

PROJET NATIONAL

MICROTUNNELS

<p>Document technique et réglementaire Traitement et recyclage des boues</p>
--

Anne Pantet*, Nicole Merlet*, Jean Frédéric Ouvry**, Gérard Didier***

* ESIP : MC.G.GC – T.E.N.

** ANTEA Créteil

*** INSA : URGC Géotechnique (Lyon)

DOCUMENTATION

DIRECTION DE LA RECHERCHE
ET DES AFFAIRES SCIENTIFIQUES
ET TECHNIQUES

NUMERO 7

SOMMAIRE

1. - INTRODUCTION

2. - LES DIFFICULTES DU TRAITEMENT

2.1 - Position du problème

2.2 - Critères de gestion et de choix de la filière de traitement

3. - LES FLUIDES DE FORAGE

3.1. - Les différents fluides de forages

3,1,a. - Les additifs minéraux

3,1,b - Les additifs organiques

3,1,c. - Les autres additifs

3.2. - La boue : outil de travail

3.3. - Les essais de caractérisation et de contrôle des boues sur chantiers (non)

4. - TECHNIQUES DE TRAITEMENT ET DE RECYCLAGE (non)

4.1. - Première étape de traitement : séparation granulométrique (non)

4,1,a - Matériels de séparation (non)

4,1,b - Le traitement des solides

4,1,c - Le recyclage de la pulpe

4.2. - Deuxième étape de traitement : séparation liquide/solide

5. - REGLEMENTATION EN VIGUEUR SUR LES BOUES DE FORAGE

5.1.- Définitions

5,1,a. - Déchet

5,1,b. - Producteur

5,1,c. - Détenteur

5,1,d.- Elimination des déchets

5.2. - Les catégories de déchets et leur classification

5,2,a. - Nomenclature des déchets

5,2,b. - Nomenclature des déchets de forages dirigés

5,2,c. - Obligations du producteur de déchets

5.3. - Responsabilité civile et assurance - pollution

5.4. - Autorisation de rejet de fluide dans le réseau

5.5. - Définition des centres de stockage

5,5,a. - Stockage de déchets inertes : non dangereux

5,5,b. - Stockage de déchets ménagers : OM

5,5,c.- Stockage de déchets industriels spéciaux : DIS

6.- PRESENTATION DES FILIERES D'ELIMINATION DES RESIDUS DE FORAGE

6.1. - Evacuation sans traitement

6.2. - Filières avec traitements

6,2,a.- La partie solide grossière

6,2,b. - La partie fine solide de la pulpe

6,2,c. - Les effluents ou eaux clarifiées

7. - PERSPECTIVES DE VALORISATION

8. - CONCLUSIONS

Annexes:

ANNEXE 1 : code et désignation des boues de forage

ANNEXE 2 : textes officiels

ANNEXE 3 : Recherche et mise au point des filières de traitements

1. - Essais préliminaires sur des suspensions bentonitiques fabriquées en laboratoire

2. - Application d'un type de traitement à des boues de chantier

2,1. - Les boues du chantier numéro 1

2,2. - Les boues de chantier numéro 2

2,3. - Les boues de chantier numéro 3

3. - Résultats

Document technique et réglementaire Traitement et recyclage des boues

Anne Pantet*, Nicole Merlet*, Jean Frédéric Ouvry**, Gérard Didier***

* ESIP : MC.G.GC - T.E.N.

** ANTEA Créteil

*** INSA : URGC Géotechnique

1. - INTRODUCTION

Le succès technique et économique d'une opération de forage (forages dirigés, microtunneliers) dépend notamment du fluide de forage utilisé. Ces fluides appelés communément boues doivent satisfaire plusieurs exigences techniques et environnementales en prenant en compte les considérations financières.

Lors de l'excavation d'ouvrages souterrains de faible diamètre (le cas de forages dirigés), les principales fonctions de la boue sont d'évacuer les déblais et de maintenir les parois latérales. Pour des excavations au microtunnelier, le problème de la stabilité des parois ne se pose pas, car le revêtement est mis en place au cours du creusement. Dans tous les cas, la réalisation de ces excavations amène une

production de déchets sous forme d'un marinat, constitué d'un mélange qui peut être très diversifié suivant le milieu traversé.

Le développement des techniques sans tranchées, la volonté d'utiliser une technologie propre et bien gérée, ont motivé la FSTT à faire le point des connaissances actuelles en finançant cette étude bibliographique.

L'objectif de ce guide technique et réglementaire sur les fluides de forage est de définir des critères de gestion des déchets de forage en fonction de la réglementation en vigueur et de présenter des filières de traitement possibles des boues de forage. Une partie de ce document sera consacrée à rappeler les principales fonctions et propriétés des fluides de forage nécessaires au bon déroulement du chantier.

2. - LES DIFFICULTES DU TRAITEMENT

2.1. - Position du problème

L'essentiel des forages se fait à l'eau ou à la boue (mélange d'eau, de poudres minérales et de produits organiques). La composition des boues est variable et déterminée en fonction des caractéristiques connues ou supposées des formations à traverser.

Aux principales fonctions techniques (stabilisation des parois, transport des déblais) viennent s'ajouter des exigences environnementales de plus en plus soucieuses du respect de l'environnement d'autant plus que la législation des déchets sera particulièrement stricte avec la loi de juillet 2002.

Cet aspect oblige de bien connaître les caractéristiques physiques et chimiques des fluides pour définir le caractère inerte ou dangereux des déchets générés pendant les travaux et par conséquent pour déterminer des filières de traitement. **Le coût du fluide de forage** (le coût de la poudre brute représentant quelques % à 20 % du coût de forage) devra intégrer le traitement et la mise en dépôt définitive.

Lors du creusement d'une excavation, le fluide initialement propre se charge de matériaux issus du sol excavé. Ces matériaux sont soit brisés en cas de matériaux grossiers ou de roches tendres, soit dissociés dans le cas de matériaux plus fins. La pollution est de type physique par apport de matériaux granulaires et de type chimique par dissolution de certains éléments ou par lessivage notamment des argiles ou des limons, qui peuvent être inertes ou actifs. Les propriétés initiales de la boue propre sont donc bien modifiées [1].

La teneur en matières solides (MS) est fortement augmentée : ainsi, la densité du matériau initialement de 1.05 atteint suivant la charge solide transportée des valeurs comprises entre 1.3 à 1.5. Par ailleurs, ses paramètres classiques d'écoulement sont modifiés.

Exemple : Boue de chantier	Viscosité Marsh en s	API	MS g/l
Boue propre	80 s	38 ml	35
Bourbier	49 s	14 ml	98.5

La boue issue du bourbier ne peut plus être utilisée en l'état et doit être traitée soit pour le recyclage soit pour la mise en dépôt. Il y a lieu de distinguer d'une part la boue, considérée comme **outil de travail**, qu'il faut en partie recycler et d'autre part la boue assimilée à un **déchet** qu'il faut traiter pour être stockée. Ces déchets seront, soit inertes soit dangereux suivant les cas considérés. Néanmoins, comme tout déchet, la boue appartient, suivant la loi

n° 75-633 du 15 juillet 1975, modifiée par la n° 88-1261 du 30 décembre 1988, la loi n°92-646 du 13 juillet 1992 et la loi n°95-101 du 2 février 1995, aux producteurs, donc à l'entreprise de forage et doit être traitée avant sa mise en dépôt définitive en situation adaptée.

Il y a encore peu de temps, les effluents plus ou moins pollués étaient rejetés dans le milieu naturel sans précautions particulières. Si la capacité épuratoire du milieu (souvent cours d'eau ou abandon sur site) était limitée, des dysfonctionnements se produisaient. Ces pollutions locales ont été en partie contrôlées et le développement de techniques de dépollution a transféré cette pollution essentiellement liquide vers le secteur des déchets solides.

Actuellement, les installations de forage sont équipées soit d'**unité de stockage** où les fluides résiduels sont provisoirement déposés avant d'être collectés par des camions vidange et amenés en décharge, soit d'**unité de traitement** où les fluides sont essentiellement déshydratés avant mise en décharge des différents sous-produits. Retirer l'eau, qui est l'ennemi numéro un des décharges, à cause de la génération de lixiviats, reste l'objectif primordial. Les détenteurs de déchets n'assurant pas eux-mêmes les opérations d'élimination ou de valorisation doivent faire appel à un organisme collecteur privé ou public. Au cas où les déchets seraient abandonnés, l'autorité titulaire peut faire procéder à l'élimination aux frais du responsable.

Par ailleurs, le producteur a intérêt à constituer un dossier de référence afin de s'assurer de la traçabilité des produits. Ce dossier de référence doit comprendre les informations nécessaires à l'identification des déchets produits, et quelques résultats d'analyses globales sur des échantillons représentatifs.

Le chantier de forage dirigé ou de microtunnelier avec son outil épuratoire (unité de traitement et de recyclage) se particularise des autres installations de traitement par son caractère provisoire et itinérant.

2.2. - Critères de gestion et de choix de la filière de traitement

Compte tenu de la nature des chantiers et de la diversité des produits, notre analyse nous a conduit à définir trois critères (cf fig. 1), à considérer par l'entreprise pour gérer les déchets générés par les travaux d'excavation et définir une filière de traitements appropriés:

- Critère de site :
 - Site pollué identifié,
 - Site pollué non identifié,
 - Site reconnu non pollué.

Critère de quantité :
Durée du chantier
Volume à traiter
Lieu de traitement

Critère de boue :
Boues minérales,
Boues polymères organiques,
Boues mixtes.

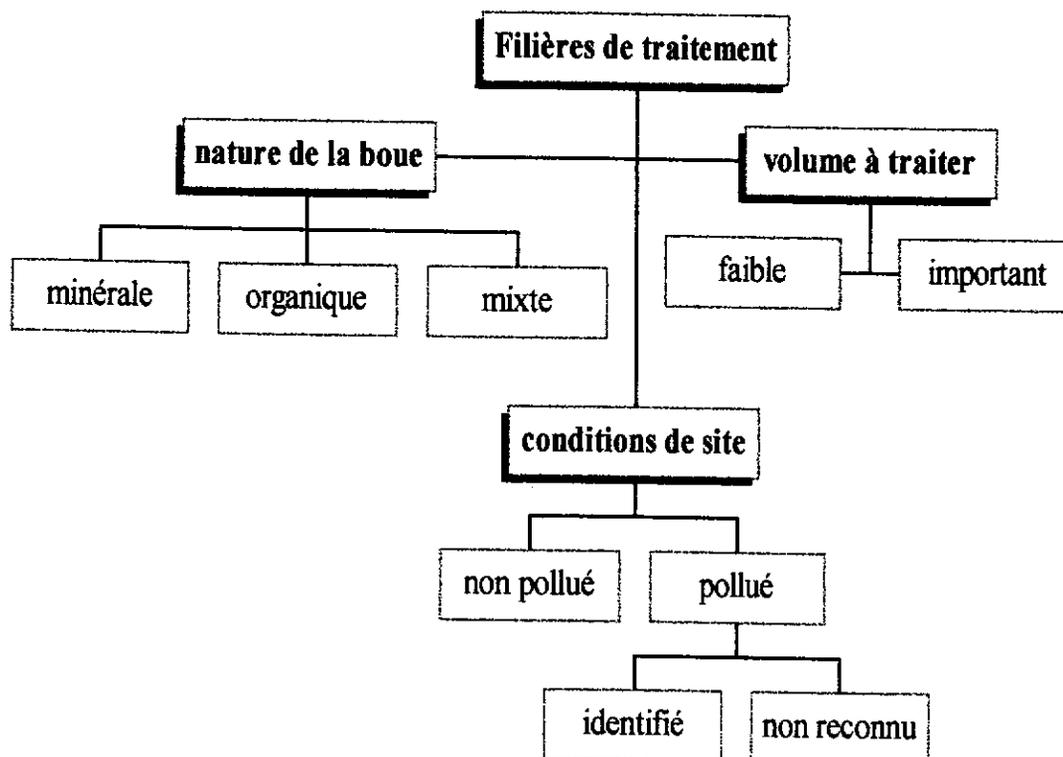


Fig 1 : critères de définition des filières de traitement

Critère de site

Il y a lieu bien évidemment pour dimensionner la boue et pour définir la chaîne de recyclage et de traitement de prendre en considération le contexte géologique du site, notamment les éléments suivants:

- site homogène ou hétérogène
- présence de sols susceptibles d'ajouter des particules inertes et de particules actives ou colloïdales (marnes, argiles, sables argileux...)
- calcaires fissurés, cavités occasionnant des pertes éventuelles de boue
- nature de l'eau des aquifères
- dissolution de roches salines, calcaires, de ciments, provoquant des contaminations chimiques.

Par ailleurs, il est indispensable de savoir si le site excavé, est non pollué, pollué mais non identifié, ou reconnu pollué (travaux dans d'anciennes friches industrielles, milieu urbain...).

Le mélange d'un matériau dangereux avec des inertes, les rend tous dangereux.

Critère de quantité

Le volume de boue à fabriquer est nettement supérieur à celui du volume du forage. Une importante partie de la boue bentonitique fabriquée dans l'unité de préparation reste dans les sols (imprégnation normale des sols, pertes accidentelles). Les volumes de boues à traiter par jour varient de 2 à 5 m³ à plusieurs dizaines de m³.

Si les matériaux issus du borbier sont envoyés en l'état vers des centres de stockage, ils s'assèchent naturellement très lentement. Sous consistance boueuse, ils sont instables. Pour limiter les volumes des boues à fabriquer et à évacuer, la mise en place d'un système de recyclage est d'autant plus nécessaire que les volumes sont importants. Il faut préciser que les solutions de recyclage et de traitement suivent un même schéma.

Critère de boue

La formulation d'une boue de forage est une technique à part entière, compte tenu de la diversité des produits et de leur interaction avec le milieu. La concentration en bentonite et l'ajout même en faible quantité de polymères ou d'additifs particuliers, soit lors du conditionnement de la poudre minérale, soit en cours de chantier, doivent être précisés.

3. - LES FLUIDES DE FORAGE

3.1. - Les différents fluides de forages

Les fluides de forage sont des produits complexes, présentant un ensemble de propriétés très diversifiées. Leur étude nécessite de nombreux essais, car leurs propriétés sont en général peu standards. En effet, une grande variabilité des paramètres mesurés est souvent observée pour une même appellation industrielle. Cette difficulté est inhérente aux conditions de gisement et à celle de préparation des poudres minérales (ajout d'anti-motants, de polymères, de différents sels)

On distingue plusieurs familles de boue : les boues minérales à base de bentonite, les boues à base de polymères, les boues mixtes suivant la nature des additifs ajoutés à l'eau (Additifs minéraux ou organiques)

La comparaison des différents fluides nous amène aux constats suivants :

- Les bentonites ont le pouvoir de gonfler alors que les polymères s'étirent.
- Les bentonites retiennent mieux les débris d'excavation que les polymères à viscosité équivalente.
- Les bentonites forment des cakes plus épais.
- Les bentonites se chargent en éléments solides fins qui en modifient la viscosité et la densité (pollution par des argiles naturelles du sol), alors que les polymères en enveloppant ces débris bloquent partiellement leur hydratation.
- Le temps de préparation des bentonites est nettement plus long que celui des polymères.

Les boues minérales et mixtes semblent être utilisées le plus souvent, en effet certains donneurs d'ordre interdisent l'utilisation de polymères pour la pose de canalisations en PEHD.

3.1.a. - Les additifs minéraux :

Classiquement, il est distingué :

- Les colloïdes argileux dont les bentonites et les attapulgites
- Les métaux mixtes inorganiques

Le terme industriel de bentonite désigne une argile naturelle ou traitée constituée de smectites. Ce groupe d'argile est bien connu pour ses propriétés de gonflement. Les gisements de smectites les plus connus sont localisés en Grèce, Sardaigne, USA.

Les techniques expérimentales de caractérisation des poudres [2] sont celles utilisées pour la caractérisation minéralogique des minéraux argileux.

Lorsqu'une argile de composition minérale connue est mise au contact d'une eau, de nombreuses transformations ont lieu (hydratation, adsorption, échanges cationiques) [3]. Les suspensions bentonitiques présentent classiquement une allure de fluides à contrainte critique, lorsque la concentration est suffisante. Les lois de comportement communément admises, s'expriment comme suit :

- Bingham :

$$\tau - \tau_c = \mu * \dot{\gamma}$$

- Herschel Bulkley :

$$\tau - \tau_c = (k * \dot{\gamma})^n$$

avec τ_c contrainte critique en Pa, μ viscosité plastique en Pa.s, n indice d'écoulement, k consistance

L'étude rhéologique de ces suspensions nécessite des précautions importantes pour garantir la fiabilité des résultats expérimentaux, à cause notamment de la restructuration rapide des produits argileux [4], [5]. Les propriétés rhéologiques des suspensions de smectites sont sensibles à la concentration, au vieillissement et aux caractéristiques physiques des particules (taille, surface spécifique, forme, hydratation).

Les travaux en conditions d'écoulement sur site réel (Métro de Lyon) [6] et ceux en modèle réduit [7] ont montré l'influence de la contrainte critique et de la viscosité sur les pertes de pression mesurées en conduites.

3.1.b - Les additifs organiques

Il est possible de les classer en plusieurs catégories [8] :

- les polymères naturels ou synthétiques
- les anti-ferments
- les produits organiques spéciaux (les agents de décoincement, les antifrictions et les anticorrosions).

Les polymères se présentent sous forme de poudre, de granulés, de liquide, d'émulsion et sont caractérisés par leur composition chimique, leur poids moléculaire (suivant la valeur de la chaîne), leur type et leur densité de charge (anionique, cationique, non ionique, fortement ou faiblement chargé).

Parmi ces polymères, on distingue :

- les polysaccharides : amidon, biopolymères (Xanthane)
 - les dérivés cellulosiques (le plus utilisé CMC carboxyméthylcellulose, HEC hydroéthylcellulose, CMHEC)
 - les polymères synthétiques (acrylique ou vinylique).
- Ces produits peuvent avoir un rôle différent au sein d'une boue de forage.

Les produits CMC sont désignés par des noms différents; BLANOSE, DRISCOSE, CARBOCEL, STAFLO, DRISPAC.

Les analyses des différents polymères se font à l'aide de techniques chromatographiques, dosages potentiométriques et viscosimétriques.

Les polymères naturels et cellulosiques sont sensibles aux bactéries, à la différence des polymères synthétiques, et nécessitent l'utilisation d'antifongiques (dérivés phénoliques), de produits antimousses (alcools, tensio-actifs). Les produits bactéricides sont en général des produits très nocifs.

En général, les boues synthétiques ne sont pas biodégradables et ne peuvent être détruites que par action chimique (eau oxygénée, eau de Javel...). Les étapes et la durée de la biodégradabilité sont des facteurs importants à prendre en considération pour prévoir le devenir des déchets organiques dans l'environnement.

3.1.c. - Les autres additifs :

De nombreux additifs conçus pour améliorer la qualité des boues existent sur le marché :

- Fluidifiants et défloculants
 - Polyphosphates de sodium
 - Tannins
 - Lignosulfates
 - Lignines
- Additifs minéraux
 - la soude caustique
 - le carbonate de soude
 - la chaux éteinte
- Produits colmatants
 - granulaires, fibreux ou lamellaires

Les conditions et les temps de préparation diffèrent suivant les produits utilisés. Dans tous les cas, il y a lieu de bien disperser la poudre dans le fluide, afin d'éviter des grumeaux. Cette bonne dispersion est un facteur d'économie. L'utilisation d'un disperser (essentiellement pour les poudres

minérales) permet d'augmenter la viscosité par rapport à un brassage à hélice du mélangeur. Pour une boue bentonitique, il faut laisser au moins 6 heures la bentonite s'hydrater dans l'eau, pour obtenir une viscosité suffisante. Dans le cas de polymères, les durées sont fortement réduites : 15 minutes à 2 heures. L'eau doit être la plus pure possible.

Les mélanges des produits ne sont pas toujours compatibles: les polymères synthétiques ne peuvent pas être mélangés aux suspensions bentonitiques.

3.2. - La boue : outil de travail

La littérature portant sur les techniques de forage ou les fluides de forage [9] [10] permet d'établir la liste des principales fonctions demandées :

- action destructrice par une force hydraulique
- évacuer les déblais provenant de la tête d'excavation à travers l'annulaire jusqu'à la surface
- nettoyer le forage et l'outil pour empêcher un bourrage de la tête de forage
- refroidir et lubrifier la tête de forage
- permettre une bonne séparation des déblais dans les installations de surface pour pouvoir recycler le fluide et examiner les déblais
- maintenir les déblais en cas d'arrêt du forage
- contrebalancer la pression des terres et la pression hydrostatique
- prévenir de la détérioration des parois du forage (dissolution de certaines formations, gonflement de couches argileuses)
- diminuer le poids de l'outil et des tiges
- prévenir contre la corrosion.

Pour assurer ces fonctions, les principales propriétés recherchées sont :

- densité pour contrebalancer les pressions
- viscosité importante au repos pour éviter la sédimentation des déblais
- viscosité suffisamment faible pour pouvoir être injectée dans les tuyères du moteur à boue
- capacité à former un cake imperméable à la paroi pour empêcher les transferts de fluides.

Si la densité ne dépend que des produits constitutifs du fluide, les paramètres de viscosité et de seuil d'écoulement dépendent de la vitesse de circulation de la boue, fonction du débit de la pompe, du diamètre du forage et celui du train de tiges.

Les produits bentonitiques ont la possibilité de former un cake sur les parois du forage ; ce cake doit garantir des venues d'eau à l'intérieur du forage qui nuisent à la stabilité du trou à la fois en conditions dynamique et statique (circulation ou arrêt de circulation). Par ailleurs en colmatant le milieu poreux, il y a réduction des pertes de boue. La filtration se fait de l'intérieur vers l'extérieur si la

Equipement	Seuil de séparation μm
Tamis vibrant	
Standard 30 mesh	+ 440
Ecran fin, 80 mesh	+ 150
Haute performance, 425 mesh	+ 35
Hydrocyclone	
Dessableur	40-90
Dessilteur	15-40
Centrifugeuse	3-25
Unité de filtration	1-10

Le choix d'un tamis vibrant à écran fin, dimensionné pour ne laisser passer que les éléments admis par la pompe est un organe essentiel du système de séparation. Dans le cas où les tailles de particules sont variées, un système de tamis en cascade est mis en place.

L'efficacité d'un tamis dépend de son mouvement. Un tamis vibrant avec un mouvement orbital permet d'obtenir, avec une ouverture grossière, un résidu de siccité très élevée. En contre partie, il laisse passer une large fraction de solides.

Un tamis vibrant à mouvement linéaire, avec une ouverture fine, permet de retenir beaucoup de solides, qui sont cependant plus humides.

Les hydrocyclones sont d'excellents outils pour retirer les particules sableuses, il faut les utiliser avec un tamis vibrant à l'amont pour une meilleure efficacité. Pour un fluide d'entrée contenant entre 20 et 40% en volume de solides, la purge de fond a une concentration en solides comprise entre 55 et 65 % du volume. La surverse contient 5 à 15 % de solides.

Les centrifugeuses sont peu utilisées, hormis pour des projets très spécifiques.

4.1.b. - Le traitement des solides

Les déchets solides obtenus à ce stade sont débarrassés de l'eau libre. Ils sont en général grossiers à fins (silts). Pour supprimer l'eau résiduelle, il faudrait les sécher.

Suivant la nature du site excavé, les résidus solides seront simplement mis en dépôt ou devront être traités si ce sont des résidus de terres contaminés. Faire cependant attention, car le site excavé peut être un site pollué non reconnu.

4.1.c. - Le recyclage de la pulpe

La pulpe recyclée peut être à nouveau injectée dans le circuit, avec éventuellement un apport de boue neuve. Il est plus facile de diluer une boue sur le

chantier que de la concentrer. Ainsi la prévision d'un bac de boue mère à forte concentration peut être utile.

L'intérêt du recyclage est de permettre de réduire les volumes de déchets générés par le chantier, mais l'utilisation de liquides contaminés peut être néfaste à l'obtention d'une boue aux propriétés définies.

Les contrôles de la boue recyclée, éventuellement mélangée à de la boue neuve seront indispensables. La mesure en densité, très fréquente à ce niveau est certes un contrôle important, mais insuffisant. Il faut également vérifier la teneur en particules actives, qui est le critère important.

Par ailleurs des contaminations chimiques (par exemple des sels minéraux contenus dans les terrains) peuvent modifier considérablement les performances des boues, qui sont très sensibles à la présence d'électrolytes. La présence de sel dissous (NaCl , CaSO_4) dans le fluide d'hydratation provoque une **augmentation du filtrat** et donc une diminution des capacités de filtration. La présence de sel semble par ailleurs atténuer l'amplitude des variations du filtrat des suspensions au cours du temps. La présence de chlorure de sodium (sel gemme) provoque un **accroissement de la contrainte seuil**, même pour une concentration de 5 g/l, proche de la concentration de floculation de la suspension [14]. Avec le sulfate de calcium (gypse), l'évolution est semblable qualitativement. Un apport d'électrolytes peut rendre la viscosité de ces suspensions inférieure à la viscosité obtenue sans électrolyte.

4.2. - Deuxième étape de traitement : séparation liquide/solide

La pulpe ne peut pas être rejetée en l'état dans le milieu naturel. Cette deuxième étape importante de traitement consiste en une opération de séparation liquide/solide. Elle commence par un traitement physico-chimique de coagulation - floculation et est suivie d'une décantation.

Lorsqu'une suspension décante difficilement, les processus de coagulation-floculation permettent d'améliorer sa décantabilité. La surface des colloïdes est chargée négativement, les particules se repoussent et ne peuvent pas former des masses plus importantes appelées floes. La décantation n'est pas possible. La coagulation consiste à neutraliser ces forces répulsives par addition d'un réactif chimique, le coagulant, déstabilisant ainsi les colloïdes.

L'agglomération de ces particules déchargées, en flocons plus volumineux et décantables (ou floculation), peut être rendue plus efficace par l'ajout d'un autre réactif le floculant.

La stabilité colloïdale de la boue est fortement réduite par des électrolytes minéraux ou des polymères de

synthèse (polyélectrolytes), ce qui permet d'augmenter artificiellement la taille des particules. Cette étape peut être précédée d'une acidification, (addition massive de H_2SO_4) qui facilite la floculation des argiles. Seul, ce traitement est souvent insuffisant.

Il faut d'abord préciser qu'un produit qui ne décante pas naturellement (c'est le cas de la bentonite) ne pourra être traité de façon satisfaisante par une centrifugeuse qui ne fait qu'accélérer la décantation naturelle en soumettant le fluide à un champ centrifuge de plus de 250^*g .

L'épaississement des boues, par coagulation-floculation, permet un meilleur fonctionnement des appareils de déshydratation mécanique.

La phase boueuse, issue de la coagulation - floculation doit être traitée, notamment déshydratée, car elle piège entre les floccs une quantité d'eau importante.

L'opération de déshydratation peut être effectuée :

- *mécaniquement*

(filtre à bande, décanteuse continue, filtre presse, centrifugation)

- *chimiquement*

par épaississement ou avec apport de chaux (siccité minimale à atteindre pour ce traitement)

- *physiquement*

sous champ électrique par électroosmose ou électrophorèse.

Le produit issu de ce traitement doit pouvoir être manipulé (état gerbable). La siccité est un paramètre important, mais qui doit être complété par l'analyse de la texture de la boue. A siccité égale, une boue

centrifugée n'a pas la même structure qu'une boue pressée.

Seules les boues partiellement déshydratées sont admissibles en décharge. Un éventuel traitement préalable avec des liants hydrauliques, ciment, chaux permet une stabilisation - solidification.

Des essais réalisés en laboratoire (présentés en annexe) sur différents produits prélevés sur site ont été analysés. Il semble que la filière acidification, centrifugation puis éventuellement ajout d'un coagulant suivie d'une nouvelle centrifugation soit réellement envisageable et intéressante. Il faut tout de même préciser que ces essais ont été menés uniquement sur trois sortes de boues, d'autres études complémentaires sont nécessaires pour pouvoir généraliser ces résultats.

L'eau ainsi clarifiée peut être rejetée dans le milieu naturel. Dans ces conditions doivent être précisés les points de rejet, l'ensemble des paramètres suivants (température, pH, MEST, DCO, hydrocarbures, phénols, SEC, cyanures, métaux), les débits et les flux journaliers. Il y a lieu de réduire au maximum les perturbations apportées au milieu récepteur. Un programme de surveillance doit être respecté à différentes fréquences, en continu, quotidien, hebdomadaire...

Si les conditions ne sont pas respectées, le recours à une station d'épuration collective ou industrielle, capable de traiter l'effluent, est possible.

La figure 2 synthétise les étapes successives de la chaîne de traitement.

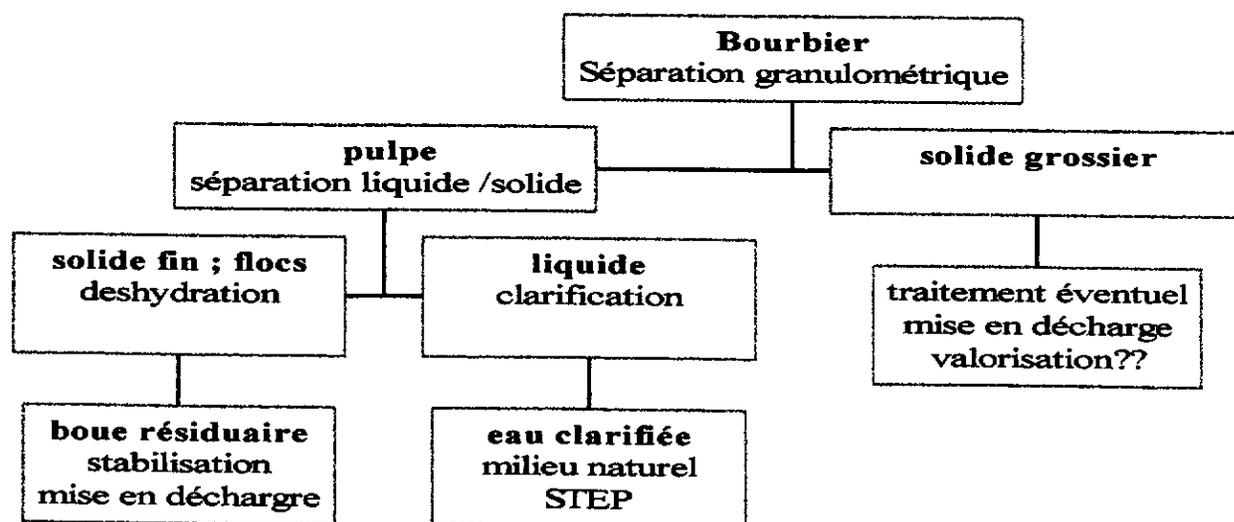


Fig 2 : Logigramme des principales étapes de traitement

5. - REGLEMENTATION EN VIGUEUR SUR LES BOUES DE FORAGE

En France, le Catalogue Européen des Déchets (CED) a été choisi comme liste de référence, pour les informations relatives aux déchets depuis novembre 1997. Deux catégories de déchets sont distinguées : **déchets dangereux** et **autres déchets** comprenant les déchets ménagers, les déchets d'emballage, les déchets hospitaliers, les déchets inertes et les déchets radioactifs.

A l'horizon de l'an 2000, tous les déchets seront obligatoirement traités avant d'être définitivement stockés en tant que déchet ultime d'après la loi du 13 juillet 1992 [15], [16].

5.1. - Définitions

5.1.a. - Déchet

Le cadre général de la réglementation donne la définition suivante du déchet :

Selon la loi du 15 juillet 1975, est considéré comme déchet " tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou plus généralement, tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon " (L. no 75-633, 15 juill. 1975 : JO 16 juill. 1975) .

Ce texte donne deux définitions du " déchet ", l'une physique et l'autre juridique, cette dernière étant conforme à la jurisprudence sur les "res derelictae" (choses sans maître) parce qu'abandonnées par leur propriétaire.

Toutefois, la loi précitée ne retient ("L. no 75-633, 15 juill. 1975, art. 2 : JO 16 juill. 1975), pour les réglementer, que ceux qui sont, par leurs conditions de production ou de détention, " **de nature à produire des effets nocifs sur le sol, la flore et la faune, à dégrader les sites ou les paysages, à polluer l'air ou les eaux, à engendrer des bruits et des odeurs et, d'une façon générale, à porter atteinte à la santé de l'homme et à l'environnement** " .

La jurisprudence a ainsi été amenée à souligner que doivent être regardés comme des déchets, des matières usées tant qu'elles n'ont pas fait l'objet d'un traitement en vue de leur régénération ou de leur recyclage, et alors même que leurs détenteurs auraient l'intention de les céder en vue de leur vente et non de les destiner à l'abandon ((CA Angers, 5 janv. 1984) confirmé par (Cass. crim., 15 avr. 1986 , no 84.90-694) ; (CA Rennes, 2 mai 1983) ; (" CE, Ass. 13 mai 1983, no 37 030, SA "René Moline" :

Rec. CE 1983, p. 191) ; (" TA Rouen, 17 juill. 1995, no 93865, Sté Esso-raffinage saf))

Introduite à l'article 1er de la loi du 15 juillet 1975 (" L. no 75-633, 15 juill. 1975 : JO 16 juill. 1975, introduisant l'art. 1er de la loi du 13 juill. 1992), la **notion du " déchet ultime "** consacre la reconnaissance de cette relativité. Est ultime un déchet " qui n'est plus susceptible d'être traité dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de la part valorisable ou par réduction de son caractère polluant ou dangereux ". Avec sagesse, le législateur décide ainsi d'utiliser une définition évoluant avec le jeu complexe des possibilités de la physique-chimie et de l'économie.

5.1.b. - Producteur

Le producteur est toute personne dont l'activité a produit des déchets (" producteur initial ") et/ou toute personne qui a effectué des opérations de prétraitement, de mélange ou autres conduisant à un changement de nature ou de composition de ces déchets.

A ce titre, les entreprises de forages dirigés ou de microtunnelage sont des producteurs de déchets.

5.1.c. - Détenteur

Le détenteur est le producteur des déchets ou la personne physique ou morale qui a les déchets en sa possession.

5.1.d. - Elimination des déchets

L'Art. 2 de la Loi no 75-633 du 15 juillet 1975 relative à l'élimination des déchets et à la récupération des matériaux précise que toute personne qui produit ou détient des déchets, dans des conditions "de nature à la santé de l'homme et à l'environnement", est tenue d'en assurer ou d'en faire assurer l'élimination conformément aux dispositions de la présente loi, dans des conditions propres à éviter les dits effets.

L'élimination des déchets comporte les opérations de **collecte, transport, stockage, tri et traitement** nécessaires à la récupération des éléments et matériaux réutilisables ou de l'énergie, ainsi qu'au dépôt ou au rejet dans le milieu naturel de tous autres produits dans des conditions propres à éviter les nuisances.

Le coût de l'élimination des déchets doit être supporté par :

- le détenteur qui remet des déchets à un ramasseur ou à une entreprise conformément au principe du pollueur-payeur, et/ou
- les détenteurs antérieurs ou le producteur du produit générateur de déchets.

5.2. - Les catégories de déchets et leur classification

5.2.a. - Nomenclature des déchets

Suivant l'avis du 11 novembre 1997 relatif à la nomenclature des déchets, les entreprises qui produisent, ... sont tenues de fournir à l'administration (services chargés du contrôle des installations classées pour la protection de l'environnement ou ministère chargé de l'Environnement - direction de la prévention des pollutions et des risques) des informations relatives aux déchets, dans les conditions prévues par les textes d'application de l'article 8 de la loi no 75-633 du 15 juillet 1975 relative à l'élimination des déchets et à la récupération des matériaux, et ceux de la loi no 76-663 du 19 juillet 1976 relative aux installations classées pour la protection de l'environnement.

Ces entreprises doivent désigner les déchets par l'utilisation des dénominations et codes énumérés dans la présente nomenclature, sous réserve, le cas échéant, des désignations complémentaires exigées par d'autres textes.

Cet avis transcrit la liste des déchets annexée à la décision de la commission du 20 décembre 1993 concernant le Catalogue Européen des Déchets (CED).

Seules les désignations de 6 chiffres en caractères normaux désignent effectivement des déchets. Toutes les autres identifient des catégories d'origine et des regroupements intermédiaires.

La lecture d'un code individuel de déchet de la liste ne doit pas être isolée du titre de la catégorie d'origine et du regroupement intermédiaire dans lesquels il s'inscrit. Les informations liées à la description de ces catégories et regroupements participent en effet à la description et à l'identification du déchet.

La liste des déchets est constituée de deux colonnes :

- la première colonne donne un code de nomenclature (de 01 00 00 à 20 03 05) ;
- la deuxième colonne comprend la catégorie d'origine du déchet précisant le secteur d'activité, le procédé ou les détenteurs dont il est issu.

Les catégories d'origine sont identifiées par un code à 6 chiffres comportant 2 chiffres suivis de 4 zéros. Parmi les 6 chiffres de ce code, les deux premiers sont ceux de la catégorie d'origine à laquelle appartient le regroupement intermédiaire considéré. par exemple :

06 00 00 DÉCHETS DES PROCÉDÉS DE LA CHIMIE MINÉRALE.

- à l'intérieur de ces catégories d'origine, existent des regroupements intermédiaires, également par origine ou par nature.

Les regroupements intermédiaires sont identifiés par un code à 6 chiffres comportant 4 chiffres suivis de 2 zéros, comme par exemple :

06 04 00 déchets contenant des métaux, ou 06 09 00 déchets provenant de la chimie du phosphore.

- à l'intérieur de ces regroupements intermédiaires, la désignation des déchets, comme par exemple ;
06 09 01 phosphogypse.

L'identification administrative des déchets se fera en France avec les 6 chiffres précédant sa désignation.

5.2.b. - Nomenclature des déchets de forages dirigés

Les boues générées par les chantiers de microtunnelage et les chantiers de forage dirigés peuvent correspondre à différentes désignations du CED. Le tableau I (en annexe) rassemble les codes utilisés par la législation pour les boues de forages et les déchets assimilés, avec D pour danger du déchet avec la précision DIS (déchet industriel spécial), DMA pour déchets ménagers et I pour déchets inertes.

La nomenclature qui s'applique aux déchets de forages dirigés ou de microtunnelage est la suivante :

01 00 00 DÉCHETS PROVENANT DE L'EXPLORATION ET DE L'EXPLOITATION DES MINES, DES CARRIÈRES ET DE LA PRÉPARATION ET DU TRAITEMENT ULTÉRIEUR DE MINÉRAIS.

01 01 00 déchets provenant de l'extraction des minéraux

01 01 01 déchets provenant de l'extraction des minéraux métalliques

01 01 02 déchets provenant de l'extraction des minéraux non métalliques

01 02 00 déchets provenant de la préparation des minéraux

01 02 01 déchets provenant de la préparation des minéraux métalliques

01 02 02 déchets provenant de la préparation des minéraux non métalliques

01 03 00 déchets provenant de la transformation physique et chimique ultérieure des minéraux métalliques

01 03 01 stériles

01 03 02 déchets de poussières et de poudres

01 03 03 boues rouges issues de la production d'alumine

01 03 99 déchets non spécifiés ailleurs

01 04 00 déchets provenant de la transformation ultérieure physique et chimique des minéraux non métalliques

01 04 01 déchets de graviers et débris de pierres

01 04 02 déchets de sable et d'argile

01 04 03 déchets sous forme de poussières et de poudres

01 04 04 déchets de la transformation de la potasse et des sels minéraux

01 04 05 déchets provenant du lavage et du nettoyage des minéraux

01 04 06 déchets provenant de la taille et du sciage des pierres

01 04 99 déchets non spécifiés ailleurs

01 05 00 boues de forage et autres déchets de forage

01 05 01 boues et autres déchets de forage contenant des hydrocarbures

01 05 02 boues et autres déchets de forage contenant des sels de baryum

01 05 03 boues et autres déchets de forage contenant des chlorures

01 05 04 boues et autres déchets de forage contenant de l'eau douce

01 05 99 déchets non spécifiés ailleurs

Un groupe de travail regroupant l'ADEME, la direction de l'habitat et de la construction et la fédération nationale du bâtiment a caractérisé les déchets inertes en septembre 1994. Parmi ces matériaux inertes, l'argile, sans autre précision, y est répertoriée.

5.2.c. - Obligations du producteur de déchets

Le producteur des déchets est tenu d'émettre un bordereau de suivi qui accompagne les déchets jusqu'à l'installation d'élimination, l'exploitant en renvoie un exemplaire au producteur, certifiant ainsi le traitement du déchet.

Ces bordereaux ont fait l'objet d'un enregistrement sous les numéros 070 320 et 070 321 par le Centre d'enregistrement des formulaires administratifs. Leur utilisation est obligatoire ; pour

obtenir ces bordereaux, s'adresser au CERFA, 64, rue de Varenne, 75007 Paris, tél. 01-42-75-79-15.

Les entreprises doivent désigner les déchets par le code à 6 chiffres de la nomenclature des déchets (" Avis, 11 nov. 1997, abrogeant la nomenclature publiée au JO du 16 mai 1985). Ce code est inscrit dans les cases C et A des bordereaux de suivi à titre transitoire (" Avis, 11 nov. 1997, note préliminaire point 6).

Les refus de prise en charge ou la non-réception en retour du bordereau de suivi dans un certain délai sont signalés par le producteur des déchets au service chargé du contrôle des installations classées. Par ailleurs ce service, ainsi que les services chargés de l'application du règlement pour le transport des matières dangereuses peuvent prescrire des prélèvements et analyses pour vérifier la conformité du chargement au bordereau de suivi.

Un arrêté du 19 septembre 1986 (Arr. 19 sept. 1986 : JO 6 nov. 1986), complétant l'article 12 A du règlement pour le transport des matières dangereuses, précise que le bordereau de suivi tient lieu de déclaration de chargement.

L'ensemble des prescriptions du règlement pour le transport des matières dangereuses (RTMD) qui concerne notamment l'étiquetage et l'emballage des conditionnements, l'équipement des véhicules de transport et leur signalisation, s'applique au transport des déchets selon les règles de classification des matières dangereuses contenues dans les déchets (par ex. : classe 3, inflammable ; 6, toxique et 8, corrosif). La possibilité de déroger à la signalisation du véhicule par le numéro d'identification de la matière des déchets transportés, en indiquant seulement la classe de danger et l'appellation " déchets ", a expiré le 31 mars 1997. La circulaire no 96-50 du 1er juillet 1996 rappelle les rubriques " n.s.a. " (non spécifiées par ailleurs) des différentes classes de danger à utiliser pour l'identification des déchets solides et liquides ne relevant pas d'une autre identification matière (RTMDR), (Arr. 5 déc. 1996 : JO 28 déc. 1996, mod. par Arr. 16 déc. 1997, JO 20 janv. 1998 et Arr. 27 févr. 1998, JO 2 avr. 1998) (" Circ. no 96-50, 1er juill. 1996). Pour obtenir des informations techniques sur la mise en œuvre du RTMD, on s'adressera à la direction régionale de l'équipement (services transport matières dangereuses) de la préfecture de région, ou bien au ministère chargé des transports. Pour des raisons fiscales relatives aux modalités de taxation et d'exonération de la taxe intérieure sur les produits pétroliers, les producteurs de résidus d'hydrocarbures établissent une déclaration fiscale d'accompagnement lors de la remise à un tiers pour valorisation ou destruction (formulaire CERFA no 10329 01) ; (" Arr. 26 nov. 1996 : JO 1 janv. 1997)

5.3. - Responsabilité civile et assurance - pollution

Des modalités de couverture des risques sont proposées par certaines assurances en matière de pollution des eaux, parmi lesquelles on citera :

- l'extension de garantie à partir de la police responsabilité civile « chef d'entreprise » qui couvre notamment les dommages d'origine accidentelle ;
- le contrat Assurpol (qui regroupe de nombreuses sociétés d'assurance) s'adresse aux industriels, à certains exploitants agricoles et aux collectivités locales et couvre les pollutions accidentelles et non accidentelles (mais dès lors qu'elles sont aléatoires et graduelles) et les frais de dépollution. Des limites de couvertures sont fixées.

Depuis janvier 1994, les garanties pollutions ont commencé à disparaître des contrats de responsabilité civile générale et leur montant s'est progressivement réduit à 5 millions, voire 1 million de francs selon le type d'activité. Cette évolution est arrivée à son terme au 1er janvier 1997 avec le retrait total des garanties « atteintes à l'environnement ». Seules demeurent des polices spécifiques étrangères à la responsabilité civile professionnelle dont les coûts sont généralement très élevés. Plusieurs réflexions sont à l'étude pour remédier à cette situation. La police d'assurance concernant la responsabilité professionnelle ne peut garantir que le dommage « soudain, fortuit et imprévu » à l'exclusion des dommages ayant leur origine dans le non-respect des autorisations administratives.

5.4. - Autorisation de rejet de fluide dans le réseau

Pour un rejet de boues ou d'effluents clarifiés dans le réseau d'assainissement, une autorisation est nécessaire.

« Tout déversement d'eaux usées autres que domestiques dans les égouts publics doit être préalablement autorisé par la collectivité à laquelle appartiennent les ouvrages qui seront empruntés par les eaux usées avant de rejoindre le milieu naturel (C. santé publ., art. L. 35-8), étant précisé que les rejets ne doivent pas contenir certaines substances (Arr. 22 déc. 1994, art. 23 : JO 10 févr. 1995) ».

5.5. - Définition des centres de stockage

5.5.a. - Stockage de déchets inertes : non dangereux

Les déchets admissibles dans les installations de classe 3 sont des déchets inertes.

Le stockage des déchets inertes est soumis à l'autorisation du maire (code de l'urbanisme) au-dessus d'un certain seuil volume supérieur à 200 m³).

5.5.b. - Stockage de déchets ménagers : OM

La circulaire du 21 octobre 1981 et l'arrêté du 7 septembre 1999 indiquent les déchets admissibles sur un centre de stockage contrôlé de résidus urbains. Le critère d'admission pour les boues de forage est une siccité d'au moins 30%.

Les déchets admissibles dans les centres de stockage de déchets ménagers et assimilés sont répartis en deux catégories D et E, en fonction de leur comportement prévisible.

La catégorie E est composée de déchets avec un comportement peu évolutif en cas de stockage, une capacité de dégradation biologique faible et présentant un caractère polluant faible.

La catégorie D est destinée aux déchets dont le comportement en cas de stockage est très évolutif et entraîne la formation de lixiviats chargés et de biogaz, par dégradation biologique. Ces déchets ne sont pas généralement considérés comme ultimes, puisqu'ils peuvent être encore réduits.

5.5.c. - Stockage de déchets industriels spéciaux : DIS

Les déchets admissibles dans les installations de stockage visées dans l'arrêté du 18 février 1994 sont les déchets industriels spéciaux ultimes. Ces déchets ne sont plus susceptibles d'être traités dans les conditions économiques et techniques du moment. Pour être admis en centre de stockage, ces déchets doivent être stabilisés. Ces déchets sont essentiellement solides, minéraux, avec un potentiel polluant constitué de métaux lourds peu mobilisables.

Pour être acceptés en stockage de DIS, certains critères d'admission sont imposés (Critère de pré-sélection, Test de potentiel polluant).

6.- PRESENTATION DES FILIERES D'ELIMINATION DES RESIDUS DE FORAGE

Selon la législation des déchets, les boues de forage et autres déchets assimilés aux boues de forage devront être classés par rapport à l'origine des fluides de forages utilisés et aux caractéristiques des sols traversés (teneur en hydrocarbures, en métaux lourds et en matières organiques).

Le critère de sols est ici fondamental, car un déchet inerte mélangé à un déchet dangereux devient dangereux.

Malgré leur caractère essentiellement inerte, si le site excavé est identifié non pollué, les fluides de forage ne peuvent pas être éliminés dans le milieu naturel car leur abandon provoque la dégradation de site, des pollutions de cours d'eau par apport important de charges solides, qui peuvent conduire à des effets nocifs sur le sol, la flore et la faune.

Plusieurs solutions ou destinations des rejets de boues usées, contenant des matières du sol, sont envisageables :

- Evacuation sans traitement préalable : en station d'épuration (STEP) ou en décharge
- Traitement sur site avec développement d'un outil épuratoire sur chaque installation
- Recours à un système de collecte interne à l'entreprise ou sous traité à un centre spécialisé de traitement.

Les deux dernières solutions utilisent les mêmes techniques de traitement (séparation granulométrique et séparation liquide/solide). Elles sont choisies en fonction d'un critère de localisation du chantier ; urbain ou isolé, et d'un critère de quantité de boues produites lors des travaux d'excavation.

6.1. - Evacuation sans traitement

Un rejet direct dans le réseau urbain vers la station d'épuration de la commune concernée est envisageable, si les quantités sont faibles. Les réseaux d'égouts font partie des équipements sanitaires des collectivités. Ils évacuent vers les stations d'épuration divers effluents urbains émis par les individuels, certaines activités commerciales ou artisanales et industrielles. L'arrivée de telles boues peut perturber la chaîne complexe d'élimination de la pollution.

Cette solution se traite au cas par cas avec la mairie ou le responsable de la STEP, mais après plusieurs concertations et vue la composition des boues (trop de matières minérales, pas de matière organique et quelques métaux), cette solution nous a été déconseillée par les exploitants car ces rejets

pourraient engendrer des risques pour le bon déroulement de leur station.

Une mise en décharge directe sans traitement est quelquefois employée, toutefois cette solution est loin d'être satisfaisante.

6.2. - Filières avec traitements

Les installations doivent procéder soit à un traitement sur site (unité de séparation liquide - solide) ou soit à un envoi vers un centre de stockage provisoire où les boues seraient collectées de différents forages et ensuite envoyées vers un centre de traitement adapté pour gérer des volumes importants (ce procédé est surtout rentable en zone urbaine).

De plus, si l'entreprise décide de développer son propre outil épuratoire, il faut alors identifier si le chantier appartient ou non à la nomenclature des installations classées. S'il est classé, il doit alors être soumis soit à déclaration, soit à autorisation et être conforme à l'arrêté du 2 février 1998. En revanche, s'il ne l'est pas, il est alors soumis au décret du 29 mars 1993 sur la loi de l'eau.

6.2.a. - Les parties solides grossière et fine de la boue

Actuellement, les foreurs négocient les conditions de stockage des solides. La mise en décharge reste la plus valable et la plus couramment utilisée.

Une condition nécessaire sur le dépôt des boues, en décharge est qu'elles aient une siccité d'au moins 30 %. Suivant sa nature, le déchet pourra être admis en décharge de classe 1, 2 ou 3.

Classe 3 - en règle générale

Les déchets relevant de cette classe sont produits par les opérations de microtunnelage et de forage dirigé, issus de chantiers réalisés dans des sols non pollués, identifiés ou vérifiés, en utilisant un fluide de forage : eau - mélange eau/bentonite, sans ajout d'additifs en grande quantité.

Classe 2 - occasionnellement

Concernant les boues de forage, cette catégorie comprend les boues largement adjuvantées de polymères. L'évaluation théorique de la DCO d'une suspension de 0.1% de CMC (1 g/l) donne une valeur de 740 mg/l.

Ces boues seraient assimilées à des déchets fermentescibles et fortement évolutifs de l'industrie. Cet aspect est à approfondir.

Classe 1 - exceptionnellement

Les boues de forage relevant de cette classe comportent :

- boues de forage avec une teneur en hydrocarbure de plus de 1%
- résidus de forages résultant de l'emploi de fluides de forage à base d'hydrocarbures
- résidus de traitement de sols pollués

Certains sols pollués peuvent être classés inertes, si les résultats du test de potentiel polluant qui comprend trois lixiviations successives selon la norme NF X 31-210 ne démontre aucun relargage de polluant dans le lixiviat.

6.2.b. - Les effluents ou eaux clarifiées

Ces eaux peuvent être rejetées soit directement dans le milieu naturel si les normes de rejet et le milieu récepteur le permettent, soit dans le réseau urbain vers la STEP (à condition que les normes soient respectées) ou soit être encore considérées comme un lixiviat et leur faire respecter la norme en vigueur (cf annexe 5.6).

Le stockage en réservoirs ou en fosses doit être conforme aux prescriptions en vigueur. Il en est de même pour les dispositifs de transvasements et de transports vers les centres de traitement.

Il est à rappeler qu'en cas de prélèvement d'eau pour préparer ses fluides de forage (soit dans une nappe, soit dans un cours d'eau), l'entreprise doit limiter sa consommation d'eau et équiper ses installations de prélèvements de dispositifs de mesures.

7. - PERSPECTIVES DE VALORISATION

Une valorisation n'est envisageable :

- que pour les déchets générés lors des travaux d'excavation réalisés avec des boues minérales contenant peu d'additifs, dans des sols n'ayant pas ou peu de potentiel polluant
- que si l'opération est économiquement rentable et techniquement possible

Si ces conditions sont réunies, les déblais ou boues de forages peuvent être valorisés :

- sur le lieu même de leur production
- après transfert vers une plate-forme équipée pour regrouper et traiter l'ensemble d'une production à l'échelle d'une agglomération.

7.1. - Valorisation sur le lieu de production

Un exemple récent (1997) de valorisation est celui réalisé à l'occasion de l'opération de dépollution du site d'Amponville (77), nécessitant une excavation de 25 m de profondeur dans les sables et grès de Fontainebleau (A. FAURE 1999). La solution de soutènement proposée et exécutée par Spie Fondations a consisté à réaliser sous tente de 600m² dépressurisée, une paroi moulée circulaire de 21 m de diamètre, dont l'originalité tient au fait que son matériau constitutif est un mortier fabriqué in situ en utilisant les déblais de forage, la boue bentonitique et du ciment. Les dispositions prises (criblage, malaxage, ajustement du rapport C/E) ont permis de maîtriser la formulation, donc les caractéristiques du mortier, comme l'ont attesté les contrôles de déformation de la paroi, réalisés lors des terrassements jusqu'à 25 m de profondeur. Cet exemple, où 1600 m³ de mortier, furent mis en œuvre, montre qu'il existe des solutions techniquement et économiquement satisfaisantes où des déblais de forages peuvent être valorisés sur place ou à proximité du lieu de production après traitements adaptés à un réemploi spécifique.

7.2. - Valorisation après passage dans une unité de regroupement et de traitement

Bien que séduisante la solution de valorisation sur le lieu même de production sera rarement possible.

Par analogie aux plates-formes existantes, destinées au recyclage ou à la valorisation des matériaux inertes et déblais issus de l'activité du BTP, nous pouvons sans doute envisager la création d'une plate-forme destinée aux déblais et boues de forages.

Une contrainte de valorisation de ces produits est en effet liée à la quantité et à l'homogénéité du matériau. Le mélange de déblais et boues de forages de provenances différentes, mais de natures comparables devrait permettre d'obtenir les quantités nécessaires rendant aussi possible leur valorisation après traitements adaptés.

Pour que cette unité de valorisation soit économiquement viable, il est nécessaire qu'elle soit située dans une zone géographique où la ressource en déblais et boues de forages est présente et où il existe une potentialité de réemploi de ces matériaux traités devenus des matériaux « locaux ».

Cette plate-forme pourrait de plus recevoir certains sous-produits industriels à faible teneur en eau (laitier de haut fourneau, cendres volantes par exemple) qui pourraient être utilement mélangés aux déblais et boues de forages.

Quelques voies de valorisation possibles dans le domaine du génie civil, peuvent être envisagées :

- mortier prêt à l'emploi,
- matériaux propres à être utilisés dans une structure de chaussée,
- correction granulométrique des sols. En particulier, les boues contenant de la bentonite devraient permettre d'étancher certains sols si cette fonction est recherchée.
- Utilisation des ultrafines dans le béton.

La réalisation d'une telle plate-forme suppose que les points suivants soient examinés :

- La mise au point d'une procédure d'acceptation des matériaux à leur arrivée sur le site.
- Quelles méthodes d'échantillonnage et d'identification ? Quel risque d'erreur peut-on admettre dans la détermination des caractéristiques ? Ce sujet est particulièrement important, puisqu'il est le passage obligé pour la qualification de la boue réceptionnée en vue d'une valorisation ultérieure.
- Une bonne connaissance de la variation de la production (en volume et nature).
- La mise au point d'une filière de traitements et contrôles apportant toutes les garanties aux entreprises et aux maîtres d'ouvrage du point de vue de la qualité et de la durabilité des matériaux.

8. - CONCLUSIONS

En règle générale les fluides de forage sont inertes, car constitués essentiellement de terres excavées et de bentonite, sauf en cas de sols pollués. Toutefois, ils ne peuvent être rejetés en l'état dans le milieu, sans traitement préalable.

Le "critère site" est celui qui détermine le plus le caractère polluant et dangereux des déchets générés par les chantiers de forage dirigé.

Si le site est considéré pollué, les installations de traitement suivent une procédure administrative relative aux installations classées.

Les entreprises sont juridiquement responsables comme producteur et détenteur des boues de forage qui sont considérées comme un déchet. Ils doivent donc se soumettre à la réglementation en vigueur qui définit les obligations du producteur en terme de traçabilité et d'élimination.

La conception d'une filière de traitement nécessite la bonne connaissance des caractéristiques physico-chimiques, rhéologiques et environnementales de ces fluides de forage. Elle doit intégrer les caractéristiques des constituants de base :

- Poudre (argile, polymères, produits d'activation)
- Eaux de constitution (minéralisation, pH, eH)
- Nature de l'encaissant (identification des sols excavés et des aquifères).

La biodégradabilité, la stabilité dans le sol, l'écotoxicité des polymères est une notion à préciser, car certainement plus complexe qu'elle ne le laisse sous-entendre.

Les installations de traitement nécessaires représentent un investissement non négligeable, le coût généré doit être intégré dans le coût de construction de l'ouvrage. Ainsi les Maîtres d'Ouvrages doivent accepter d'en payer le coût.

Les résultats préliminaires obtenus avec un protocole donné, lors de l'analyse de trois échantillons, indiquent très nettement que les boues dites de retour décantent beaucoup mieux que les boues aller. Ces résultats généraux doivent être nécessairement complétés en dehors de ce document.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] A. PANTET, P. MONNET & D. RIGHI
Le cycle de la bentonite au cours du creusement des galeries.
Compte rendu des Journées d'Etudes Internationales de
l'A.F.T.E.S. 1996, pp 509-519.
- [2] S. CAILLERE, S. HENIN et M. RAUTUREAU
Minéralogie des argiles, tomes 1 et 2
Edition Masson (1982)
- [3] H. CHAMAYOU, J-P. LEGROS
Les bases physiques, chimiques, et minéralogiques de la science
du sol.
Editions Techniques Vivantes (1989)
- [4] P. COUSSOT & J-M. PIAU
Techniques de rhéométrie en cisaillement simple dans le cas de
dispersions et suspensions concentrées. Les Cahiers de Rhéologie,
vol XII, n°1, Novembre 1993
- [5] N. MIDOUX
Mécanique et Rhéologie des fluides en génie chimique
Edition Lavoisier TEC DOC (1993)
- [6] D. BECLE
Transport hydraulique d'un terrain alluvionnaire dans une boue de
bentonite.
Thèse de docteur de l'Institut National polytechnique de Toulouse,
1992.
- [7] A. BESQ, E. REICH, P. MONNET, A. PANTET, R.
BOUARD
Etude des conditions d'écoulement de boues bentonitiques en
conduites cylindriques circulaires. Les Cahiers de Rhéologie, Vol
XV, n°1, pp195-200, Octobre 1996.
- [8] R. PERRIN, J.P. SCHARFF
Chimie industrielle
Edition Masson (1997)
- [9] C. GARCIA & P. PARIGOT
Boues de forages.
Edition Technip.(1976)
- [10] R. CAENN, G.V. CHILLINGAR
Drilling fluids: state of the art. Journal of Petroleum Science and
Engineering, September (1996).
- [11] C. LUCION
Traitement et valorisation des fines et ultrafines. Les techniques
de l'industrie minérale, n°2, 1999, p8-36
- [12] . NOBLE et al
Traiter et valoriser les boues
Collection OTV, 1997, 457 p
- [13] P. COCONNIER
Optimiser le traitement des boues des stations d'épuration en
fonction de leur destination. L'eau, l'Industrie et les Nuisances,
(1994), n°178
- [14] V. PICANDET
Caractérisation physico-chimique et rhéologique des boues
bentonitiques
Rapport de D.E.A. Génie Civil (1997)
- [15] CD permanent, Environnement et Nuisances.
Editions législatives, juillet 99
Site internet ; www.edition-legislatives.fr
- [16] Lamy Environnement
Les déchets
Lamy S.A. - janvier 1998

Annexes :

ANNEXE 1

CODE	D	DMA	I	Désignation
01 05 00				Boues de forage et autres déchets de forage
01 05 01				Boues de forage et autres déchets de forage contenant des hydrocarbures
01 05 01 01	*DIS			Boues de forage et autres déchets de forage contenant des hydrocarbures à plus de 1%
01 05 01 02		*		Boues de forage et autres déchets de forage contenant des hydrocarbures à moins de 1%
01 05 02		*		Boues de forage et autres déchets de forage contenant des sels de baryum
01 05 03		*		Boues de forage et autres déchets de forage contenant des chlorures
01 05 04			*	Boues de forage et autres déchets de forage contenant de l'eau douce
01 05 99		*		Déchets non spécifiés ailleurs

Tableau I : code et désignation des boues de forage

ANNEXE 2 :

Règlement du conseil no 793/93/CEE du 23 mars 1993 concernant l'évaluation et le contrôle des risques présentés par les substances existantes

(JOCE no L 84 du 5 avril 1993 et rect. JOCE no L 224 du 3 septembre 1993)

Annexe III

Informations visées à l'article 3

I - Informations générales

- 1.1. Nom de la substance
- 1.2. Numéro EINECS
- 1.3. Numéro CAS
- 1.4. Synonymes
- 1.5. Pureté
- 1.6. Impuretés
- 1.7. Formule moléculaire
- 1.8. Formule structurale
- 1.9. Type de substance
- 1.10. Etat physique
- 1.11. Indiquez qui communique la fiche de données
- 1.12. Quantité produite ou importée supérieure à 1 000 tonnes par an
- 1.13. Indiquez si la substance a été produite au cours des douze derniers mois
- 1.14. Indiquez si la substance a été importée au cours des douze derniers mois
- 1.15. Classification et étiquetage
- 1.16. Type d'utilisation

1.17. Indiquez si la fiche de données complète a déjà été communiquée par un autre fabricant ou importateur

1.18. Précisez si vous agissez au nom d'un autre fabricant ou importateur concerné

1.19. Autres observations (par exemple options en matière d'élimination)

2 - Données physico-chimiques

- 2.1. Point de fusion
- 2.2. Point d'ébullition
- 2.3. Densité
- 2.4. Pression de vapeur
- 2.5. Coefficient de partage (log₁₀POW)
- 2.6. Hydrosolubilité
- 2.7. Point d'éclair
- 2.8. Auto-inflammabilité
- 2.9. Inflammabilité
- 2.10. Propriétés explosives
- 2.11. Propriétés oxydantes
- 2.12. Autres propriétés et observations

3 - Cheminement et devenir dans l'environnement

- 3.1. Stabilité
 - 3.1.1. Photodégradation
 - 3.1.2. Stabilité dans l'eau
 - 3.1.3. Stabilité dans le sol
- 3.2. Informations sur le contrôle de l'environnement
- 3.3. Cheminement et répartition entre les compartiments environnementaux, y compris les concentrations estimées dans l'environnement et les voies de diffusion
 - 3.3.1. Cheminement
 - 3.3.2. Répartition entre les compartiments environnementaux
- 3.4. Biodégradation
- 3.5. Bio-accumulation

3.6. Autres observations

4 - Écotoxicité

- 4.1. Toxicité pour le poisson
- 4.2. Toxicité pour la daphnie et les autres invertébrés aquatiques
- 4.3. Toxicité pour les algues
- 4.4. Toxicité pour les bactéries
- 4.5. Toxicité pour les organismes terrestres
- 4.6. Toxicité pour les organismes vivant dans le sol
- 4.7. Autres observations

5 - Toxicité

- 5.1. Toxicité aiguë
 - 5.1.1. Toxicité aiguë par voie orale
 - 5.1.2. Toxicité aiguë par inhalation
 - 5.1.3. Toxicité aiguë par pénétration cutanée

- 5.1.4. Toxicité aiguë (autres voies)
- 5.2. Corrosion et irritation
 - 5.2.1. Irritation de la peau
 - 5.2.2. Irritation des yeux
- 5.3. Sensibilisation
- 5.4. Toxicité à doses répétées
- 5.5. Toxicité génétique in vitro
- 5.6. Toxicité génétique in vivo
- 5.7. Carcinogénicité
- 5.8. Toxicité pour la reproduction
- 5.9. Autres informations utiles
- 5.10. Expérience de l'exposition humaine

ANNEXE 3**Recherche et mise au point des filières de traitements**

Ces résultats sont relatifs à des produits et des sites bien particuliers, aussi ils ne sont pas généralisables à tous les produits existants sur le marché.

Les boues de forage à base de bentonite étant des suspensions essentiellement colloïdales, elles décantent difficilement naturellement, il est nécessaire de changer les conditions physico-chimiques pour améliorer leur décantation.

Il a été examiné dans cette première démarche, si la décantation de ces boues pouvait être améliorée par un simple ajout de solutions favorisant la coagulation. Un couplage avec la centrifugation a ensuite été mis en œuvre.

1 ESSAIS PRELIMINAIRES SUR DES SUSPENSIONS FABRIQUEES EN LABORATOIRE :**1.1. - Ajout de réactifs de coagulation:**

La poudre minérale utilisée est une smectite, de type Wyoming.

Différentes expériences ont été faites sur des échantillons de suspensions bentonitiques à 20 g/l en ajoutant des doses dans une large gamme de concentration de chlorure de calcium (CaCl_2), de chlorure ferrique (FeCl_3) et d'acide chlorhydrique (HCl). L'ajout de CaCl_2 entraîne une augmentation de la force ionique, donc de la coagulation, le FeCl_3 est un coagulant bon marché, et le HCl agit sur la structure de la bentonite hydratée. Ces doses sont

ajoutées sous agitation rapide puis laissées au repos pendant une journée. Sur des durées de 0 à 24 heures, les différents échantillons sont comparés avec de la bentonite pure ayant décantée dans les mêmes conditions.

Cette série d'expériences a montré que le traitement des boues de forage et plus particulièrement la décantation de ces boues ne pouvait être envisagée uniquement par l'ajout d'une solution favorisant la coagulation.

1.2. - Essai en centrifugation

Dans une deuxième série d'expériences, il a été choisi de combiner les traitements précédents avec l'utilisation d'une centrifugeuse.

L'échantillon est acidifié avant d'être centrifugé. Chaque passage à la centrifugeuse au cours de toutes ces expériences s'est fait durant 5 minutes à 200 tours/minute.

Afin de déterminer le pH optimum qui permet de récupérer le surnageant le plus clair, neuf échantillons sont acidifiés à l'aide d'acide chlorhydrique : les échantillons de bentonite ont un pH de 5,1 à 10,3. Ils sont ensuite passés à la centrifugeuse, où le surnageant est récupéré et la turbidité mesurée.

La turbidité initiale de la bentonite est de 8000 NTU (à 500 NTU près). Ce traitement a une réelle influence sur la décantabilité de la bentonite, avec un pH optimal entre 6,3 et 6,8 où la turbidité mesurée est d'environ 700 NTU. Ainsi dans toute la suite de nos expérimentations, nous considérerons que le pH optimal se situe à environ 6,5.

Ce premier traitement permet donc de réduire considérablement la turbidité de la bentonite.

1.3. - couplage coagulation/centrifugation

Cependant la bentonite est encore très trouble et le traitement peut être amélioré en ajoutant sur le surnageant récupéré du chlorure ferrique. Afin de déterminer les doses optimales de $FeCl_3$, un jar-test est effectué en ajoutant différentes doses de $FeCl_3$. Puis la solution de bentonite est centrifugée au pH optimal de 6,5.

Les résultats montrent que les doses de chlorure ferrique ont une influence importante sur la décantabilité de la bentonite; cependant au-delà de 350-400 mg/l le $FeCl_3$ n'a plus qu'une influence négligeable. La dose de $FeCl_3$ optimale est de 400 mg/l. Afin de voir si cette filière de traitement a aussi une influence sur les boues récupérées, la quantité de matière sèche est mesurée, afin de calculer la siccité des boues en fonction des doses de chlorure ferrique ajoutées. Plus la dose de chlorure ferrique ajoutée est importante, plus la siccité est grande.

Des essais similaires ont été effectués en remplaçant l'acide chlorhydrique par du chlorure de calcium en début de traitement. Des doses croissantes de $CaCl_2$ ont été ajoutées dans la suspension bentonitique à 20 g/l. Après centrifugation, la turbidité du surnageant récupéré, est mesurée. Les résultats obtenus montrent que le traitement au chlorure de calcium a bien un effet. Cependant celui-ci est moindre par rapport à celui obtenu avec l'acide chlorhydrique. Dans la suite de ce projet, nous avons donc considéré que le traitement par acidification était plus adapté que le traitement par le $CaCl_2$. C'est donc la filière acidification, centrifugation, ajout de $FeCl_3$ + remise au pH optimal, centrifugation qui nous paraît envisageable pour le traitement de boues de forage.

2. - APPLICATION DU TRAITEMENT TYPE A DES BOUES DE CHANTIER

Ce traitement type a été appliqué à des boues utilisées sur différents chantiers. Trois types de boues prélevées sur chantier ont donc été testés. Pour chacune de ces trois boues, les expériences ont été réalisées sur des boues dites aller (bentonite propre + polymère) et sur des boues retour (boues récupérées en fin de forage, chargées en MES, dont la composition dépend du terrain traversé). Pour chacune des boues l'étude se fait avec un volume initial de 250 ml.

2.1. - Les boues du chantier numéro 1

La poudre utilisée est du type CETCO.

Les boues de chantier utilisées étaient stockées depuis quelques mois au laboratoire.

Boues de chantier numéro 1		
	Aller	Retour
pH	9.6	9.5
MES (g/l)	40	60

La première étape consiste donc à acidifier les boues et à descendre le pH à pH = 6,5. Après la première acidification, il est constaté que les boues retour ont bien décanté. Une démarcation assez nette peut être observée entre le gâteau et le surnageant.

	Surnageant		Gâteau	
	Aller	Retour	Aller	Retour
Volume récupéré (ml)	10	100	240	150
Turbidité (NTU)	48.5	27		
Siccité %			5.6	10.4

Compte tenu des résultats rassemblés dans le tableau ci-dessus, un deuxième traitement ne semble pas nécessaire sur ces boues retour. En revanche, les boues aller n'ont pas bien décanté et un traitement à base de $FeCl_3$ doit être envisagé. Un ajout de chlorure ferrique (410 mg/l), puis une acidification à pH=6,3 et finalement une centrifugation permettent d'obtenir les résultats consignés dans le tableau suivant :

Boues aller	
volume de boue initial (ml)	250
Dose de $FeCl_3$ (mg/l)	410
Volume de surnageant (ml)	58
Turbidité du surnageant (NTU)	70.5
Siccité (%)	7.3

Même après ce traitement, les caractéristiques du surnageant et de la boue ne sont pas aussi bonnes que pour les boues retour.

2.2. - Les boues de chantier numéro 2

La poudre utilisée pour les boues est du type SFBBD OCMA THR.

Les caractéristiques de ces boues sont données dans le tableau suivant :

Boues de chantier numéro 2		
	Aller	Retour
pH	9.6	8.5
MES (g/l)	30	230

Le pH des boues a été amené à pH=6,3. Une fois cette acidification faite les boues ont été

centrifugées. Les résultats présentés ci-dessous indiquent une séparation très nette entre le surnageant et le gâteau. Il apparaît de plus que la partie surnageante des boues de retour est plus claire que celles boues aller et que le gâteau des boues retour est moins humide que celui des boues propres.

	Surnageant		Gâteau	
	Aller	Retour	Aller	Retour
Volume récupéré (ml)	150	160	100	90
Turbidité (NTU)	29	4.5		
Siccité %			6	37

Un deuxième traitement par le chlorure ferrique ne s'impose pas, tout au moins pour les boues retour. L'utilisation du $FeCl_3$ ne s'est donc pas révélée nécessaire sur ces boues.

2,3. - Les boues de chantier numéro 3

La poudre utilisée est du type Bentonil THR 150. Les caractéristiques sont rassemblées dans le tableau suivant :

Boues numéro 3		
	Aller	Retour
pH	9.9	9.5
MES (g/l)	35	98.5

La première étape du traitement a donc été d'acidifier, puis les boues sont centrifugées. Là encore, la décantation ne s'est pas faite de la même manière pour les boues aller et pour les boues retour. La décantation est très bonne pour les boues retour. En revanche, pour les boues aller, les résultats n'ont pas été aussi probants. Aucune décantation particulière n'est notée. Le traitement avec 410 mg/l de $FeCl_3$ s'impose donc et le pH est abaissé à 6,3. Après centrifugation, dans les mêmes conditions que précédemment, on récupère une partie surnageante et un gâteau, dont les résultats sont présentés ci-dessous :

	Surnageant		Gâteau	
	Aller	Retour	Aller	Retour
Volume récupéré (ml)	100	170	150	80
Turbidité (NTU)	770	10		
Siccité %			4	32

Malgré le deuxième traitement sur les boues aller, ces dernières sont très difficiles à faire décanter. En effet, après ce deuxième traitement la turbidité est encore de 770 NTU et la siccité de boues reste très faible.

3. - RESULTATS

Grâce aux résultats obtenus lors de ces trois séries de mesure on constate très nettement que les boues dites de retour décantent beaucoup mieux que les boues aller. En effet, lors des trois manipulations un second traitement a été nécessaire pour les boues aller alors qu'une simple acidification suivie d'une centrifugation suffisait à faire décanter les boues aller. Plusieurs hypothèses peuvent être émises pour expliquer ces résultats :

Les Matières En Suspension entraînées par les boues aident à la décantation. Les sols traversés, de par leur composition enrichissent les boues en ions, augmentant ainsi la force ionique.

Vu que nous nous intéressons uniquement au devenir des boues utilisées, il semble qu'une simple acidification et une centrifugation permettent d'atteindre des siccités très intéressantes.