de l'échantillon moyen de mâchefers selon la norme AFNOR X 31-210, le tableau suivant reprend les résultats de ces analyses (le compte-rendu d'analyses figure en annexe V):

Echantillon moyen de mâchefers (N°1)							
Caractéristiques mesurées	Unité		Valeur mesurée		Comparaison avec les seuils de la circulaire du 9 Mai 1994		
Masse	kg		3,4				
Etat			solide hétérogène				
Humidité	%		16,4				
Taux d'imbrulés	% sec		3,2		< 5	V	
Analyses par test de lixiviation				Matière extraite par kg de déchets sec		Valeur limite	Catégorie
Fraction soluble	mg/kg	%	18 000	1,8	< 5	V	
COT	mg/kg		< 180		< 1500	V	
Sulfates	mg/kg		9 800		< 10 000	V	
Chrome hexavalent	mg/kg		< 0,4		< 3 1,5	V	
Arsenic	mg/kg		< 0,4		< 2	V	
Cadmium	mg/kg		< 0,4		< 1	V	
Mercure	mg/kg		< 0,07		< 0,4 0,2	V	
Plomb	mg/kg		< 1,8		< 10	V	

4.1.2 - Analyses physiques

Dans l'optique d'une éventuelle utilisation du mâchefer comme remblai, il est nécessaire de déterminer son comportement mécanique (aptitude au compactage, tendance au gonflement).

Pour cela, il a été procédé à 3 mesures sur l'échantillon moyen, constitué lors de la troisième campagne de prélèvement:

- Essais Proctor Normal selon la norme NF P 94-093
- Essais d'indice CBR après immersion 96 heures
- Essais d'indice CBR immédiat selon la norme NF P 94-078

Ces mesures ont été réalisées par le laboratoire SOLEN GEOTECHNIQUE à Orléans.

Essai Proctor:

L'essai Proctor consiste à compacter dans un moule à l'aide d'une dame une certaine quantité de sol à une teneur en eau déterminée.

Il a pour objectif de déterminer la quantité d'eau optimale, contenue dans le mâchefer, nécessaire à un bon compactage.

	Résultats de mesures: Essai PROCTOR
Pourcentage d'éléments supérieurs à 20 mm	18 %
Densité sèche optimale	4,49
Teneur en eau optimale « Optimum Proctor »	28,0 %

Le mâchefer est peu sensible à l'eau.
L'optimum de compactage est atteint pour une teneur en eau de 28 %.

Essai CBR:

L'essai CBR sert à déterminer une grandeur permettant de calculer les fondations des chaussées en fonction du trafic prévu, l'indice CBR, déterminé à l'aide de cet essai, est une mesure de la force portante d'une route.

	Résultats de mesures: Essai CBR
Teneur en eau	Valeur du gonflement linéaire relatif G après 96 h
22,9 %	0,00 %
25,6 %	+ 0,02 %
27,2 %	+ 0,43 %
28,8 %	+ 0,69 %

A l'optimum Proctor, les résultats de poinçonnement CBR avant et après immersion varient peu, ce qui confirme la faible sensibilité à l'eau du mâchefer.

La portance CBR est de plus relativement élevée.

Conclusions:

Le mâchefer testé est peu déformable, une fois compacté.
Les gonflements en présence d'eau sont faibles.

4.2 - Echantillons de remblai: « vieux mâchefers »

Remblai « vieux mâchefers » (N°2)							
Caractéristiques mesurées	Unité		Valeur mesurée		Comparaison avec les seuils de la circulaire du 9 Mai 1994		
Masse	kg		4,2				
Etat			solide hétérogène				
Humidité	%		23,8				
Taux d'imbrulés	% sec		11,5		< 5	M S	
Analyses par test de lixiviation				Matière extraite par kg de déchets sec		Valeur limite	Catégorie
Fraction soluble	mg/kg	%	14 000	1,4	< 5	V	
COT	mg/kg		280		< 1500	V	
Sulfates	mg/kg		2 800		< 10 000	V	
Chrome hexavalent	mg/kg		< 0,4		< 1,5	V	
Arsenic	mg/kg		< 0,4		< 2	V	
Cadmium	mg/kg		< 0,4		< 1	V	
Mercure	mg/kg		< 0,08		< 0,4 9,2	V	
Plomb	mg/kg		< 2		< 10	V	

Remblai « vieux mâchefers » (N°3)							
Caractéristiques mesurées	Unité		Valeur mesurée		Comparaison avec les seuils de la circulaire du 9 Mai 1994		
Masse	kg		3				
Etat			solide hétérogène				
Humidité	%		22,3				
Taux d'imbrulés	% sec		7,4		< 5	M S	
Analyses par test de lixiviation				Matière extraite par kg de déchets sec		Valeur limite	Catégorie
Fraction soluble	mg/kg	%	17 000	1,7	< 5	V	
COT	mg/kg		230		< 1500	V	
Sulfates	mg/kg		3 300		< 10 000	V	
Chrome hexavalent	mg/kg		< 0,4		< 1,5	V	
Arsenic	mg/kg		< 0,4		< 2	V	
Cadmium	mg/kg		< 0,4		< 1	V	
Mercure	mg/kg		< 0,08		< 0,4 0,7	V	
Plomb	mg/kg		< 2		< 10	V	

4.3 - Terrain naturel au droit du dépôt

Il n'existe pas de données de référence sur la composition géochimique du sol dans le secteur d'étude (contact BRGM).

Les tableaux suivants permettent de comparer les résultats de mesures des sols (sur brut) aux seuils réglementaires de certaines substances dans les sols définies dans:

- l'arrêté ministériel du 8 Janvier 1998, relatif à l'épandage des boues, qui fixe des valeurs limites de concentration en éléments traces dans les sols au delà desquelles l'épandage de boues n'est plus autorisé,
- le Guide méthodologique du Ministère de l'Environnement (version du 1 Juin 1997) en matière d'évaluation simplifiée des risques et classification de sites, qui permet de retenir des valeurs guides de teneurs en substances sources de pollution des sols (cf. Annexe IX).

Terrain naturel « argile » (N°4)						
Caractéristiques mesurées	Unité	Valeur mesurée	France		Hollande	
Masse	kg	3,4				
Etat		argile				
Analyses sur brut		Matière extraite par kg de matière sèche	Valeur limite	Ecart	VDSS	Ecart
Humidité	%	14,8				
COT	%	0,15				
Sulfates	mg/kg	< 200				
Chrome hexavalent	mg/kg	12	150 ¹	-	5 ²	+
Arsenic	mg/kg	6,9			59,16	--
Cadmium	mg/kg	< 2	2	-	7,78	--
Mercure	mg/kg	< 0,4	1	-	7,97	--
Plomb	mg/kg	63	100	-	448,54	--

Terrain naturel « argile » (N°5)						
Caractéristiques mesurées	Unité	Valeur mesurée	France		Hollande	
Masse	kg	4,6				
Etat		argile				
Analyses sur brut		Matière extraite par kg de matière sèche	Valeur limite	Ecart	VDSS	Ecart
Humidité	%	18,9				
COT	%	0,24				
Sulfates	mg/kg	240				
Chrome hexavalent	mg/kg	11	150 ¹	--	5	+
Arsenic	mg/kg	13			59,16	-
Cadmium	mg/kg	< 2	2	-	7,78	-
Mercure	mg/kg	< 0,4	1	-	7,97	--
Plomb	mg/kg	83	100	-	448,54	--

Terrain naturel « argile » (N°6)				
Caractéristiques	Unité	Valeur mesurée	France	Hollande

¹ Cette valeur porte sur l'élément Chrome total.

² Les normes Hollandaises ne donnent pas de valeur d'intervention pour le Chrome hexavalent (seulement pour le chrome total), la valeur tabulée correspond au référentiel SLU Suédois (sous réserve que cette valeur soit supérieure à 2 fois le bruit de fond géochimique local si celui-ci est connu).

Physico-chimiques						
Masse	kg	4,8				
Etat		argile				
Analyses réalisées		Matière extraite par kg de matière sèche	Valeur limite	Ecart	VDSS	Ecart
Humidité	%	21,4				
COT	%	0,33				
Sulfates	mg/kg	300				
Chrome hexavalent	mg/kg	6,0	150	---	5	+
Arsenic	mg/kg	18			59,16	-
Cadmium	mg/kg	3	2	+	7,78	--
Mercure	mg/kg	< 0,4	1	-	7,97	--
Plomb	mg/kg	75	100	-	448,54	---

4.4 - Caractérisation des eaux au droit du dépôt

L'échantillon d'eau de percolation dont les résultats d'analyses suivent, a été prélevé au droit du dépôt le 23 Avril 1998 lors de la troisième campagne de prélèvement:

Ces eaux peuvent être, en première approximation, assimilés à des lixiviats de décharge.

Afin d'évaluer au mieux l'impact du dépôt sur son environnement, le tableau suivant présente une comparaison entre les valeurs relevées pour cet échantillon et les valeurs limites applicables aux rejets d'effluents liquides dans le milieu naturel fixés par l'arrêté ministériel du 9 Septembre 1997. Cet arrêté est relatif aux décharges existantes et aux installations de stockage de déchets ménagers et assimilés.

Echantillon d'eau au droit du dépôt					
Caractéristiques mesurées	Unité	Valeur mesurée		Critères minimaux de rejets des effluents liquides	
Volume	1	2			
Etat		liquide trouble			
Analyses réalisées				Valeur limite	Ecart
pH		7,83			
COT	mg/l	103		< 70	+
Sulfates	mg/l	90,54			
Chrome hexavalent	mg/l	< 0,01		< 0,1	--
Arsenic	mg/l	0,010		< 0,1	-
Cadmium	mg/l	0,028		< 0,2	-
Mercure	mg/l	0,010		< 0,5	--
Plomb	mg/l	2,12		< 0,5	++

Les résultats de analyses sont repris en annexe VII.

5 - Analyses et Commentaires des résultats

5.1 - Echantillon moyen de mâchefers

5.1.1 - Analyses chimiques

En ce qui concerne l'échantillon moyen de mâchefers constitué, sa **valorisation est possible** au vu de ses résultats **d'analyses chimiques**. En effet, l'ensemble des mesures effectuées (test de lixiviation selon la norme X 31-210) montre des valeurs inférieures aux seuils de la catégorie « V » suivant les termes de la circulaire ministérielle du 9 Mai 1994.

Il faut cependant nuancer ces résultats au regard de la teneur en sulfates des mâchefers qui très proche de la limite autorisée (9 800 mg/kg pour 10 000 au maximum), les autres valeurs sont très nettement inférieures aux seuils et pour certaine inférieures aux seuils de détection (Chrome hexavalent par exemple).

La faible fraction soluble (1,8 %) et le faible taux d'imbrûlés (3,2 %) démontre un bonne « maturation » dans le temps du mâchefers et une amélioration nette de ses qualités chimiques. En effet, la précédente analyse, effectuée le 23/09/1996 par le laboratoire départemental et régional de biologie et d'hygiène du département du Calvados, donnait un taux d'imbrûlés égal à 7,3 % et une fraction soluble égale en moyenne à 2,6 % (résultats repris en annexe VIII).

5.1.2 - Analyses Physiques

Comportement mécanique:

En ce qui concerne son comportement **mécanique**, les résultats d'analyses démontrent une bonne tenue à l'eau de l'échantillon moyen de mâchefers ainsi que des gonflements considérés comme faibles.

Granulométrie:

Les mesures faites sur un échantillon moyen de mâchefers indiquent que les éléments grossiers (particule > 20 mm) ne représentent que 18 % du poids de mâchefers.

5.2 - Vieux mâchefers

Après analyses chimiques, les résultats montrent que les **taux d'imbrûlés** (pour les 2 échantillons) sont **supérieurs** au seuil fixé par la circulaire du 9 Mai 1994. Ce qui les classent dans la catégorie « M ». Dans leur état actuel, ils ne sont donc **pas classés valorisables**.

5.3 - Terrain naturel

Le terrain naturel, situé au droit du dépôt montre des teneurs en élément Arsenic et Plomb qui restent inférieures aux seuils réglementaires et notamment aux valeurs guides Hollandaises. On relève également la présence d'élément Chrome VI qui, en l'absence de données sur le bruit de fond géochimique local, ne peut être actuellement comparée à un seuil réglementaire (valeur guide Suédoise par exemple).

5.4 - Eaux de percolation

Les analyses des eaux de percolation montrent de teneurs en **COT et Plomb** plus élevées que les seuils relatifs aux rejets d'effluents liquides dans le milieu naturel.