

**MÉTHODOLOGIE POUR LE CALCUL DE L'EFFICACITÉ
D'UN PROCÉDÉ DE SÉGRÉGATION PHYSIQUE
DE SOLS OU SÉDIMENTS CONTAMINÉS
PAR DES MÉTAUX OU MÉTALLOÏDES**



Mars 2013

*Développement durable,
Environnement,
Faune et Parcs*

Québec 

ÉQUIPE DE RÉALISATION

Auteur :	Bernard Gaboury, ing. Direction des matières résiduelles et des lieux contaminés
Coauteurs :	Luc Bonneau, ing. André Paquet, ing. Direction des matières résiduelles et des lieux contaminés
Traitement de texte :	Gaétane Michaud Direction des matières résiduelles et des lieux contaminés

GABOURY, Bernard, 2013. *Méthodologie pour le calcul de l'efficacité d'un procédé de ségrégation physique de sols ou sédiments contaminés par des métaux ou métalloïdes*, ISBN 978-2-550-67510-5, 27 p.

Dépôt légal – Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2013

ISBN 978-2-550-67510-5 (PDF)

© Gouvernement du Québec, 2013

TABLE DES MATIÈRES

1. CONTEXTE D'APPLICATION	1
2. LE TRAITEMENT PHYSIQUE.....	2
3. CARACTÉRISATION PRÉALABLE AU LIEU D'ORIGINE.....	5
4. ESSAIS DE TRAITABILITÉ EN LABORATOIRE.....	7
5. PROTOCOLE DE DÉMONSTRATION.....	8
5.1 Échantillonnage des sols à l'alimentation et des fractions ségréguées	9
5.2 Analyse.....	11
5.3 Bilan et calcul de l'efficacité de ségrégation.....	12
5.4 Indice de valorisation	14
RÉFÉRENCES	16

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE I : Essai TDG de traitabilité en laboratoire.....	17
ANNEXE II :Tableaux	19
ANNEXE III : Figures	23

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Classification granulochimique.....	19
Tableau 2 : Répartition granulochimique – Fractions F11 à F16.....	20
Tableau 3 : Répartition granulochimique – Fractions F9 et F10 et F13 à F16.....	21
Tableau 4 : Répartition granulochimique – Fractions F7à F10.....	22

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Diagramme triangulaire des domaines granulométriques	23
Figure 2 : Positionnement des stations d'échantillonnage – Empilement de 300 m ³	24
Figure 3 : Exemple d'échantillonnage des sols à l'alimentation – Démonstration n° 1 – Empilement < 60 m ³	25
Figure 4 : Exemple d'échantillonnage des fractions ségréguées par voie humide – Démonstration n° 1 – Empilement < 60 m ³	26
Figure 5 : Évaluation et gestion des fractions grossières.....	27

1. CONTEXTE D'APPLICATION

L'article 4 du Règlement sur l'enfouissement des sols contaminés (RESC) indique :

« Ne peuvent être mis dans un lieu d'enfouissement de sols contaminés :

1. les sols qui contiennent une ou plusieurs substances dont la concentration est égale ou supérieure aux valeurs limites fixées à l'annexe I sauf :
 - b) les sols dont on a enlevé à la suite d'un traitement autorisé en vertu de la loi au moins 90 % des substances qui étaient présentes initialement dans les sols et, dans le cas des métaux et métalloïdes enlevés, seulement si ceux-ci ont été stabilisés, fixés et solidifiés par un traitement autorisé;
 - c) lorsqu'un rapport détaillé démontre qu'une substance présente dans les sols ne peut être enlevée dans une proportion de 90 % à la suite d'un traitement optimal autorisé et qu'il n'y a pas de technique disponible à cet effet. »

Le terme « enlever » peut signifier : faire en sorte qu'une substance ne soit plus là où elle était. Il peut donc être question d'ôter une substance, de la retirer, de la faire disparaître, de l'effacer, de la déplacer, de la détacher, de l'extraire, de l'arracher, de la supprimer, de l'éliminer ou de la retrancher.

Par conséquent, un traitement par enlèvement doit donc faire en sorte qu'un métal et/ou métalloïde (M/M) présent dans un sol ne soit plus là (en partie ou en totalité) où il était avant traitement (dans le sol). Un procédé de traitement par ségrégation physique n'effectue que la séparation des fractions solides constituant un sol en fonction de la granulométrie ou de la densité des particules. En prenant l'exemple d'un M/M associé aux particules inférieures à 2 mm, après ségrégation physique, ce M/M se retrouve encore avec les particules inférieures à 2 mm.

La présente méthodologie a été élaborée aux fins du calcul de l'efficacité d'un procédé de traitement physique de sols (ou sédiments extraits d'un cours d'eau) contaminés par un M/M. Elle ne doit être utilisée que dans ce contexte. Un demandeur désirant que son procédé soit reconnu comme étant un traitement optimal doit suivre cette méthodologie.

La situation la plus favorable a été utilisée pour illustrer une telle démonstration, soit celle où les sols présentent, à l'alimentation du procédé, une contamination en M/M égale ou supérieure à une valeur limite de l'annexe I du RESC (ci-après appelée valeur RESC¹). Une démonstration est également possible avec des sols présentant un niveau de contamination moins élevé.

¹ Les valeurs limites de l'annexe I du RESC sont communément appelées « critères D ». Elles ne doivent pas être considérées du même type que les critères A, B et C de la *Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés*.

Dans une perspective de développement durable, un traitement optimal de ségrégation doit permettre de maximiser la réutilisation du sol (en tout² ou en partie) comme matériau utile, tout en minimisant la quantité à éliminer dans un lieu d'enfouissement. Un procédé exploité de manière optimale implique que toutes ses composantes sont utilisées à la limite de leur potentiel, lequel peut être établi au cours d'essais de démonstration.

2. LE TRAITEMENT PHYSIQUE

Dans la présente méthodologie, un traitement physique d'un sol contaminé par des M/M signifie l'utilisation d'une méthode, d'un procédé ou d'une technique pour soumettre les composantes solides ou liquides d'un sol à un processus physique seulement, sans en altérer la nature. Même si la température est un élément d'ordre physique, cette méthodologie n'est pas adaptée pour ce type de traitement³.

Pour éviter un transfert à l'atmosphère, la ségrégation d'un sol contenant des composés volatils (organiques ou inorganiques⁴) doit être précédée par un traitement de décontamination (enlèvement ou dégradation des contaminants) du sol. En présence de composés volatils, l'expérience acquise depuis plus de vingt ans montre que l'atteinte de la limite technologique ou, à tout le moins, des valeurs de l'annexe I du Règlement sur la protection et la réhabilitation des terrains (RPRT⁵) est possible dans la majorité des cas.

Un grand nombre de procédés de ségrégation physique sont commercialement disponibles, lesquels ont des équipements et modes de fonctionnement pouvant différer⁶. Ces procédés se regroupent en cinq catégories soit :

- le criblage ou tamisage : séparation en fonction de la grosseur des particules, réalisée avec par exemple un tamis Grizzly, un trommel, un tamis vibrant ou un tamis giratoire;
- la classification : séparation en fonction de la taille, de la densité et de la forme des particules, réalisée avec par exemple un classificateur mécanique ou hydraulique, ou un hydrocyclone;
- la concentration gravimétrique : séparation sur la base de la différence de densité des particules, réalisée avec par exemple un jig, une spirale ou une table à secousses;
- la séparation magnétique : séparation selon les propriétés magnétiques des particules;

² Par exemple, le traitement d'un sol non contaminé (ou sédiment, ou autre matériau granulaire) pour en séparer une composante (ex. fraction silteuse/argileuse utilisable comme matériau de confinement) limitant la réutilisation géotechnique des autres fractions.

³ Le chauffage d'un sol (p. ex., par contact direct ou indirect avec une flamme, par injection d'air chaud ou de vapeur d'eau, par conduction) pour désorber des contaminants (organiques ou inorganiques volatils) peut en altérer certaines composantes (p. ex., destruction de l'humus et évaporation des liquides interstitiels). Ce type de traitement n'est pas approprié et efficace pour la ségrégation des métaux lourds.

⁴ Par exemple, le mercure.

⁵ Les valeurs limites des annexes I et II du Règlement sur la protection et la réhabilitation des terrains correspondent respectivement aux critères B et C de la *Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés*.

⁶ Consulter les documents suivants : *Protocole d'évaluation de la traitabilité des sédiments, des sols et des boues à l'aide des technologies minéralurgiques* (Bergeron, M., et al, mars 2009), et *Traitabilité par des méthodes physiques, chimiques et biologiques de sols contaminés* (BRGM/RP-52065-FR, décembre 2002).

- la séparation électrostatique : séparation selon la différence de conductivité électrique des particules.

Les procédés de flottation (en cellule ou colonne) sont classés dans la catégorie des procédés physico-chimiques. Étant basés principalement sur les propriétés hydrophobes et hydrophiles des surfaces des particules, ils requièrent généralement l'ajout de réactifs de flottation. La présente méthodologie n'est pas adaptée à ce type de procédé.

De façon générale, la ségrégation des particules de granulométrie supérieure à 2 mm est très facile, facile pour les particules de 0,5 à 2 mm, difficile dans le cas des particules de 0,08 à 0,5 mm et très difficile (coûteuse mais non impossible) pour les particules inférieures à 0,08 mm (silt et argile). Dans le domaine du traitement des sols contaminés par des M/M, les procédés de ségrégation physique visent :

- à réduire la quantité de sols contaminés⁷ :
 - à enfouir dans un lieu d'enfouissement de sols contaminés (LESC⁸);
 - à traiter par un autre procédé (p. ex., enlèvement par extraction chimique d'un M/M présent dans les fractions fines et très fines);
- à augmenter la quantité de sols non contaminés (concentration égale ou inférieure à un critère A de la *Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés*) ou moins contaminés (concentration égale ou inférieure à une valeur limite des annexes I ou II du RPRT) pouvant être valorisés.

Pour ce faire, ces procédés effectuent la ségrégation des particules associées aux M/M (sols ou résidus) des autres particules en produisant :

- d'une part, un premier extrant (une ou plusieurs fractions granulométriques) correspondant à une quantité importante des sols alimentés (habituellement supérieure à 60 %⁹ de la quantité alimentée), lequel ne contient plus qu'une petite proportion des M/M présents au départ à un niveau de contamination permettant leur valorisation (p. ex., matériaux de construction);
- d'autre part, un second extrant (une ou plusieurs fractions granulométriques) correspondant à une quantité plus petite des sols alimentés (habituellement inférieure à 40 %¹⁰ de la quantité alimentée), lequel renferme la majorité des contaminants (p. ex., plus de 90 % de la charge). Cet extrant n'est constitué que par des fractions ségréguées contenant les plus fortes concentrations en M/M. Considérant les propriétés des M/M, si la fraction analysée (généralement inférieure à 2 mm) d'un sol alimenté présente par exemple un niveau supérieur en M/M à une valeur RESC, une ou des fractions qui la composent (après ségrégation) devraient présenter un niveau supérieur à une valeur RESC, alors que d'autres pourront indiquer un niveau supérieur ou inférieur à une valeur de l'annexe II du RPRT.

⁷ Et les coûts afférents.

⁸ Pour les fractions du sol traité ayant un niveau inférieur à une valeur RESC. Il y a interdiction d'enfouir des sols indiquant un niveau de contamination égal ou supérieur à une valeur RESC, sauf pour les situations prévues à l'article 4 du RESC.

⁹ Mesure en poids sur base sèche. Fournir la valeur du contenu en eau.

¹⁰ Mesure en poids sur base sèche. Fournir la valeur du contenu en eau.

Des procédés plus performants qu'un simple tamisage (p. ex., hydrocyclone, spirale, jig) offrent des coupures granulométriques fines (F9 à F12 du tableau 1) ou très fines (F13 à F16 du tableau 1). Lorsque couplée à des procédés physico-chimiques ou chimiques (p. ex., flottation ou extraction à l'acide), la chaîne de traitement résultante pourrait réduire davantage la quantité de l'extrait contenant les plus fortes concentrations (p. ex., meilleure ségrégation des particules fines et très fines donnant lieu à une quantité inférieure à 10 ou 20 % de la quantité alimentée) ou son niveau de contamination (lixiviation des M/M). Ces procédés utilisés couramment dans l'industrie minéralurgique sont offerts par des firmes spécialisées en traitement de sols ou sédiments.

La ségrégation des diverses fractions solides d'un sol peut être réalisée avec ou sans eau. Les procédés utilisant de l'eau sont reconnus comme étant les plus efficaces. Néanmoins, dans les cas où le sol est granulaire et principalement constitué de fractions grossières (F6 et plus), une ségrégation sans eau avec dépoussiérage à l'air pourrait être suffisante pour éviter qu'une contamination soit observée après analyse ou vérification visuelle. Les sols excavés contenant souvent une bonne proportion de particules fines et très fines (dont certaines poudreuses, humides ou collantes), l'utilisation d'un procédé de ségrégation sans eau produira des fractions ségrégées contenant encore des particules de granulométrie inférieure potentiellement plus contaminées (p. ex., particules plus petites entraînées avec des plus grosses ou particules agglomérées entre elles ou collées en surface des particules plus grosses). Dans cette situation, un procédé sans eau utilisé à des fins de décontamination de la surface d'une particule ou de ségrégation des particules selon leur granulométrie ne peut être considéré comme un traitement optimal.

Les équipements utilisant de l'eau (sous pression ou avec attrition) permettent de déloger (laver) efficacement les particules agglomérées entre elles ou collées à des particules plus grossières, et ce, afin d'optimiser la ségrégation et la récupération de toutes les particules correspondant à chacune des fractions granulométriques. Toutefois, pour que la ségrégation soit strictement physique, aucun produit minéral, chimique ou biologique (p. ex., produit de solubilisation, d'émulsification, de sorption, d'ajustement du pH ou du potentiel redox, de précipitation ou de complexation) ne doit être ajouté aux eaux de lavage ou aux sols à traiter. L'ajout d'un tel produit implique des processus physico-chimiques, chimiques ou biochimiques, que cette méthodologie ne considère pas.

Lors d'une ségrégation physique en voie humide (lavage à l'eau), selon le ratio solide/liquide et les caractéristiques physico-chimiques de l'eau, du sol et des contaminants, une certaine solubilisation des métaux est possible. Un test de solubilité dans l'eau peut être réalisé avant une démonstration pour prévoir les proportions de M/M susceptibles de se retrouver en solution.

Toute eau utilisée doit être caractérisée avant épuration (p. ex., avant l'ajout d'un flocculant ou la filtration). Pour éviter toute contamination croisée et ne pas affecter le bilan (la nature des substances et leur concentration), la recirculation des mêmes eaux n'est pas recommandée¹¹ d'une démonstration à une autre (voir la définition à la section « protocole de démonstration »).

¹¹ Des démonstrations pourraient être réalisées avec un procédé à grande échelle (p. ex., débit d'alimentation de 50 tm/h de sols) requérant de grandes quantités d'eau de lavage. La recirculation des eaux pourrait être possible sur la base d'une caractérisation exhaustive des eaux utilisées avant et après épuration établissant la qualité des eaux à recirculer et les critères définissant leur état de non réutilisation.

L'épuration des eaux de procédé fait partie intégrante d'un procédé de traitement de sols afin de permettre leur recirculation dans celui-ci. Appliqué à des M/M, l'épuration de ces eaux peut être réalisée par des procédés physiques ou chimiques avant la réintroduction des eaux épurées à l'étape de la ségrégation humide. Afin d'éviter l'ajout de produits chimiques aux eaux de procédé, des techniques de sédimentation (p. ex., décantation gravitaire, élutriation) ainsi que des techniques de centrifugation ou de filtration (standard, ultra ou nano) peuvent être utilisées pour séparer les particules de sol (en suspension ou colloïdales) des eaux. Les données recueillies à chaque essai (p. ex., eaux filtrées et particules récupérées) serviront à compléter le bilan (quantité et concentration) pour une démonstration. Si l'ajout de produits est requis et prévu dans la chaîne du procédé à implanter, leur sélection doit être effectuée de manière à éviter l'introduction de substances pouvant affecter les bilans¹². Le suivi analytique de ces produits (ou leurs composantes distinctives) pourrait être requis dans les eaux et certaines fractions issues du procédé de ségrégation.

La présence de certains résidus industriels mélangés aux sols à traiter (des scories, par exemple) peut limiter grandement l'efficacité d'une ségrégation s'ils sont friables (test de résistance à l'usure/abrasion, gel/dégel), ont des propriétés similaires aux particules du sol (dimension, classe granulaire d/D, densité) ou se retrouvent initialement (avant alimentation) répartis dans la majorité des fractions granulométriques. Selon la nature et la quantité de ces résidus, une évaluation spécifique (p. ex., détermination des propriétés des scories, réalisation d'essais en laboratoire) est alors requise dans le cadre de l'élaboration du protocole de démonstration. Il en est de même pour un sol contenant une proportion significative de particules argileuses¹³ et silteuses (p. ex., domaine granulométrique n° 8 de la figure 1) si les diverses fractions supérieures à 0,08 mm ne sont pas lavées avec de l'eau et ségrégées avec des équipements appropriés.

3. CARACTÉRISATION PRÉALABLE AU LIEU D'ORIGINE

Dans la présente méthodologie, le terme « lieu d'origine » désigne le terrain ou la parcelle de terrain d'où ne sont excavés que les sols contaminés (p. ex., ayant un niveau égal ou supérieur à une valeur RESC) qui serviront à la démonstration. Une connaissance inadéquate des extensions horizontale et verticale de la zone de sols fortement contaminés, de la nature et des caractéristiques des sols (et des matières mélangées aux sols), ainsi que de la nature et de la répartition des contaminants dans les sols à traiter donnera lieu à une excavation imprécise (mélange et diminution des concentrations), à un choix inapproprié des équipements d'un procédé, et se soldera par une efficacité insuffisante.

Il est fortement recommandé de réaliser une caractérisation exhaustive de phase III (p. ex., réalisation de tranchées au lieu de forages pour une meilleure visualisation, pour déterminer la continuité des unités recoupées et pour produire des coupes stratigraphiques, resserrement de la maille horizontale et de l'intervalle vertical de prélèvement pour mieux préciser où s'arrêtent les

¹² Idéalement, chaque démonstration devrait être réalisée avec une nouvelle eau. Si l'utilisation des eaux épurées d'une démonstration est proposée pour une autre démonstration, des résultats d'analyses chimiques d'échantillons représentatifs sont requis afin d'établir que leur contenu en substances inorganiques ou organiques n'est pas susceptible de causer un biais.

¹³ Définition : particules d'une dimension inférieure à 0,002 mm et constituées de minéraux à structure feuilletée (bentonite, montmorillonite, illite, kaolinite et vermiculite).

sols fortement contaminés par rapport aux sols moins contaminés, analyse de tous les échantillons prélevés dans la couche de sols à traiter et des couches contiguës pour tous les paramètres visés et identification des matières résiduelles et de leurs propriétés) dans la zone visée pour l'excavation des sols fortement contaminés à traiter lors d'une démonstration.

La caractérisation des sols avant excavation doit être rigoureusement conforme à toutes les prescriptions des éditions courantes du *Guide de caractérisation des terrains contaminés*, des cahiers 1, 5 et 8 du *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales* et du *Guide de procédures : Assurance et contrôle de la qualité pour les travaux analytiques contractuels en chimie*, ainsi que des documents intitulés *Caractérisation et gestion des remblais contenant des matières résiduelles* et *Évaluation et gestion de différentes fractions granulométriques*.

Le rapport de caractérisation des sols à excaver à des fins d'une démonstration, dûment signé par le professionnel de la firme qui a effectué les travaux, doit être très explicite sur la procédure utilisée pour l'échantillonnage et les analyses de même que sur la nature et les caractéristiques physiques, chimiques et géologiques des sols à traiter et des contaminants (et matières résiduelles, s'il y a lieu) présents dans ceux-ci. Tous les métaux (et autres composés inorganiques si requis) énumérés aux annexes I et II du RPRT doivent être considérés¹⁴.

Considérant que la contamination en M/M (nature des contaminants et leur concentration) des sols avant excavation (ou expédition) peut différer de celle des sols effectivement reçus à l'endroit où se tiendront les essais, les résultats obtenus selon la méthode décrite à la section « Échantillonnage des sols à l'alimentation et des fractions ségréguées » prévaudront pour le calcul de l'efficacité.

Pour vérifier la faisabilité d'un traitement physique avant d'effectuer des essais avec un procédé, il est fortement recommandé à l'étape de caractérisation avant excavation de réaliser des analyses granulochimiques sur un nombre suffisant d'échantillons représentatifs des sols à traiter, en considérant au minimum toutes les fractions inférieures à 5 mm du tableau 1. Avant analyse chimique, les sols doivent être tamisés par voie humide en laboratoire (aucun ajout de produit) afin de récupérer les fractions plus petites et les joindre aux fractions correspondantes. Aucun broyage n'est permis.

Quelles que soient les coupures granulométriques offertes par le procédé de ségrégation qui sera utilisé, les fractions granulométriques F6 à F12 inclusivement sont obligatoires pour toutes les analyses granulochimiques. Les fractions F13 à F16 pourraient être analysées ensemble si leur séparation n'est pas avantageuse pour améliorer l'efficacité de ségrégation ou le potentiel de valorisation.

¹⁴ La démonstration vise à établir le comportement des M/M présents dans les sols à traiter, et ce, même si leur concentration est inférieure aux valeurs limites de l'annexe I du RPRT. Les informations recueillies permettront de mesurer l'efficacité des équipements utilisés pour chaque M/M (pouvant être sous diverses formes selon l'activité génératrice) et d'y apporter les changements appropriés.

Cette caractérisation vise à établir un portrait prédémonstration précis des sols à traiter, et ce, en identifiant les matières résiduelles mélangées aux sols (si présentes), en les quantifiant et en précisant leurs caractéristiques, et en quantifiant tous les M/M de la partie I (et, s'il y a lieu, les autres substances inorganiques de la partie II et le soufre) de l'annexe I du RPRT. Elle vise également à déterminer dans quelles fractions granulométriques (F1 à F16) se retrouve chacun des contaminants (fractions dites « porteuses »), notamment les fractions présentant une concentration égale ou supérieure à une valeur RESC, et une concentration égale ou supérieure à une valeur de l'annexe II du RPRT mais inférieure à une valeur RESC (afin de tenir compte de la variabilité des résultats, si la valeur mesurée est près d'une valeur RESC).

Tous les résultats (quantité, concentration) de la caractérisation préalable doivent être exprimés sur une base sèche (fournir le contenu en humidité de tous les échantillons analysés) et annexés au protocole de démonstration à déposer.

4. ESSAIS DE TRAITABILITÉ EN LABORATOIRE

Afin d'apprécier la traitabilité d'un sol et d'évaluer la quantité de chacun des extrants d'un procédé contenant la majorité des M/M (une ou plusieurs fractions), des analyses granulochimiques (répartition chimique des contaminants en fonction de la taille des particules) sont requises. Plus le nombre de fractions considérées est élevé, meilleure est la segmentation, donc la possibilité d'isoler la fraction ou les fractions « porteuses »¹⁵ d'un M/M. Plus la contamination se retrouvera dans des fractions précises, meilleure sera la récupération de celle-ci.

De plus, le test *fingerprint*¹⁶ (développé par la firme Heidemij) ou le test *TDG*¹⁷ (développé par TNO et Heidemij) peuvent être utilisés pour une appréciation. Ces deux tests réalisés en laboratoire à petite échelle ont été développés par des entreprises hollandaises spécialisées dans le lavage des sols et sédiments. Ils comportent à la fois des caractérisations et des essais de comportement, et ils se basent sur des séparations granulométriques (p. ex., test *fingerprint* : coupures par hydrocyclones) ou des séparations densimétriques (p. ex., test *TDG* : tamisage en voie humide à 0,5 mm et 0,063 mm, suivi d'une séparation selon les densités < 2,0 g/ml, de 2,0 à 2,9 g/ml et > 2,9 g/ml), avec analyse chimique des différents produits.

Le protocole de démonstration déposé pour évaluation devra inclure toutes les données obtenues lors d'analyses granulochimiques ou d'essais réalisés en laboratoire.

¹⁵ Se dit d'une fraction granulométrique contenant un M/M aux niveaux suivants : égal ou supérieur à une valeur RESC, égal ou supérieur à une valeur de l'annexe II du RPRT mais inférieur à une valeur RESC, et dans une moindre mesure, égal ou supérieur à une valeur de l'annexe I du RPRT mais inférieur à une valeur de l'annexe II du RPRT, inférieur à une valeur de l'annexe I du RPRT.

¹⁶ Feenstra, L. et J. Joziase, 1998.

¹⁷ Pruijn, M. et coll., 1998.

5. PROTOCOLE DE DÉMONSTRATION

L'efficacité est établie lors d'essais effectués selon un protocole préautorisé par le Service des lieux contaminés et des matières dangereuses (SLCMD) du ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP). Toute démonstration réalisée sans approbation préalable du protocole sera considérée comme irrecevable. Toute modification au protocole doit également être préautorisée par le SLCMD.

Une démonstration implique la réalisation de trois essais identiques, c'est-à-dire avec le même lot de sol¹⁸ et la même contamination (nature, concentration maximale), les mêmes équipements, paramètres de fonctionnement, procédures d'échantillonnage et d'analyse. À titre d'exemple, en considérant un débit d'alimentation de 10 à 40 m³/h¹⁹, une période d'alimentation d'une heure pour atteindre un régime permanent et une période d'échantillonnage de 6 heures par essai en mode d'exploitation continue²⁰, une quantité de 70 à 280 m³ de sols contaminés est suffisante pour la réalisation d'un essai (une démonstration de trois essais : 210 à 840 m³). Ainsi, pour un procédé donné, chaque lot (p. ex., 210 m³) constitué d'un type de sols (selon des proportions de sable/silt/argile parmi les 12 domaines granulométriques de la figure 1) affectés par un contaminant ou un assemblage de contaminants (p. ex., Pb seulement ou Cu/Pb/Zn) pourrait faire l'objet d'une démonstration distincte.

Un professionnel ayant une expertise reconnue dans le domaine et indépendant de l'exploitant du procédé et du propriétaire des sols doit être mandaté pour effectuer l'échantillonnage de tous les intrants et extrants du procédé, interpréter les données, rédiger et signer le rapport de démonstration. Les échantillons doivent être conservés²¹ jusqu'à la révision et l'acceptation du rapport de démonstration par le SLCMD.

Les analyses doivent être réalisées par un laboratoire accrédité. Un programme d'assurance et de contrôle de la qualité (AQ/CQ) doit être intégré au protocole pour tous les aspects des volets échantillonnage et analyse. Le nombre d'échantillons à analyser en duplicata doit représenter au moins 10 % du total des échantillons prélevés par essai et par médium échantillonné. Un duplicata doit être constitué en même temps que son échantillon « jumeau ». Le rapport doit inclure tous les certificats d'analyses et documents authentifiés par un chimiste autorisé relativement au programme d'AQ/CQ du laboratoire. Pour le volet analyse, le programme doit être conforme aux prescriptions de l'édition courante du *Guide de procédures : Assurance et contrôle de la qualité pour les travaux analytiques contractuels en chimie*.

Le protocole doit préciser l'objectif à atteindre et inclure, sans s'y restreindre, des plans à l'échelle de l'aménagement des équipements, les spécifications de leur fonctionnement pour la réalisation des essais (valeurs réelles et non nominales), des schémas de cheminement ou d'écoulement de tous les intrants et extrants, ainsi que le positionnement de tous les points de

¹⁸ C'est-à-dire un sol provenant d'un terrain identifié ou d'une partie de celui-ci, lequel est affecté par un contaminant ou un assemblage.

¹⁹ En considérant 2 tonnes métriques par mètre cube, donc de 20 à 80 tonnes métriques par heure. Le débit diminue en fonction du contenu en particules argileuses.

²⁰ Selon les mêmes paramètres de fonctionnement prévus pour la période d'exploitation postdémonstration.

²¹ Contenant approprié, obscurité, température inférieure à 4 °C.

prélèvement des échantillons et de mesure des paramètres du procédé. Tous les documents d'ingénierie doivent être authentifiés (réels et conformes à ce qui sera installé et exploité) par un membre en règle de l'Ordre des ingénieurs du Québec.

Pour chacune des matrices échantillonnées, il faut détailler (en texte et tableaux) les procédures :

- d'échantillonnage (type et codification des sous-échantillons, échantillons ponctuels ou composés, duplicata, blancs, matériel de prélèvement et contenant utilisé, fréquence des prélèvements et quantité, méthode de nettoyage, etc.);
- de préparation (p. ex., homogénéisation, division, mode de constitution des composés et duplicata, codification des échantillons constitués et des échantillons analysés);
- de conservation des échantillons.

Selon les résultats obtenus lors de la caractérisation effectuée avant excavation des sols (analyses granulochimiques fortement recommandées à l'étape de la caractérisation préalable au lieu d'origine) et s'il y a lieu à l'étape de traitabilité en laboratoire, toutes les substances excédant les valeurs des critères A de l'édition courante de la *Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés* (Politique) seront suivies lors des essais.

Tout comme à la section « Caractérisation préalable au lieu d'origine », quelles que soient les coupures granulométriques du procédé de ségrégation proposé, toutes les analyses granulochimiques à effectuer sur les échantillons constitués des sols à l'alimentation et des fractions ségréguées (voir la section suivante) doivent être réalisées selon les fractions F6 à F12. Les fractions F13 à F16 pourraient être analysées ensemble si leur séparation n'est pas avantageuse pour améliorer l'efficacité de ségrégation ou le potentiel de valorisation. Avant analyse chimique, les échantillons doivent être tamisés par voie humide afin de séparer les fractions plus fines et de les joindre aux fractions correspondantes. Aucun broyage n'est permis.

Les échantillons des fractions supérieures à 5 mm doivent être tamisés pour obtenir des fractions lavées de 5 à 20 mm, de 20 à 50 mm, de 50 à 80 mm et supérieures à 80 mm, lesquelles seront évaluées selon la procédure décrite dans l'édition courante du document intitulé *Évaluation et gestion de différentes fractions granulométriques* (voir la figure 5). Si d'autres classes granulométriques sont requises pour les fractions supérieures à 5 mm, elles devront être justifiées adéquatement et préalablement autorisées à l'étape du « protocole de démonstration ».

5.1 Échantillonnage des sols à l'alimentation et des fractions ségréguées

Pour chaque essai, au moins trois échantillons de sols qui seront introduits dans le procédé et trois échantillons de chacune des fractions ségréguées par le procédé doivent être prélevés pour analyse selon la procédure suivante :

- après une étape d'homogénéisation efficace (le protocole doit préciser comment et avec quoi l'homogénéisation sera réalisée), disposer les sols de manière à former un empilement à surface plane ayant au maximum un mètre d'épaisseur (hauteur). Positionner 10 stations d'échantillonnage pour un empilement dont la quantité est inférieure à 60 m³, ou 20 pour une quantité de 60 à 300 m³. Prélever 10 ou 20 sous-échantillons de l'ordre de 10 kg chacun constitués sur toute l'épaisseur des sols (voir la figure 2);

- placer les 100 kg (10 fois 10 kg) ou 200 kg (20 fois 10 kg) ainsi obtenus sur une surface solide et propre, homogénéiser soigneusement, égaliser et diviser en quatre pointes;
- récupérer deux pointes opposées, homogénéiser, diviser et répéter jusqu'à l'obtention de la quantité désirée²², et remplir simultanément deux contenants : un échantillon à analyser et un duplicata (voir les figures 3 et 4);
- répéter cette procédure avec de nouvelles stations pour constituer les autres échantillons de sols à l'alimentation et de chacune des fractions ségréguées.

Un programme de contrôle de la qualité de l'échantillonnage doit être établi dans le protocole de démonstration. Celui-ci doit être conforme aux prescriptions de l'édition courante du cahier 1 du *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales*.

En présence de matières résiduelles mélangées aux sols, l'identification des matières, la quantification et la détermination de leurs propriétés seront validées à chaque essai par comparaison des données obtenues à l'étape « Caractérisation préalable au lieu d'origine » avec celles des échantillons produits par les analyses granulochimiques (fractions égales ou inférieures à 5 mm) ou constitués pour les particules supérieures à 5 mm.

Dans le cas d'un procédé de ségrégation utilisant de l'eau, des échantillons d'eau²³ à la sortie du procédé de ségrégation des sols (avant leur épuration et avant l'ajout de tout produit) doivent être constitués pour analyse à chaque essai (prélèvement de sous-échantillons à une fréquence et quantité régulières, par exemple un échantillon d'un litre toutes les 30 minutes pendant 6 heures et constitution d'échantillons composés pour les périodes 0 à 2 h, 2 h à 4 h et 4 h à 6 h).

Considérant qu'une partie des particules fines et très fines sera entraînée dans les eaux du procédé, une étape de séparation eau-particule sera requise. Afin d'éviter l'ajout de produits chimiques pouvant affecter leur qualité et ajouter des substances dans les sols, une séparation physique peut être effectuée (p. ex., par gravité, par filtration ou par centrifugation) pour récupérer les particules en suspension ou colloïdales. Le protocole doit préciser comment celle-ci sera effectuée (p. ex., décantation gravitaire, centrifugation ou filtration²⁴). Afin de compléter le bilan, la quantité de particules récupérée à chaque essai est mesurée (poids sur base sèche, fournir le contenu en eau) et un échantillon représentatif des particules est constitué pour analyse.

Des échantillons des eaux (utilisées et épurées) doivent également être constitués pour analyse à chaque essai (prélèvement de sous-échantillons à une fréquence régulière et selon une quantité prédéterminée à l'entrée et à la sortie d'un équipement). Cet échantillonnage est requis pour déterminer la qualité des eaux utilisées pour la ségrégation (p. ex., contenu en matières en suspension), l'efficacité d'un procédé d'épuration des eaux, ainsi que la qualité des eaux rejetées ou à réintroduire (recirculation) dans le procédé de ségrégation (bilan) au cours d'une démonstration. Advenant l'ajout de produits chimiques, d'autres paramètres analytiques que les M/M pourront être requis.

²² Prévoir une quantité permettant la reprise d'une analyse ou d'autres examens si requis.

²³ Incluant des duplicata.

²⁴ Une filtration à 0,045 mm n'est pas suffisante pour retenir les particules des fractions F15 et F16. Préciser le type de matériau constituant le filtre.

5.2 Analyse

Les méthodes utilisées pour l'analyse des échantillons de sols (ou autres solides ou semi-solides²⁵) doivent permettre de mesurer des concentrations inférieures aux critères A de la Politique. Les méthodes utilisées pour l'analyse des échantillons des eaux (avant alimentation dans le procédé de ségrégation, avant et après épuration de ces eaux) doivent permettre de mesurer des concentrations inférieures aux limites de quantification de l'annexe 2 de la Politique.

Sur la base des données obtenues avec les échantillons constitués à l'étape précédente pour les sols à l'alimentation, tous les M/M présentant des concentrations égales ou supérieures dans les sols à un critère A de la Politique, ou à une limite de quantification dans les eaux alimentées (recirculées) au procédé, doivent être considérés pour l'analyse de tous les extraits du procédé.

Les analyses sont effectuées sur les échantillons de sols après homogénéisation au laboratoire²⁶ et sans aucun broyage. L'analyse d'un échantillon dont la granulométrie se situe entre 5 et 50 mm est possible, mais nécessite des ajustements²⁷ à une méthode standard. Le protocole de démonstration doit détailler les ajustements préconisés par le laboratoire accrédité, lesquels doivent être préautorisés²⁸.

Tous les certificats d'analyse de tous les M/M analysés (p. ex., sols introduits, fractions ségréguées, autres solides ou semi-solides, eaux avant/après filtration et particules retenues) doivent être annexés au rapport de démonstration, et ce, même si les concentrations sont inférieures aux critères A ou aux limites de quantification de la Politique, ou à une quelconque norme réglementaire (municipale, provinciale ou fédérale). Tous les échantillons prélevés (analysés ou non) doivent être identifiés en fonction de leur point/moment de prélèvement, et être conservés dans des conditions appropriées jusqu'à la révision et l'acceptation du rapport de démonstration par le SLCMD.

Pour les sols à l'alimentation du procédé

Sur les trois échantillons constitués pour analyse pour un essai (voir la figure 3; par exemple les échantillons SC-1.1.1, SC-1.1.2 et SC-1.1.3), effectuer un tamisage humide en laboratoire et réaliser l'analyse granulochimique sur la partie inférieure à 5 mm selon les fractions F6 à F12. Les fractions F13 à F16 pourraient être analysées ensemble si leur séparation n'est pas avantageuse pour améliorer l'efficacité de ségrégation ou le potentiel de valorisation. Pour les fractions lavées²⁹ de 5 à 20 mm et de 20 à 50 mm, effectuer les analyses chimiques selon des méthodes standard ou modifiées. Pour les échantillons lavés constitués de particules de 50 à 80 mm ou supérieures à 80 mm, effectuer une vérification visuelle pour déceler la présence d'une

²⁵ Par exemple, des matières valorisables ou particules déshydratées par centrifugation ou filtre-pressé.

²⁶ Aviser le responsable du laboratoire de la nécessité d'homogénéiser les échantillons de sols reçus avant le prélèvement des aliquots pour analyse.

²⁷ Par exemple, une masse de 200 à 300 grammes de sols lors de l'extraction, avec une quantité appropriée d'acides.

²⁸ Le SLCMD obtiendra un avis du Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ).

²⁹ Si les particules supérieures à 5 mm ne sont pas lavées, les particules fines et très fines mélangées ou recouvrant la surface des particules moyennes et grossières pourront entraîner après analyse un niveau de contamination AB et même BC.

contamination en surface de ces particules et, s'il y a lieu, procéder à l'identification et au dénombrement des matières résiduelles. Aucun broyage n'est permis.

Pour les fractions ségréguées

La figure 4 présente un exemple d'échantillonnage des fractions produites par un procédé de ségrégation par voie humide. L'objectif est de confirmer que les M/M se retrouvent bel et bien dans les fractions produites par rapport aux fractions « porteuses » identifiées dans les sols à l'alimentation. Sur les échantillons constitués pour chacune des fractions produites, réaliser une analyse granulochimique sur la partie inférieure à 5 mm selon les fractions F6 à F12 et les fractions F13 à F16 (ensemble si leur séparation n'est pas avantageuse pour améliorer l'efficacité de ségrégation ou le potentiel de valorisation). Pour les fractions lavées de 5 à 20 mm et 20 à 50 mm, effectuer les analyses chimiques selon des méthodes standard ou modifiées. Pour les échantillons lavés constitués de particules de 50 à 80 mm ou supérieures à 80 mm, effectuer une vérification visuelle pour déceler la présence d'une contamination en surface de ces particules et, s'il y a lieu, procéder à l'identification et au dénombrement des matières résiduelles. Aucun broyage n'est permis.

Pour un procédé de ségrégation sans eau, sur les échantillons constitués pour chacune des fractions produites, réaliser en laboratoire la séparation à sec selon les fractions identifiées au tableau 1 et faire analyser toutes les fractions. Comme il a été mentionné, l'utilisation d'un procédé de ségrégation sans eau pourrait produire des fractions présentant un niveau de contamination ne correspondant pas aux résultats obtenus pour les sols à l'alimentation.

5.3 Bilan et calcul de l'efficacité de ségrégation

Le bilan est effectué à partir des données (quantité et concentration) obtenues à partir des sols et eaux introduits à l'alimentation du procédé (in) et de tous ses extrants (out), qu'ils soient solides, semi-solides ou liquides.

Chaque essai vise à démontrer que le procédé est robuste, que son rendement est stable et reproductible tout au long d'une démonstration, et qu'il effectue une ségrégation optimale des fractions « porteuses »³⁰ telle que déterminée par les analyses granulochimiques. En prenant par exemple un sol contaminé à un niveau supérieur à une valeur RESC, les objectifs sont les suivants :

- optimiser la ségrégation : recueillir plus de 90 % de la charge (la quantité³¹ multipliée par la concentration) d'un M/M présent dans le sol à l'alimentation, en séparant les diverses fractions et en ne réunissant que les fractions dont le niveau de contamination est égal ou supérieur à une valeur RESC, et ce, dans la plus petite quantité de particules constituées uniquement de ces fractions. Si le 90 % n'est pas atteint, compléter avec une ou des fractions « porteuses » de ce M/M à un niveau égal ou supérieur à une valeur de l'annexe II du RPRT

³⁰ Prioritairement, toutes les fractions présentant un niveau de contamination égal ou supérieur à une valeur RESC et, distinctement de ces dernières, des fractions contaminées à un niveau égal ou supérieur à une valeur de l'annexe II du RPRT mais inférieur à une valeur RESC.

³¹ Mesure en poids sur base sèche. Fournir la valeur du contenu en eau.

mais inférieur à une valeur RESC. Ces dernières doivent être, autant que possible, isolées des fractions ayant un niveau égal ou supérieur à une valeur RESC, ainsi que des autres fractions moins ou non contaminées;

- maximiser la valorisation : produire une quantité³² la plus importante possible de particules dont la concentration en M/M est inférieure à une valeur des annexes I ou II du RPRT.

Les procédés de ségrégation physique n'offrant pas tous le même rendement et chaque cas étant particulier, le type d'équipements requis pour atteindre les objectifs mentionnés ci-dessus est déterminé par la nature du sol (domaines granulométriques présentés à la figure 1), la répartition des contaminants (granulochimie) et, s'il y a lieu, la nature des matières mélangées au sol. Une fois les fractions « porteuses » identifiées à l'alimentation, le procédé doit être constitué des équipements requis pour les ségréger. La sélection des meilleurs équipements et l'ajustement de leur mode de fonctionnement selon les paramètres les plus favorables (débit, inclinaison, type de mouvements) sont donc essentiels. Toutes ces données peuvent être obtenues lors d'essais. Si en cours d'une démonstration ou en prévision d'une autre démonstration, il y a lieu d'ajouter ou de remplacer des équipements, ou d'en modifier les paramètres d'exploitation, les ajustements au protocole devront être préautorisés.

La ségrégation de certains sols ayant un contenu élevé en particules silteuses ou argileuses peut être plus difficile et onéreuse (utilisation d'équipements minéralurgiques, besoin d'une cellule d'attrition ou injection à haute pression d'une quantité importante d'eau de procédé, équipements performants pour leur épuration). En n'utilisant qu'un procédé primaire (p. ex., le tamisage à sec avec une coupure à 5 mm), il est à prévoir que la quantité de sols renfermant les fractions fortement contaminées sera importante (plus de 60 % de la quantité initiale) et que les fractions moyennes et grossières seront encore accompagnées de particules plus fines et contaminées. Une telle ségrégation n'est pas optimale et l'ajout d'équipements appropriés est requis pour une ségrégation et une réduction plus importantes.

Dans les cas d'un remblai constitué d'un mélange de sols et de résidus industriels (p. ex., scories, sable de fonderie, rognures métalliques), le potentiel de ségrégation des fractions « porteuses » des M/M est tributaire des propriétés des résidus par rapport à celles des particules du sol.

Le calcul de l'efficacité de ségrégation s'effectue de la manière suivante :

- déterminer dans les sols à l'alimentation, les fractions « porteuses » présentant un niveau de contamination (concentration) égal ou supérieur à une valeur RESC, égal ou supérieur à une valeur de l'annexe II du RPRT mais inférieur à une valeur RESC, égal ou supérieur à une valeur de l'annexe I du RPRT mais inférieur à une valeur de l'annexe II du RPRT, et inférieur à une valeur de l'annexe I du RPRT, ainsi que leur quantité respective;
- après chaque essai, déterminer si le procédé a ségrégé les diverses fractions « porteuses » selon la répartition établie à l'alimentation.

³² Mesure en poids sur base sèche. Fournir la valeur du contenu en eau.

À titre d'exemple, l'équation serait la suivante :

- la quantité (Q) de chacune des fractions (F) : $Q_{F10}, Q_{F11}, Q_{F12}, \text{ etc.};$
- la quantité totale des fractions : $Q_{TF} = Q_{F10} + Q_{F11} + Q_{F12}, \text{ etc.};$
- la charge, soit la quantité (Q) par la concentration (C), d'un métal (Me) excédant une valeur RESC dans une des fractions (p. ex., la F10) : $CH_{F10-Me} = Q_{F10} \times C_{Me};$
- la charge totale d'un métal : $CH_{TMe} = CH_{F10-Me} + CH_{F11-Me} + CH_{F12-Me}, \text{ etc.};$
- la charge d'un métal à 90 % de la charge totale : $CH_{Me90\%} = CH_{TMe} \times 90 \%$.

Selon le sous-paragraphe b du paragraphe 1 de l'article 4 du RESC, l'enfouissement des fractions ségréguées présentant un niveau égal ou supérieur à une valeur RESC n'est possible que lorsqu'un rapport détaillé démontre qu'un M/M (la substance) ne peut être enlevé dans une proportion de 90 % à la suite d'un traitement optimal (p. ex., par un procédé d'extraction chimique pour y enlever le M/M et produire un concentré) et qu'il n'y a pas de technique disponible à cet effet.

5.4 Indice de valorisation

Un indice de valorisation (IV) est proposé pour « apprécier » la quantité de sols pouvant être déviée de l'enfouissement et ayant un potentiel de valorisation. Chaque sol ayant une signature distincte sur le plan des contaminants et de la répartition de ceux-ci, il n'est pas possible de fixer un IV minimal à atteindre. Par contre, pour un profil granulochimique indiquant qu'un métal se retrouve en forte concentration (p. ex., niveau supérieur à une valeur RESC) que dans quelques fractions (p. ex., 2 ou 3 fractions), la ségrégation de celles-ci est requise, et ce, de manière à minimiser la quantité de sols devant être enfouis si aucune technique pour poursuivre le traitement n'est disponible.

Trois exemples de calcul de l'indice de valorisation sont présentés aux tableaux 2, 3 et 4 :

- le tableau 2 présente un cas, pouvant être rencontré dans les basses-terres du Saint-Laurent, d'un sol contenant une forte proportion de particules fines et très fines (61 %), dont 12 % de particules argileuses (inférieures à 0,002 mm). La contamination à un niveau supérieur à une valeur RESC est associée aux particules F11 à F16. La ségrégation et le regroupement des fractions F11 à F16 permettent d'isoler 94,6 % de la charge totale en M/M. Les fractions grossières F3 à F6 correspondant à 25 % de la quantité totale sont valorisables. Les fractions F7 à F10 (25 % de la quantité totale), débarrassées des particules silteuses et argileuses (et des M/M associés), seraient également valorisables, notamment comme matériau de recouvrement dans un lieu d'enfouissement de matières résiduelles;
- le tableau 3 présente un cas où la contamination se retrouve dans deux tranches granulométriques soit F9 et F10 et F13 à F16. Deux scénarios de regroupement sont possibles soit F9 à F16, ou bien F9 et F10 et F13 à F16. Le premier scénario permet de valoriser 39 % de la quantité totale. Le second scénario permet d'isoler les fractions F11 et F12 et ainsi d'augmenter³³ de 6 % la quantité pouvant être valorisée;

³³ Ou bien de réduire de 6 % la quantité de sols qu'il faut traiter par un autre procédé ou enfouir selon les dispositions de l'article 4.1.c du RESC.

- le tableau 4 présente un autre cas particulier (pas de particules supérieures à 5 mm et inférieures à 0,08 mm) pouvant être associé à un remblai de sables usés de fonderie. Dans ce cas, la contamination en M/M à un niveau supérieur à une valeur RESC est principalement associée aux particules de 0,25 à 0,50 mm. Vu la faible proportion de particules grossières, la ségrégation des fractions F7 à F10 ne permet de valoriser que 15 % de la quantité totale. Toutefois, les fractions F6, F11 et F12 pourraient être réutilisables sur le terrain d'origine (en fonction de l'usage du terrain, aucun transport hors lieu), ou gérées dans un autre lieu autorisé (p. ex., pour traitement biologique des composés organiques à moindre coût que si ces fractions n'étaient pas ségréguées des fractions F7 à F10).

RÉFÉRENCES

CEAEQ. *Lignes directrices concernant les travaux analytiques en chimie*, DR-12-SCA-01, Programme d'accréditation des laboratoires d'analyse, 2009 [www.ceaeq.gouv.qc.ca].

Feenstra, L. et J. Joziase. *Characterization of Contaminated and Dredging Sludge*, TNO report TNO-MEP-R98/192, project 26722, TNO Apeldoorn, Pays-Bas, 1998.

MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DES PARCS DU QUÉBEC, *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales* :

http://www.ceaeq.gouv.qc.ca/documents/publications/guides_ech.htm

- *Cahier 1 – Généralités*, juillet 2008, 58 p., 3 annexes,
- *Cahier 2 – Échantillonnage des rejets liquides*, Édition courante,
- *Cahier 5 – Échantillonnage des sols*, août 2008, révisé 5 février 2010,
- *Cahier 8 – Échantillonnage des matières dangereuses*, septembre 2008, 87 p., 1 annexe.

Guide de procédures : Assurance et contrôle de la qualité pour les travaux analytiques contractuels en chimie, Les Publications du Québec, 1995, partie II, pages 23 et 24.

Guide de bonnes pratiques pour la gestion des matériaux de démantèlement, Les Publications du Québec, 2003.

Ministère de l'Environnement. *Guide de caractérisation des terrains*, Les Publications du Québec, 2003.

Ouellette, Hugues. [*Lignes directrices sur l'évaluation des teneurs de fond naturelles dans les sols*](#), 2007.

Ouellette, Hugues. *Évaluation et gestion de différentes fractions granulométriques*, document de travail, Service des lieux contaminés et des matières dangereuses, 2011.

Ouellette, Hugues. *Caractérisation et gestion des remblais contenant des matières résiduelles*, document de travail, Service des lieux contaminés, 2005.

Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés, Les Publications du Québec, juin 1998.

Pruijn, M. et E. Groenendijk. *Soil Washing from Characterization to Tailor-Made Flow Diagrams, Results of Full-Scale Installations*, Kluwer Academic Publishers, Pays-Bas, 1993.

Pruijn, M. et coll. *From Characterization of Sediment to Full Scale Treatment by Wet Particle Separation*, Elsevier Science Ltd, Grande-Bretagne, 1998.

Règlement sur l'enfouissement des sols contaminés, D. 843-2001, juin 2001, modifié par le D. 1553-2001, décembre 2001.

Règlement sur la protection et la réhabilitation des terrains, D. 216-2003.

ANNEXES

ANNEXE I : Essai TDG de traitabilité en laboratoire

Karakterisering van verontreinigde grond en baggerspecie Nadere uitwerking en evaluatie van de T-2000 Deeltjesscheiding Geschiktheidsproef (TDG-proef)

TNO-rapport

TNO-MEP – R 98/192

TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, foto-kopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst. Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belang-hebbenden is toegestaan.

© 1998 TNO

Laan van Westenenk 501 Postbus 342 7300 AH Apeldoorn

Telefoon 055 - 549 34 93

Fax 055 - 541 98 37

Datum

juni 1998

Auteur(s)

L. Feenstra

J. Joziassé

Projectnummer

Aangezien het om een voorlopige rapportage van resultaten gaat, verzoeken wij u de resultaten alleen voor interne aangelegenheden te gebruiken en derhalve niet naar buiten kenbaar te maken, dat deze uit onderzoek door TNO zijn verkregen. In dit verband attenderen wij nog op artikel 8 (aansprakelijkheid) en artikel 4 (rechten op resultaten) van de Algemene Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO.

26722

NOVEM projectnummer

354930/0110

Trefwoorden

- karakterisering
- verontreinigde grond
- verontreinigde baggerspecie
- natte deeltjesscheidingstechnieken

Bestemd voor

NOVEM

Sector Milieu

T.a.v. Ir. S.S.J. Houtman

Postbus 8242

3503 RE Utrecht

Het kwaliteitssysteem van TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie voldoet aan ISO 9001. TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie is een Nederlandse Organisatie voor toegepast natuurwetenschappelijk onderzoek. TNO Op opdrachten aan TNO zijn van toepassing de nationaal en internationaal erkend kennis- en contractresearch instituut voor bedrijfsleven en overheid op het gebied van duurzame ontwikkeling en milieu- en energiegerichte procesinnovatie. Algemene Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO zoals gedeponeerd bij de Arrondissementsrechtbank en de Kamer van Koophandel te 's-Gravenhage

Summary

Within the 'T-2000' research programme (chapter wet particle separation) TNO-MEP, together with Arcadis Heidemij Realisatie, has developed a characterisation method making it possible to assess the feasibility of using wet particle separation as a treatment technique for a specific lot of contaminated soil or dredged sedi-ment. The method is named 'TDG-test'.

The test method has been organised such that the results are as unambiguous as possible, with minimum costs in time and money. It comprises a combination of wet sieving and density separation. After the wet sieving, an intermediate fraction is obtained (63-500 µm), which is subsequently separated into fractions with different densities by means of liquids with a density of 2.9 g/ml and 2.0 g/ml. These fractions are analysed for relevant parameters.

A procedure has been set up for the execution of the TDG test and criteria have been formulated for the interpretation of the test results. These results supply in-formation on the amount of dry matter ending up in the sand fraction and on the quality of this fraction. From this information it is possible to judge the suitability of wet particle separation for treatment of the material (soil, dredged sediment).

The first experiences with the TDG test applied on nine samples from commercial scale separation plants are positive. Comparing the test results with those of the process carried out in practice it turned out that the TDG test gives a good prediction of the quantity and the quality of the sand fraction.

ANNEXE II :Tableaux

Tableau 1 : Classification granulochimique

Catégorie	Fraction	Dimension des particules (mm)	Type de particules	Tamis
Très grossières	F ₁ ¹	> 300	Blocs	300 mm
	F ₂ ¹	80 à 300	Cailloux, pierres	80 mm
Grossières	F ₃ ¹	50 à 80	Gravier grossier	50 mm
	F ₄ ^{1,4}	20 à 50	Gravier grossier	20 mm
	F ₅ ^{1,4}	5 à 20	Gravier fin	5 mm
	F ₆ ²	2 à 5	Sable grossier	2 mm
Moyennes	F ₇ ²	1 à 2	Sable moyen	1 mm
	F ₈ ²	0,5 à 1	Sable moyen	500 µm
Fines	F ₉ ^{4,2}	0,315 à 0,5	Sable fin	315 µm
	F ₁₀ ^{2,4}	0,25 à 0,315	Sable fin	250 µm
	F ₁₁ ^{4,2}	0,125 à 0,25	Sable fin	125 µm
	F ₁₂ ⁴	0,080 à 0,125	Sable fin	80 µm
Très fines	F ₁₃ ^{3,4}	0,063 à 0,080	Silt (limon)	63 µm
	F ₁₄ ³	0,038 à 0,063	Silt (limon)	38 µm
	F ₁₅ ^{2,3}	0,002 à 0,038	Silt (limon)	Classification hydrodynamique
	F ₁₆ ²	< 0,002	Argile	Classification hydrodynamique

Références :

1. Classification USCS (Unified Soil Classification System).
2. Classification SCCS (Système Canadien de Classification des Sols).
3. ASTM (American Society for Testing and Materials).
4. MTQ (ministère des Transports du Québec).

Note :

1 micromètre = 1 µm = 0,001 mm (millimètre).

Tableau 2 :
Répartition granulochimique – Fractions F11 à F16
 (Valeur RESC : D = 5 000 mg/kg)

Catégorie	Fraction	Dimension (mm)	Quantité (kg)	Quantité (%)	Quantité (%)	Concentration (mg/kg)	Charge (kg)
Très grossières	F ₁	> 300	0				
	F ₂	80 à 300	0				
Grossières	F ₃	50 à 80	25 000	5	25	0	0
	F ₄	20 à 50	25 000	5		0	0
	F ₅	5 à 20	25 000	5		0	0
	F ₆	2 à 5	50 000	10		257 (AB)	12,85
Moyennes	F ₇	1,0 à 2,0	60 000	12	14	607 (BC)	36,42
	F ₈	0,5 à 1,0	10 000	2		607 (BC)	6,07
Fines	F ₉	0,315 à 0,5	25 000	5	11	881 (BC)	22,03
	F ₁₀	0,25 à 0,315	30 000	6		881 (BC)	26,43
	F ₁₁	0,125 à 0,25	25 000	5	15	5 091 (> D)	127,28
	F ₁₂	0,08 à 0,125	50 000	10		5 091 (> D)	254,55
Très fines	F ₁₃	0,063 à 0,08	30 000	6	35	5 830 (> D)	174,90
	F ₁₄	0,038 à 0,063	40 000	8		8 672 (> D)	346,88
	F ₁₅	0,002 à 0,038	45 000	9		8 672 (> D)	390,24
	F ₁₆	< 0,002	60 000	12		8 672 (> D)	520,32
	Total		500 000	100	100		1917,97

Notes :

- Charge totale F6 à F16 : 1 917,97 kg;
- 90 % de la charge totale : 1 726,2 kg;
- Charge F11 à F16 regroupée (ombragée jaune) : 1 814,17 kg (correspond à 94,6 % de la charge totale);
- Quantité F11 à F16 regroupée (ombragée jaune) : 250 000 kg (correspond à 50 % de la quantité totale);
- Quantité à traiter ou à enfouir selon les dispositions de l'article 4.1.c du RESC = 250 000 kg (50 %);
- Indice de valorisation = [1- (quantité regroupée/quantité totale)] x 100 = 50 %.

Tableau 3 :
Répartition granulochimique – Fractions F9 et F10 et F13 à F16

(Valeur RESC : D = 5 000 mg/kg)

Catégorie	Fraction	Dimension (mm)	Quantité (kg)	Quantité (%)	Quantité (%)	Concentration (mg/kg)	Charge (kg)
Très grossières	F ₁	> 300	0				
	F ₂	80 à 300	0				
Grossières	F ₃	50 à 80	25 000	5	25	0	0
	F ₄	20 à 50	25 000	5		0	0
	F ₅	5 à 20	25 000	5		0	0
	F ₆	2 à 5	50 000	10		257 (AB)	12,85
Moyennes	F ₇	1,0 à 2,0	60 000	12	14	607 (BC)	36,42
	F ₈	0,5 à 1,0	10 000	2		607 (BC)	6,07
Fines	F ₉	0,315 à 0,5	25 000	5	20	5 091 (> D)	127,28
	F ₁₀	0,25 à 0,315	75 000	15		5 091 (> D)	381,83
	F ₁₁	0,125 à 0,25	5 000	1	6	881 (BC)	4,41
	F ₁₂	0,08 à 0,125	25 000	5		881 (BC)	22,02
Très fines	F ₁₃	0,063 à 0,08	30 000	6	35	5 830 (> D)	174,9
	F ₁₄	0,038 à 0,063	40 000	8		8 672 (> D)	346,88
	F ₁₅	0,002 à 0,038	45 000	9		8 672 (> D)	390,24
	F ₁₆	< 0,002	60 000	12		8 672 (> D)	520,32
		Total	500 000	100	100		2 023,22

Notes :

- Charge totale : 2 023,22 kg
- 90 % de la charge totale : 1 821,5 kg.

	Scénario n° 1 F9 à F16	Scénario n° 2 F9 et F10 et F13 à F16 (ombragée jaune)
Charge regroupée	1 967,9 kg (97,3 %)	1 941,5 kg (96 %)
Quantité regroupée	305 000 kg	275 000 kg
Indice de valorisation	39 %	45 %
Quantité à traiter ou à enfouir selon les dispositions de l'article 4.1.c du RESC	305 000 kg (61 %)	275 000 kg (55 %)

Tableau 4 :
Répartition granulochimique – Fractions F7 à F10
 (Valeur RESC : D = 2 500 mg/kg)

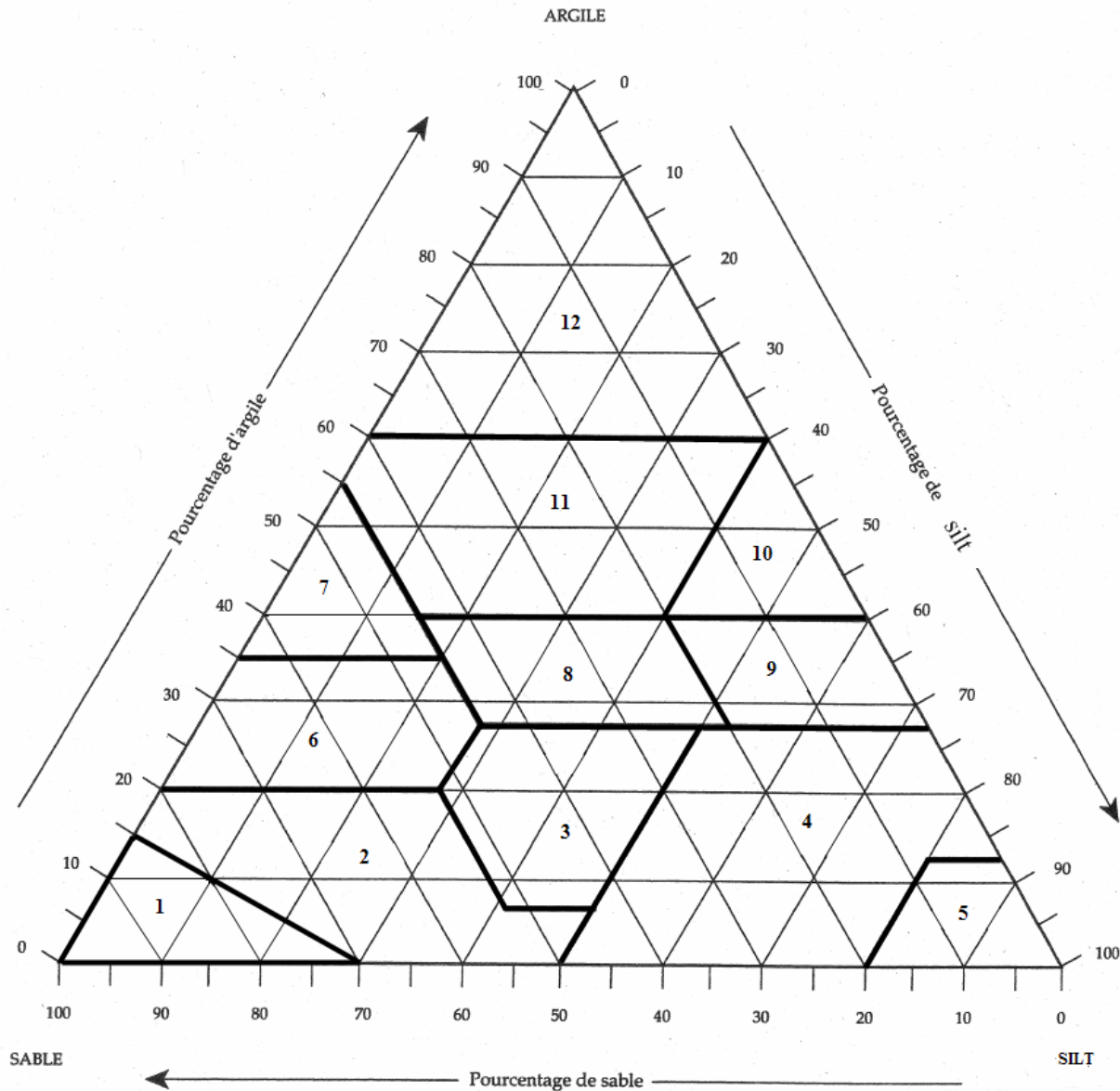
Catégorie	Fraction	Dimension (mm)	Quantité (kg)	Quantité (%)	Quantité (%)	Concentration (mg/kg)	Charge (kg)
Très grossières	F ₁	> 300	0				
	F ₂	80 à 300	0				
Grossières	F ₃	50 à 80	0			0	0
	F ₄	20 à 50	0			0	0
	F ₅	5 à 20	0			0	0
	F ₆	2 à 5	25 000	5	5	85 (AB)	2,13
Moyennes	F ₇	1,0 à 2,0	25 000	5	20	1 800 (CD)	45,0
	F ₈	0,5 à 1,0	75 000	15		1 800 (CD)	135,0
Fines	F ₉	0,315 à 0,5	150 000	30	65	4 100 (> D)	615,0
	F ₁₀	0,25 à 0,315	175 000	35		4 100 (> D)	717,50
	F ₁₁	0,125 à 0,25	25 000	5	10	375 (BC)	9,40
	F ₁₂	0,08 à 0,125	25 000	5		375 (BC)	9,40
Très fines	F ₁₃	0,063 à 0,08	0			0	0
	F ₁₄	0,038 à 0,063	0			0	0
	F ₁₅	0,002 à 0,038	0			0	0
	F ₁₆	< 0,002	0			0	0
		Total	500 000	100	100		1 533,43

Notes :

- Charge totale F6 à F12 : 1 533,43 kg;
- 90 % de la charge totale : 1 380 kg;
- Charge F9-F10 regroupée : 1 332,5 kg (correspond à 86,9 % de la charge totale; il manque 3,1 %);
- Quantité F9-F10 regroupée : 325 000 kg;
- Charge (quantité) F7-F8 regroupée : 180 kg (100 000 kg);
- Charge F7-F10 regroupée (ombragée jaune) : 1 512,5 kg (correspond à 98,6 % de la charge totale);
- Quantité à traiter ou à enfouir selon les dispositions de l'article 4.1.c du RESC : 325 000 kg;
- Quantité à traiter ou à enfouir dans LESC : 100 000 kg;
- Indice de valorisation : 15 % (75 000 kg).

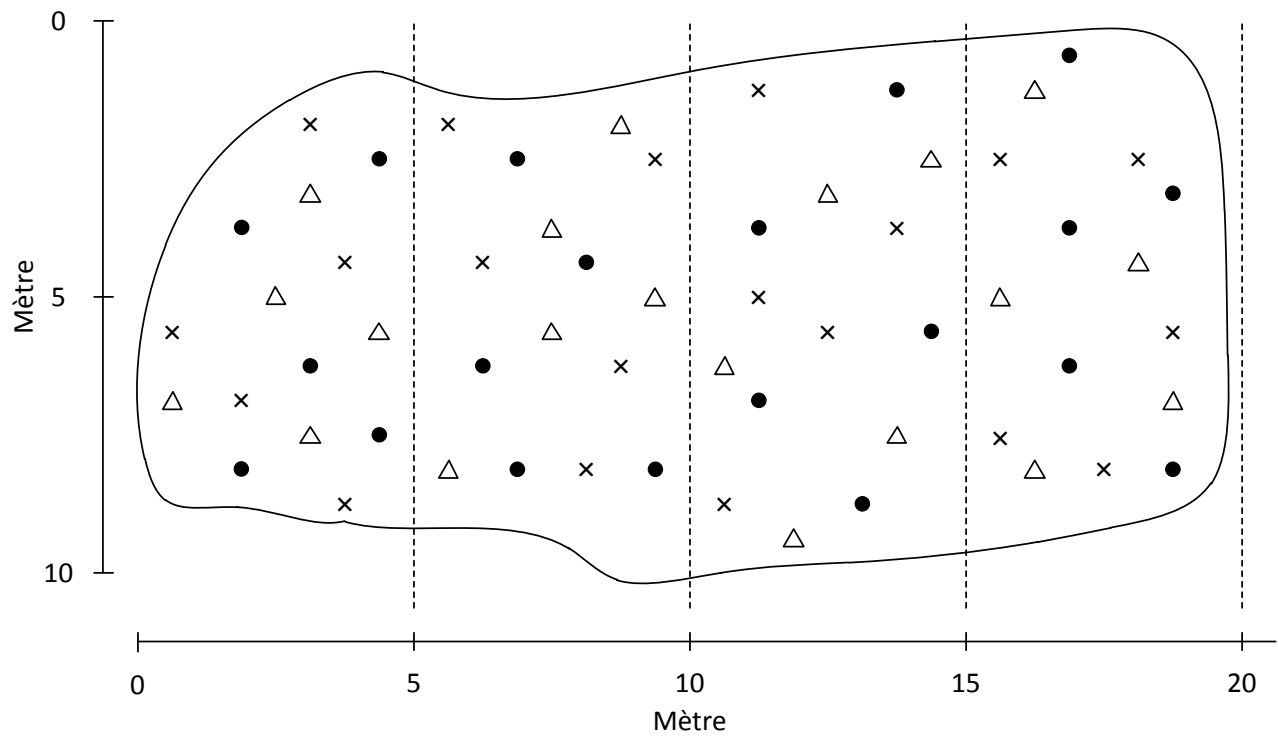
ANNEXE III : Figures

Figure 1 : Diagramme triangulaire des domaines granulométriques



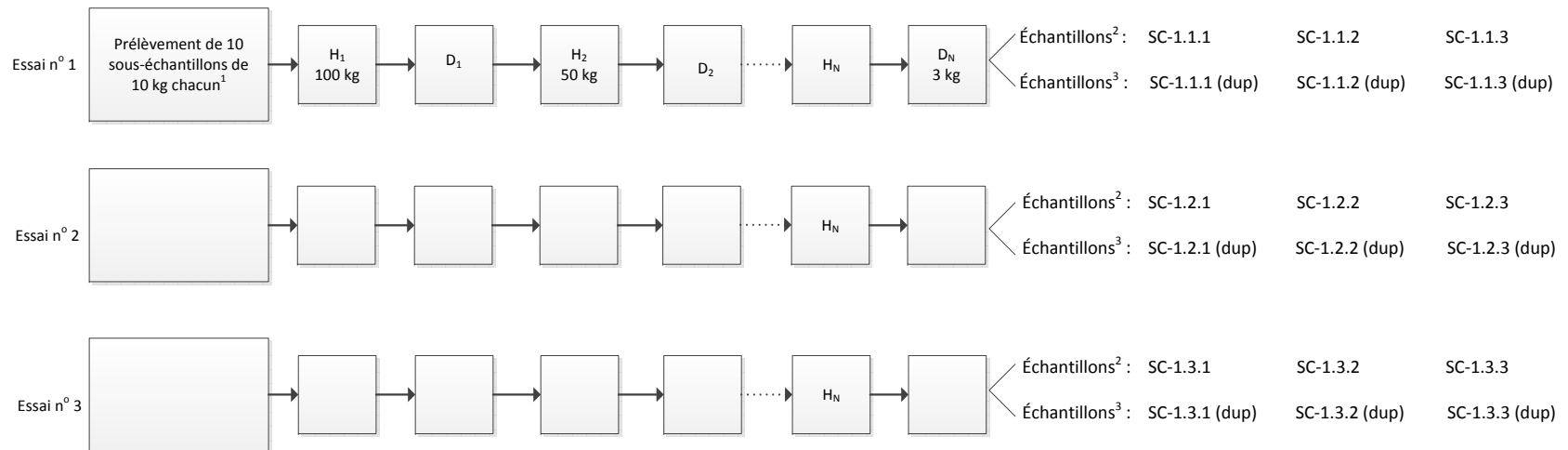
Domaine en %	1			2			3			4			5			6		
Sable	70	-	100	45	-	85	23	-	52	0	-	50	0	-	20	45	-	80
Silt	0	-	30	0	-	50	27	-	50	50	-	87	80	-	100	0	-	27
Argile	0	-	15	0	-	20	7	-	28	0	-	28	0	-	13	20	-	35
	7			8			9			10			11			12		
Sable	45	-	65	20	-	45	0	-	20	0	-	20	0	-	45	0	-	40
Silt	0	-	20	15	-	52	40	-	72	40	-	60	0	-	40	0	-	40
Argile	35	-	55	28	-	40	28	-	40	40	-	60	40	-	60	60	-	100

Note : Diagramme adapté de l'abaque pour la classification texturale des sols du système de classification unifié (USDA).

Figure 2 : Positionnement des stations d'échantillonnage – Empilement de 300 m³

- = Échantillon composé #1, constitué de 20 sous-échantillons de 10kg
- × = Échantillon composé #2, constitué de 20 sous-échantillons de 10kg
- △ = Échantillon composé #3, constitué de 20 sous-échantillons de 10kg

Figure 3 : Exemple d'échantillonnage des sols à l'alimentation – Démonstration n° 1 – Empilement < 60 m³



1) Les fractions de 50 mm et plus ont été préalablement tamisées avant le prélèvement des sous-échantillons. Identification visuelle de la présence d'une contamination des surfaces de particules de 50 mm et plus. Identification / dénombrement des matières résiduelles si requis.

2) Pour analyse chimique de la fraction 5-50 mm. Pour granulochimie sur fractions < 5mm.

3) Pour analyse et conservation jusqu'après la révision et l'acceptation du rapport de démonstration.

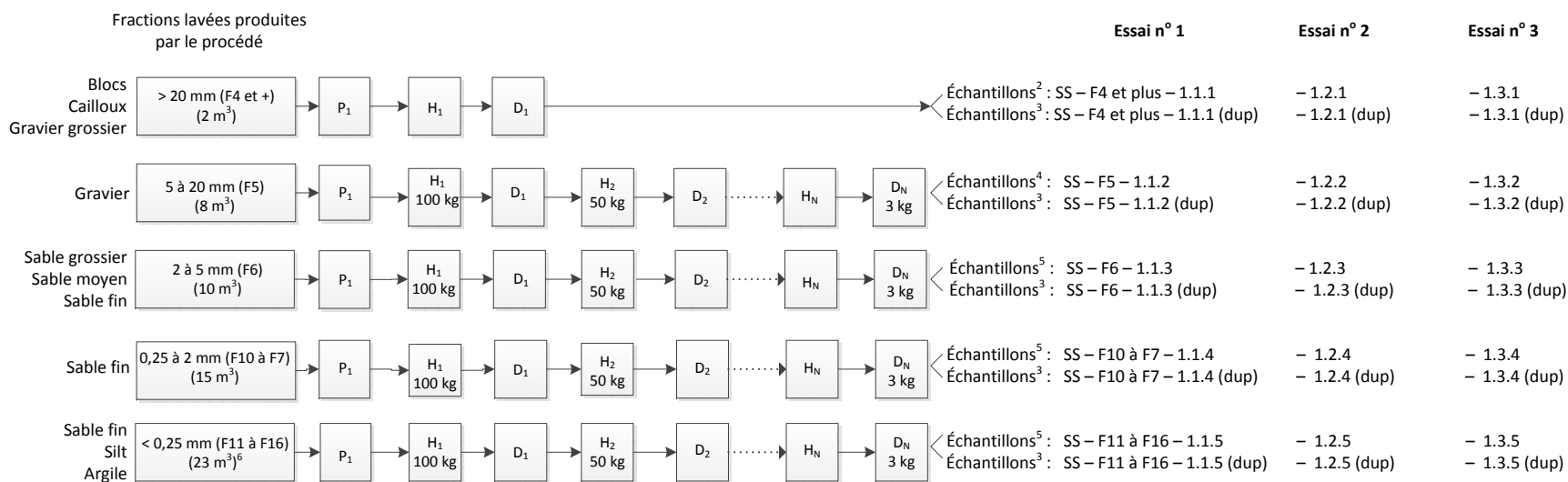
H : Étape d'homogénéisation sur une surface solide et propre.

D : Étape de division en 4 pointes et retirer 2 pointes opposées.

SC : Sols contaminés.

SC-1.1.1 = Échantillon de l'essai n°1 de la démonstration n° 1. Environ 1,5 kg pour tamisage par voie humide et analyse des fractions produites selon la présence des fractions F6 à F16.

Figure 4 : Exemple d'échantillonnage des fractions ségréguées par voie humide – Démonstration n° 1 – Empilement < 60 m³



P = Prélèvement de plusieurs sous-échantillons et constitution d'échantillons représentatifs.

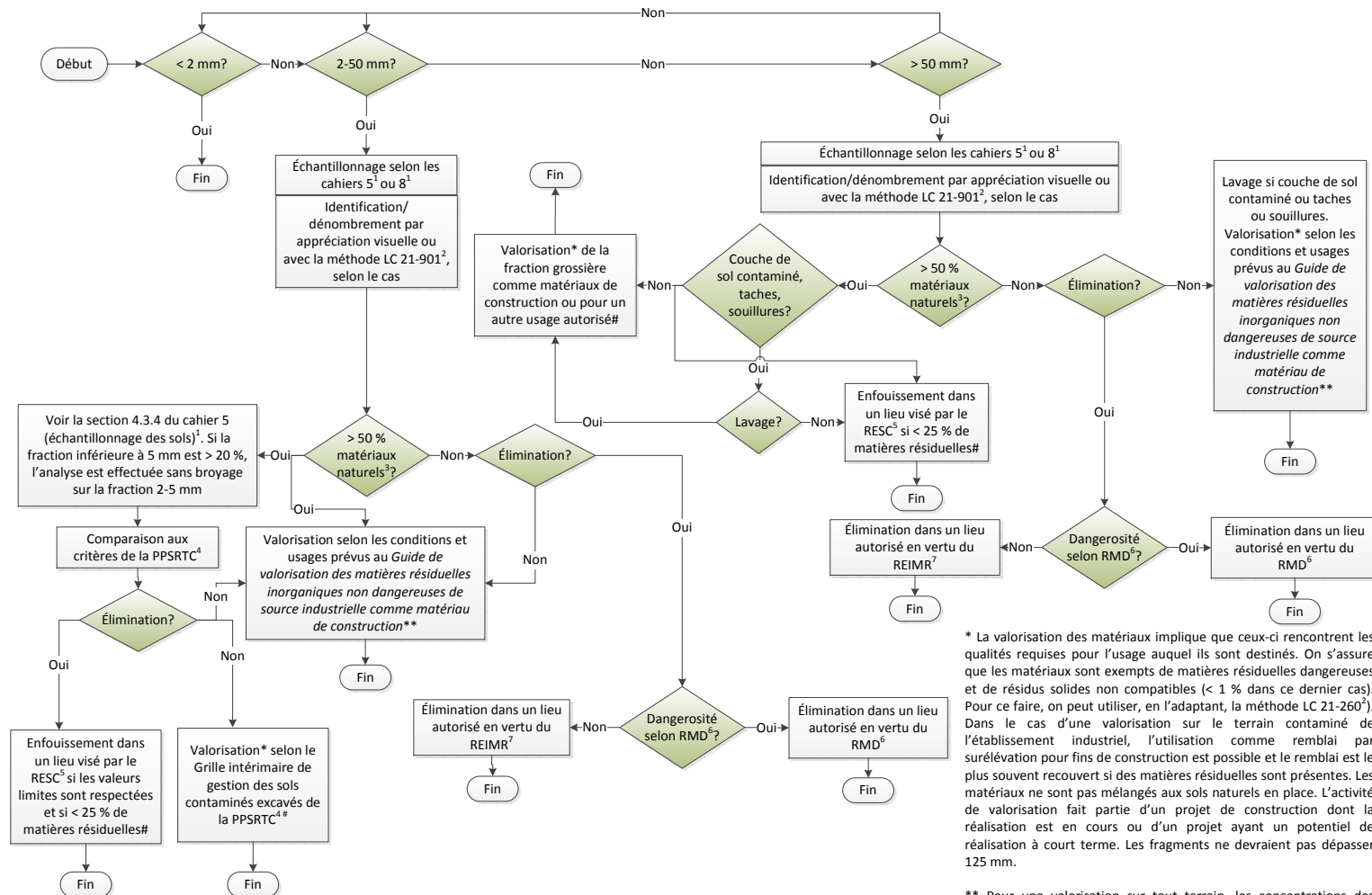
H = Étape d'homogénéisation.

D = Étape de division (en 4 pointes et retirer 2 pointes opposées).

SS = Sols ségrégués.

- 1) Aplanir l'empilement à un mètre d'épaisseur, déterminer 10 stations d'échantillonnage, prélever 10 sous-échantillons de 10 kg chacun sur toute l'épaisseur.
- 2) Identification visuelle d'une contamination des surfaces, et identification/dénombrement des matières résiduelles si requis.
- 3) Pour conserver jusqu'après la révision du rapport de démonstration.
- 4) Pour analyse chimique.
- 5) Pour granulochimie.
- 6) Hypothèse = 2 m³ de particules très fines sont entraînées par les eaux de procédé (à échantillonner avant épuration).

Figure 5 : Évaluation et gestion des fractions grossières



¹ MENV, Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales, cahiers 5 et 8, Les Éditions Le Griffon d'Argile.
² MTQ, méthodes LC 21-901 (Détermination de la composition d'un matériau recyclé...), et LC 21-260 (Détermination de la teneur en impuretés dans un matériau recyclé).
³ Matériaux naturels : sable, gravier, cailloux, blocs, pierre concassée. La dilution des matériaux naturels ou des matières résiduelles est interdite. L'objectif est de séparer le plus possible les sols ou matériaux naturels des matières résiduelles.

⁴ Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés.
⁵ Règlement sur l'enfouissement des sols contaminés.
⁶ Règlement sur les matières dangereuses.
⁷ Règlement sur l'élimination des matières résiduelles.

* La valorisation des matériaux implique que ceux-ci rencontrent les qualités requises pour l'usage auquel ils sont destinés. On s'assure que les matériaux sont exempts de matières résiduelles dangereuses et de résidus solides non compatibles (< 1 % dans ce dernier cas). Pour ce faire, on peut utiliser, en l'adaptant, la méthode LC 21-260². Dans le cas d'une valorisation sur le terrain contaminé de l'établissement industriel, l'utilisation comme remblai par surélévation pour fins de construction est possible et le remblai est le plus souvent recouvert si des matières résiduelles sont présentes. Les matériaux ne sont pas mélangés aux sols naturels en place. L'activité de valorisation fait partie d'un projet de construction dont la réalisation est en cours ou d'un projet ayant un potentiel de réalisation à court terme. Les fragments ne devraient pas dépasser 125 mm.

** Pour une valorisation sur tout terrain, les concentrations des contaminants organiques sont inférieures aux critères A de la PPSRTC⁴. Selon le cas, les critères B ou C des contaminants organiques sont applicables à une valorisation sur le terrain contaminé de l'établissement industriel en autant qu'il ait la même contamination.

S'il y a des matières résiduelles dangereuses, des matériaux assimilés à des matières dangereuses ou s'il y a une caractéristique de dangerosité, le RMD⁶ s'applique.