

Université Libre de Bruxelles

Institut de Gestion de l'Environnement et d'Aménagement du Territoire

Diplôme d'Etudes Spécialisées en Gestion de l'Environnement

**ETUDE DE PHYTOTOXICITE
DES BOUES DE DRAGAGE**

Travail de Fin d'Etudes présenté par

Laurence de CLOCK

En vue de l'obtention du grade académique de
Diplômée d'Etudes Spécialisées en Gestion de l'Environnement

Année Académique : 2002-2003

Directeur : Prof. **Bernard Godden**

Codirecteur : Prof. **Jean-Paul Delhaye**

REMERCIEMENTS

Je remercie tout d'abord M. GODDEN qui a accepté de promouvoir ce mémoire à l'Institut de Gestion de l'Environnement et d'Aménagement du Territoire.

Mes remerciements vont ensuite à M. DELHAYE, co-promoteur, pour ses conseils tout au long de ce travail et son accueil au sein du Laboratoire d'Agrotechnologies Végétales où a été effectué le travail expérimental.

Je remercie encore :

- M. LIBERT, attaché au M.E.T. pour la documentation et les renseignements sur les différents sites de dépôt de boue de dragage,
- M. FALLY, ingénieur industriel du District du Canal du Centre qui m'a ouvert l'accès au site de dépôt d'Obourg-Maisière,
- Le Bureau Environnement et Analyses de Gembloux pour l'analyse des échantillons de boues,
- Mounir LEGSSYER, docteur en biologie, José M. CRUCQ, technicien du laboratoire, et Nicolas KRAFFT, mémorant en agronomie, pour leur disponibilité, leur aide et leurs conseils.

Ma reconnaissance s'adresse enfin à ma famille pour sa compréhension.

TABLE DES MATIERES

RESUME	5
LISTE DES ABREVIATIONS	7
INTRODUCTION	9
1. Le réseau hydraulique wallon	9
2. Le redéploiement du transport fluvial marchand	11
3. Des travaux de dragage indispensables	12
4. Le centre de regroupement	14
5. Les difficultés liées aux centres de regroupement et aux centres d'enfouissement technique	16
6. Le dragage en chiffres	17
7. Améliorations prévues	17
8. Les méthodes de valorisation	18
8.1. Les produits de classe A	18
8.2. Les produits de classe B	19
9. La phytoremédiation	19
9.1. La phytoextraction	19
9.2. Le phytomining	20
9.3. La phytostabilisation	20
9.4. La phytovolatilisation	20
9.5. La revégétalisation	20
9.6. La rhizofiltration	20
10. La biodisponibilité	21
11. Les métaux lourds	23
11.1. Le cadmium	24
11.2. Le chrome	25
11.3. Le cuivre	25
11.4. Le nickel	26

11.5. Le plomb	26
11.6. Le zinc	27
OBJECTIFS	29
MATERIELS ET METHODES	31
1. Les boues	31
1.1. Terrain d'Obourg	31
1.2. Terrain du Vraimont	34
1.3. Terrain de Grandchamps	34
2. Choix du matériel végétal	36
3. Mise en place de l'essai	37
3.1. Le dispositif expérimental	37
3.2. La solution nutritive	38
3.3. Les boues	39
3.4. Suivi quotidien	39
3.5. Récolte	39
4. Analyses	39
4.1. Préparation des plantes	39
4.2. Préparation des substrats liquides	40
5. Traitement des résultats	41
RESULTATS ET DISCUSSIONS	43
1. Remarques préalables sur le suivi de l'expérience	43
1.1. Survie des plantes	43
1.2. Mise à niveau des substrats	43
1.3. pH	43
2. Analyses des boues	46
2.1. Les boues de classe A	46
2.2. Les boues de classe B	47
3. Aspects morphologiques	48
3.1. Essai n°1	48
3.2. Essai n°2	48

3.3. Essai n°3	48
4. Production végétale	52
4.1. Essai n°1	52
4.1.1. Le poids frais	53
4.1.2. Le poids sec	54
4.1.3. Le pourcentage de matière sèche	55
4.2. Essai n°2	56
4.2.1. Le poids frais	57
4.2.2. Le poids sec	57
4.2.3. Le pourcentage de matière sèche	58
4.3. Essai n°3	58
4.3.1. Le poids frais	59
4.3.2. Le poids sec	60
4.3.3. Le pourcentage de matière sèche	61
4.4. Somme des biomasses produites par les trois essais successifs	62
4.4.1. Le poids frais	63
4.4.2. Le poids sec	65
4.4.3. Le pourcentage pondéré de matière sèche	66
5. Analyses des substrats liquides après culture	68
6. Analyses du matériel végétal	70
7. Les coefficients de transfert total et de solubilisation à l'eau	71
CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES	77
BIBLIOGRAPHIE	81
ANNEXES	87

RESUME

La Région Wallonne est dotée de nombreuses voies d'eau navigables qui s'intègrent remarquablement dans le réseau européen. Ces voies nécessitent un entretien régulier afin de pouvoir maintenir la circulation des bateaux de transport de marchandises et d'assurer leur rôle de régulation des crues.

Exutoire de nombreux polluants (agricole, industriel et ménager), la voie d'eau peut les accumuler notamment dans les sédiments qui nécessitent une attention et une gestion constante. Les modalités législatives de ces dernières années en matière d'enlèvement des boues ont entraîné un retard dans les campagnes de dragage, tandis que celles-ci continuaient à s'accumuler dans les fleuves et canaux. Leur gestion est devenue ainsi un enjeu de taille.

Les boues sont classées en deux catégories selon leur degré de contamination : **A**, non polluée et **B**, polluée. La première étape du traitement des boues passe par un processus de déshydratation en centre de regroupement, mais les volumes impliqués restent encore considérables. C'est pourquoi le développement de filières de valorisation est crucial. L'épandage sur les sols agricoles est alors une des solutions envisagées, mais qui nécessite une évaluation des risques de contamination du milieu.

L'une des pollutions majeures au sein des boues est celle par les éléments traces métalliques. Susceptibles de les accumuler en les puisant avec les éléments nutritifs dans le sol, la plante est soumise à leur effet toxique, mais elle est aussi à la base des phénomènes de bioaccumulation le long du réseau trophique.

Notre expérience porte donc sur l'influence des E.T.M. sur une plante accumulatrice (le chou fourrager) au niveau de sa productivité. Leur biodisponibilité est également étudiée grâce à l'analyse chimique du végétal et du substrat de culture.

Plusieurs boues appartenant aux deux classes citées précédemment sont étudiées pour tenter de déterminer si leur composition influence les teneurs observées dans le matériel végétal.

Un système hydroponique permet de déterminer les transferts des E.T.M. des boues aux plantes en passant par un substrat liquide, jouant le rôle de la solution du sol. La solubilité des métaux étant très dépendante du pH, nous avons choisi de considérer des conditions acide (pH 5,5) et basique (pH 7,5).

Les résultats montrent que la composition des boues ne reflète pas les teneurs détectées dans le matériel végétal et que paradoxalement, ce sont les conditions basiques qui, dans nos conditions expérimentales s'avèrent les plus phytotoxiques pour la boue la plus polluée.

LISTE DES ABREVIATIONS

Par ordre alphabétique :

AGW	Arrêté du Gouvernement Wallon
B.E.A.Gx.	Bureau Environnement et Analyses de Gembloux
C.E.C.	Capacité d'Echange Cationique
C.E.T.	Centre d'Enfouissement Technique
C.E.M.T.	Conférence Européenne des Ministres des Transports
C.E.S.R.W.	Conseil Economique et Social de la Région Wallonne
C.R.	Centre de Regroupement
CS _{eau}	Coefficient de Solubilisation à l'eau
CT	Coefficient de Transfert total
CWATUP	Code Wallon de l'Aménagement du Territoire, de l'Urbanisme et du Patrimoine
D.E.K.	Dortmund – Ems – Kanal
D.H.T.T.	Dose Hebdomadaire Temporaire Tolérable
E.T.M.	Élément Trace Métallique
ITB	Institut pour le Transport par Batellerie
M.E.T.	Ministère (wallon) de l'Équipement et des Transports
NIMBY	Not In My BackYard
PF	Poids Frais
PS	Poids Sec
R.H.K.	Rhein – Herne – Kanal
T.M.A.	Teneur Maximale Admissible
T.S.	Teneur de Sécurité
% M.O.	Pourcentage de Matière Organique
% M.S.	Pourcentage de Matière Sèche



Fig. 1 : Carte du réseau des voies navigables en Europe.

Source : La politique européenne des transports à l'horizon 2010 : l'heure des choix, 2001.

INTRODUCTION

1. Le réseau hydraulique wallon

La Wallonie bénéficie d'un réseau hydraulique qui la place dans une position centrale en Europe pour le transport par voie d'eau. A la jonction entre la France, l'Allemagne, les Pays-Bas et la Flandre, elle se positionne de manière remarquable entre ses voisins. Son réseau de 460 km (la Belgique en compte 1514) relie ainsi aisément les bassins industriels de Liège, Charleroi et du Nord de la France.

Le trafic annuel est d'environ 37 millions de tonnes transportées.

Actuellement, la Région wallonne est équipée de 365 km de voies atteignant au moins un gabarit de classe IV pour les bateaux de marchandises, c'est-à-dire « 1350 tonnes » (tableaux 1 et 2). D'intérêt international, cette classe est la base du « Réseau Transeuropéen des Transports » par voie navigable.

Classe CEMT	Type de bateau	Longueur (m)	Largeur (m)	Tirant d'eau (m)	Tirant d'air (m)	Tonnage (t)
I	Spits	38,50	5,05	1,80 - 2,20	3,70	250 - 400
II	Campinois	50 - 55	6,60	2,50	3,70 - 4,70	400 - 650
III	D.E.K	67 - 80	8,20	2,50	4,70	650 - 1000
IV	R.H.K	80 - 85	9,50	2,50	4,95 ou 6,70	1000 - 1500
Va	Grand-Rhénan	95 - 110	11,40	2,50 - 4,50	4,95 ou 6,70 ou 8,80	1500 - 3000
Vb	Convoi poussé	172 - 185	11,40	2,50 - 4,50	4,95 ou 6,70 ou 8,80	3200 - 6000
Vla	Convoi poussé	95 - 110	22,80	2,50 - 4,50	6,70 ou 8,80	3200 - 6000
Vlb	Convoi poussé	185 - 195	22,80	2,50 - 4,50	6,70 ou 8,80	6400 - 12000

Tab. 1 : Caractéristiques standardisées de chaque catégorie de bateau de transport de marchandises retenues par la Conférence Européenne des Ministres des Transports (C.E.M.T.). Source : Voies Hydrauliques, 1999.

Spits	<p>Plus petite classe de bateaux transportant des marchandises. Son port en lourd va de 280 à 360 tonnes selon les modèles. Le spits a été spécialement conçu pour les voies navigables françaises pourvues de petites écluses au gabarit Freycinet.</p> 
Campinois	<p>Bateau fluvial initialement construit pour naviguer sur les canaux de Campine du sud, des Pays-Bas et de la Belgique, son port en lourd varie entre 450 et 600 tonnes.</p> 
D.E.K. Dortmund-Ems-Kanal	<p>Bateau fluvial construit au départ pour naviguer sur les canaux du Nord de l'Allemagne. Son port en lourd est de 1000 tonnes.</p> 
R.H.K. Rhein-Herne-Kanal	<p>Bateau de navigation fluvial dont le port en lourd est de 1350 T. C'est aujourd'hui, le bateau le plus répandu en Europe. Il peut transporter l'équivalent de 70 camions.</p> 
Grand-Rhénan	<p>Bateau fluvial tirant son nom du Rhin, son port en lourd s'échelonne de 1500 à 3000 tonnes. La plupart des rhénans, par la dimension des cales, et grâce à leur cabine de pilotage télescopique, peuvent aussi transporter des containers.</p> 
Convoi poussé	<p>Convoi fait de barges poussées par un bateau à moteur.</p> 

Tab. 2 : Les différents types de bateau de marchandise en Europe (ITB, s.d. ; Ulg, 2003).

2. Le redéploiement du transport fluvial marchand

Le mode de transport par voie d'eau a jusqu'à présent été négligé en faveur de la route. Or, il s'agit d'une alternative de transport sûre (accidents rares), économique (faible consommation énergétique) et peu polluante (absence de pollution sonore et atmosphérique). Le tableau 3 montre les distances pouvant être parcourues par les différents modes de transport avec 5 litres de carburant.

Mode de transport	Carburant consommé	Distance parcourue
Bateau	5 L	550 km
Train	5 L	333 km
Camion	5 L	100 km
Avion	5 L	6,6 km

Tab. 3 : Comparaison des distances parcourues par les différents modes de transport pour une même consommation en carburant (5 L). Source : M.E.T., s.d.

Poussée par les recommandations européennes en matière de développement durable, la Région wallonne a décidé de valoriser ses voies navigables, principalement par le transport marchand.

Dans cette optique, le Contrat d'Avenir pour la Wallonie s'est fixé des objectifs à courts et moyens terme pour redynamiser le secteur. Parmi les nombreuses mesures prévues, l'une d'elles prévoit l'entretien et l'amélioration des voies navigables par dragage¹ ou curage². En effet, certains tronçons ne sont plus capables à l'heure actuelle, d'accueillir les gabarits de navires pour lesquels ils étaient initialement destinés. Ainsi, des hauts fonds se sont créés qui ralentissent fortement les bateaux et par endroit, la navigation ne peut plus se faire que dans la passe centrale, empêchant les bateaux de se croiser. L'accumulation de sédiments dans les canaux peut aussi conduire à limiter le tirant d'eau maximum autorisé, comme pour le canal Charleroi-Bruxelles, voire même conduire à la fermeture à la navigation (canal Condé-Pommerœul depuis janvier 1993).

¹ **Dragage** : opération d'enlèvement de matières, sédiments ou objets du lit et des berges des cours et plans d'eau par une drague naviguant sur la voie d'eau ou par pompage.

² **Curage** : opération d'enlèvement de matières, sédiments ou objets du lit et des berges des cours et plans d'eau par extraction à la pelle mécanique, à partir du lit ou des bords de la voie d'eau.

3. Des travaux de dragage indispensables

Toutes ces raisons montrent combien il est nécessaire d'effectuer des travaux de dragage sur tout le réseau. Cependant, ce ne sont pas les seules. L'augmentation du niveau des eaux dans les canaux, fleuves et rivières ne permet plus d'assurer le rôle d'évacuation des eaux en cas de crue ou d'inondation. Dans le même temps, les digues sont sans cesse sollicitées, ce qui pourrait conduire à leur fragilisation.

La nécessité de dragage bien qu'établie, n'est pas pour autant évidente. La nature des sédiments déposés nécessite de nombreuses attentions, principalement sur leur origine.

Quels sont ces sédiments ? La plupart du temps, il s'agit de particules fines (argiles, limons, puis graviers et sables) entraînées par le courant. Elles proviennent de l'érosion de la roche mère et du ruissellement par les eaux de pluie le long du bassin versant. Au cours de ce trajet, les sédiments se chargent en polluants divers provenant de l'agriculture (engrais azoté et phosphaté, produits phytosanitaires...), de l'industrie (métaux lourds...) et du rejet direct des eaux usées.

Les sédiments s'accumulent lorsque le courant se ralentit. Les conditions anoxiques qui y règnent créent des conditions réductrices qui piègent notamment les métaux lourds en les immobilisant (précipités, adsorption à la matière organique...).

Lors des opérations de dragage, la couche sédimentaire est perturbée, remettant en suspension les éléments qui la composent. Cette augmentation de turbidité peut être préjudiciable aux poissons (colmatage des branchies) et au phytoplancton (baisse de luminosité). Mais surtout, le retour de conditions oxydantes provoque le relargage des divers polluants dans la couche d'eau. Il y a donc un risque consécutif de contamination des sols et de la nappe phréatique.

Il est donc très important de considérer ces dangers potentiels en effectuant des analyses préalables sur le sédiment à draguer. Le diagnostic sur la méthode d'extraction ou les précautions à prendre dépendra des résultats de l'analyse. Il s'agit ici d'une obligation légale de l'Arrêté du Gouvernement Wallon (AGW) du 30 novembre 1995 relatif à la gestion des matières enlevées du lit des berges, des cours et plans d'eau du fait de travaux de dragage ou de curage.

Des boues sont donc ainsi extraites. Des analyses vont aussi définir la catégorie dans laquelle sera classée la boue et donc, le Centre de Regroupement (C.R.) où elle sera provisoirement stockée avant valorisation ou élimination en Centre d'Enfouissement Technique (C.E.T.).

Le classement entre les catégories A et B est expliqué à la figure 2. Le tableau 4 reprend les teneurs maximales admissibles et les teneurs de sécurité prévues à l'annexe 1 de l'arrêté du 10 juin 1999. Ces valeurs sont valables pour des chantiers de moins de 25 000 m³ de matière à extraire. En résumé et en simplifiant, la classe A est celle des produits non contaminés et la classe B, celle des produits contaminés.

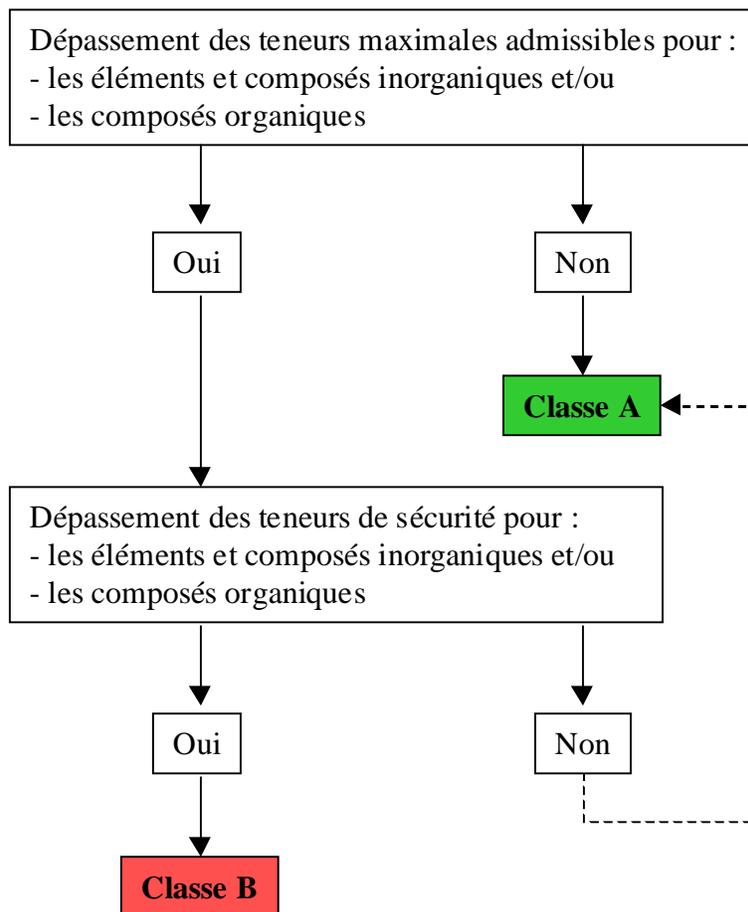


Fig. 2 : Classification des boues de dragage d’après l’AGW du 30 novembre 1995.

	As	Cd	Cr	Cu	Co	Hg	Ni	Pb	Zn	F ⁻	CN ⁻
Teneurs maximales admissibles (mg/kg MS)	50	6	200	150	25	1,5	75	250	1200	250	5
Teneurs de sécurité (mg/kg MS)	100	30	460	420	100	15	300	1500	2400	500	25

Tab. 4 : Teneurs maximales admissibles et teneurs de sécurité prévues à l’annexe 1 de l’AGW du 10 juin 1999.

4. Le centre de regroupement

Le Centre de Regroupement (C.R.) est un passage obligé, surtout depuis que la législation wallonne privilégie le recyclage et la valorisation au détriment du stockage en Centre d'Enfouissement Technique, C.E.T. (AGW du 10 juin 1999 ; annexe 8). Son exploitation relève de l'AGW du 3 avril 2003 fixant les conditions sectorielles d'exploitation de certaines installations de regroupement de matières enlevées du lit et des berges des cours et plans d'eau du fait de travaux de dragage ou de curage. Son implantation est soumise à étude d'incidence à partir d'un certain seuil lié à la quantité de boues traitées (50 000 m³), mais pas de leur dangerosité, selon l'AGW du 4 juillet 2002 arrêtant la liste des projets soumis à étude d'incidences et des installations et activités classées.

Le centre de regroupement est un site d'accueil des boues de dragage permettant de préparer un produit conforme à un usage déterminé. C'est à cet endroit qu'a lieu la déshydratation des produits, leur tri, inertage, etc...

Entouré de buttes arborées qui masquent l'activité (importance de l'aspect paysager) et de clôtures (mesure de sécurité), il se situe à proximité immédiate d'un cours d'eau navigable.

Le remplissage se fait à partir de la voie d'eau, c'est-à-dire des barges, ce qui limite l'usage de la route et les activités de transbordement. Une exception tout de même à ce modèle se produit pour les boues de curage. Celles-ci ayant été extraites par grue, sont déposées directement dans un camion et donc acheminées ainsi au centre via le quai de halage.

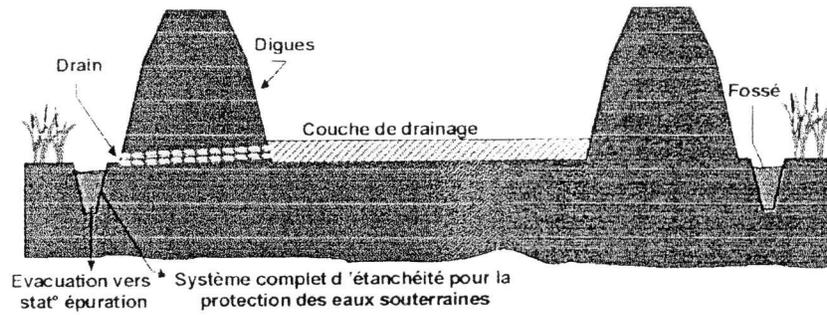
Les campagnes de curage ayant lieu en moyenne deux fois par an sur une à trois semaines, les nuisances sonores liées au charroi sont limitées.

Un même centre peut accueillir les boues des deux catégories, A et B, mais dans des installations physiquement séparées. En effet, en cas de mélange, la totalité des boues devra être requalifiée en classe B. Rappelons ici que le classement des boues est basé sur des prélèvements de sédiments réalisés *in situ* avant dragage.

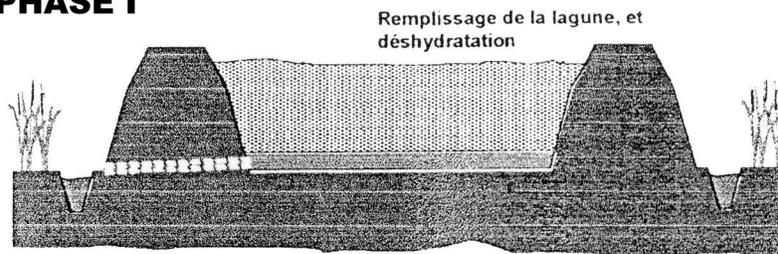
Le centre se compose d'un ou plusieurs bassins étanches où sont déposées les boues par phases successives (fig. 3). L'épaisseur d'une couche peut atteindre au maximum 1,5 à 2 mètres pour favoriser la déshydratation naturelle.

L'étape de remplissage peut occasionner des nuisances olfactives momentanées. Elles sont endiguées par la conception même du site (zone tampon). En cas d'odeurs incommodantes, il est procédé au recouvrement des matières par une couche de couverture ou des produits spécialisés. A ce propos, il faut noter que les boues de dragage sont différentes des produits de station d'épuration. Elles contiennent des teneurs en matière organique nettement inférieures aux boues d'épuration. Or, c'est la matière organique qui occasionne les odeurs.

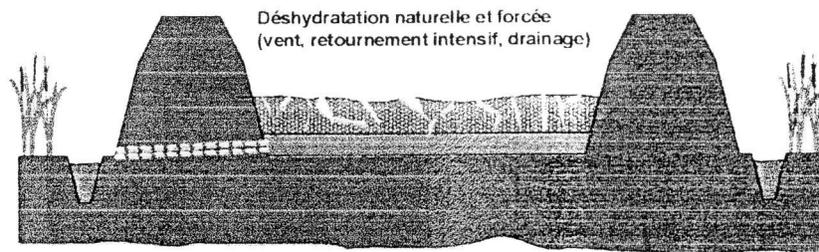
Le stockage dure environ douze mois, pendant lequel le taux d'humidité passe de 85 à 35%. Ce temps peut être réduit si une manipulation de retournement mécanique est employée. Un mètre cube de boue sèche alors en six mois (Le Soir, 2003).



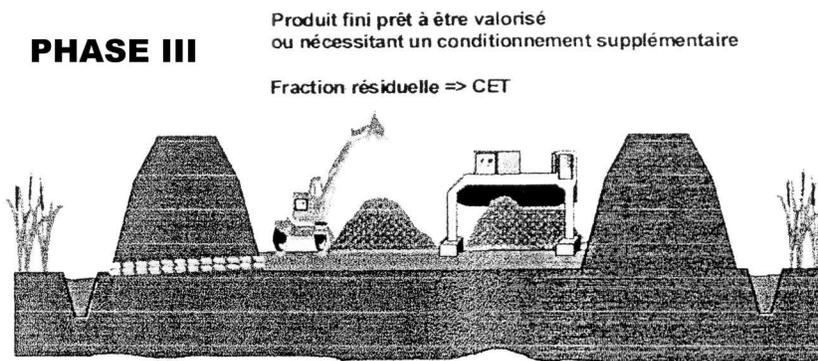
PHASE I



PHASE II



PHASE III



Terrain à nouveau disponible

Fig. 3 : Fonctionnement d'un bassin de déshydratation de boues de dragage.
Source : Orban, 2001.

L'eau du bassin est drainée et épurée avant son rejet dans le cours d'eau.

Le produit obtenu est pelleté et stocké dans une zone prévue à cet effet, puis analysé une dernière fois. Il est alors prêt à rejoindre un C.E.T. ou sa zone de valorisation.

Les entrées et sorties de tous les produits sont notées avec mention de la provenance ou de la destination/utilisation dans des registres tenus à la disposition de l'administration compétente. La transparence et la traçabilité font partie intégrante de la gestion du site.

Le centre peut aussi faire subir certains traitements aux boues de classe B afin de leur permettre de rejoindre la classe A.

5. Les difficultés liées aux centres de regroupement et aux centres d'enfouissement technique

Les règles sont très strictes pour l'implantation et l'exploitation des C.R. et des C.E.T. Pour se conformer à la législation, le Ministère de l'Équipement et des Transports (M.E.T.) a donc dû faire un état des lieux de tous les anciens dépôts de boue de dragage / curage et proposer ceux qu'il estimait capables, après mise aux normes (étanchéité,...), de remplir le rôle de C.R. ou de C.E.T.

Hormis les coûts et les filières de valorisation encore à l'état expérimental, le M.E.T. est confronté au problème NIMBY³ lors des enquêtes publiques préalables pour l'installation des centres (cf. avant-projet de centre de regroupement de Malmaison pour produits de dragage et de curage de catégorie B). La population considère en effet la gestion des produits de dragage comme celle des déchets ménagers ou industriels avec toutes les nuisances associées (odeurs, biogaz, émissions atmosphériques...). Or, les impacts sont très différents.

A ce jour, il y a un seul site de C.E.T. à Rebaix sur la Dendre, mais il est en attente de notification de l'entreprise qui doit le réaliser. Sa capacité est d'ores et déjà dépassée.

Quant aux C.R., le premier a été mis en service le 16 novembre 2001. Il est implanté à Vraimont et reçoit des produits de catégorie A. il est géré par la société ECOTERRES. Un permis pour Saint-Ghislain a été attribué et le centre doit être mis en service d'ici deux ans. Erquelinnes a également reçu son permis.

A ce jour, la Région wallonne compte quatorze centres de regroupement à l'étude. Quatre sont en cours d'étude d'incidence : Malmaison (Hensies/Bernissart), Bléharies, Seneffe et

³ **NIMBY** : « Not in my backyard » = « Pas dans mon jardin ». " On parle de " phénomène Nimby " lorsque

- quelqu'un réagit en étant " d'accord pour un projet mais pas chez lui " ; il souhaite profiter des avantages d'un projet sans devoir en subir les inconvénients ;
- certaines personnes s'opposent à toute une série de projets en grosse partie parce que cela se passe près de chez elles ;
- une ou plusieurs personnes se plaignent d'une nuisance proche de chez elles parce qu'elle est proche et pas parce qu'elle est nuisante ; ailleurs cela ne nous gêne pas ou c'est moins grave ." (Grosjean, 2001).

Lixhe. Les autres sites sont : Obourg, Bihée (Rebaix), Comines, Pecq, Hourpes, Tamines, Florrifoux et Ampsin.

En attendant, faute d'aire d'entreposage, les travaux de dragage restent en attente.

6. Le dragage en chiffres

La modification de l'AGW du 30 novembre 1995 par l'arrêté du 10 juin 1999 fut tout à fait indispensable ; en effet, le 1^{er} arrêté avait conduit à l'arrêt total de tous les travaux de dragage du fait de sa trop grande sévérité⁴. Cet événement implique dans les travaux d'aujourd'hui l'existence d'un passif de 2 600 000 tonnes relevant de la classe B (le gouvernement a prévu 10 ans pour le résorber).

On estime que le gisement des « produits de dragage » doit entraîner l'extraction de 2 600 000 m³ de boues pour la mise à gabarit / travaux d'infrastructure (85% en classe A et 15% en classe B) et de 550 000 m³/an pour l'entretien (16% de classe A et 84% de classe B).

Globalement, la répartition entre les classes A et B (en volume) est la suivante :

- A : 35%
- B : 65%

Au niveau budgétaire, la création des C.E.T. et des C.R. de produits de dragage relève de la division organique 52 – Voies Hydrauliques de la Région wallonne. Le budget 2003 alloue ainsi quatre millions d'euros d'investissement public pour les quatre C.R. (un million par centre) dont les permis ont été introduits en août 2002, à savoir : Visé, Floreffes, Huy et Sambreville (Ministère de la Région Wallonne, 2002).

7. Améliorations prévues

Des perspectives d'amélioration sont prévues, essentiellement pour réduire la quantité des produits de catégorie B d'une part (amélioration de la qualité des fonds via la limitation de certains intrants agricoles), et le volume global de boue d'autre part. (politique d'aménagement du territoire contre l'érosion des sols).

⁴ Avant 1995, les boues étaient déposées après dragage directement sur les berges.

8. Les méthodes de valorisation

Le but des méthodes de valorisation est de réduire au maximum l'entreposage définitif des boues de dragage en décharge contrôlée.

A l'horizon 2010, on prévoit 60 % de valorisation et 40 % de mise en C.E.T.

Les boues de dragage sont a priori des déchets.

Elles sont reprises dans le Code wallon des déchets (AGW du 24 janvier 2002 modifiant l'AGW du 10 juillet 1997 établissant un catalogue des déchets) sous les numéros 17 05 05 et 17 05 06, c'est-à-dire :

- 17 : Déchets de construction et de démolition (y compris déblais provenant de sites contaminés)
 - 05 : Terres (y compris déblais provenant de sites contaminés), cailloux et boues de dragage
 - 05 : Boues de dragage contenant des substances dangereuses
→ il s'agit de déchets dangereux ; c'est ici que sont répertoriées les boues de classe B.
 - 06 : Boues de dragage autres que celles visées à la rubrique 17 05 05
→ cette catégorie est celle des boues de classe A ; elle est retenue comme déchets non dangereux.

Précédemment (AGW du 10 juillet 1997 établissant un catalogue des déchets), les boues de dragage étaient classées de la manière suivante :

- 17 : Déchets de construction et de démolition (y compris construction routière)
 - 05 : Terres et boues de dragage
 - 02 : Boues de dragage

8.1. Les produits de classe A

Les boues de classe A sont les seules à l'heure actuelle à être reconnues comme des matières valorisables.

L'annexe 1 de l'AGW du 14 juin 2001 favorisant la valorisation de certains déchets propose une utilisation des boues en travaux de Génie civil. Les modalités de la valorisation sont présentées dans le tableau 5.

Il est également possible d'utiliser les boues de classe A pour l'épandage de terres agricoles (comme pratiqué avec les boues de station d'épuration) ou la réhabilitation de sites.

Code	Nature du déchet	Circonstances de valorisation du déchet	Caractéristiques du déchet valorisé	Mode d'utilisation (dans le respect des dispositions du CWATUP)
170506A1	Produits de dragage ou de curage (sables, pierres, boues)	Utilisation de matériaux enlevés du lit et des berges des cours et plans d'eau du fait de travaux de dragage ou de curage qui représentent une siccité d'au moins 35%	Matières appartenant à la catégorie A telle que définie par l'article 4 de l'arrêté du Gouvernement wallon (AGW) du 30 novembre 1995 relatif à la gestion des matières enlevées du lit et des berges des cours et plans d'eau tel que modifié	* Travaux de sous-fondation * Travaux de fondation * Réhabilitation de sites désaffectés pollués ou contaminés suivant un processus approuvé par la Région * Aménagement et réhabilitation de centres d'enfouissement technique (CET)
170506A2	Produits de dragage ou de curage (sables, pierres, boues)	Utilisation de matériaux enlevés du lit et des berges des cours et plans d'eau du fait de travaux de dragage ou de curage	Matières appartenant à la catégorie A telle que définie par l'article 4 de l'arrêté du Gouvernement wallon (AGW) du 30 novembre 1995 relatif à la gestion des matières enlevées du lit et des berges des cours et plans d'eau tel que modifié	* Travaux d'aménagement du lit et des berges des cours et plans d'eau en dehors des zones présentant un intérêt biologique au sens de la loi du 12 juillet 1976 relative à la conservation de la nature et des directives CEE 79/409 et 92/43

Tab. 5 : Extrait de l'Annexe 1 de l'AGW du 14 juin 2001 favorisant la valorisation de certains déchets.

8.2. Les produits de classe B

Les boues de classe B sont classées en tant que déchets dangereux. Cependant, il est possible après inertage chimique ou thermique et stabilisation, de les réutiliser.

Les principales voies envisagées sont le recyclage en cimenterie ou le recyclage en produits de construction ou en nouveaux matériaux.

Les débouchés de valorisation sont accrus lorsqu'il est possible après traitement de requalifier les boues de classe B en boues de classe A.

9. La phytoremédiation

Une des voies de valorisation des boues de dragage actuellement à l'étude est celle de la phytoremédiation.

Le terme de phytoremédiation regroupe plusieurs manières d'utiliser les plantes dans la gestion de sites pollués (Bert et Deram, 1999). On distingue :

9.1. La phytoextraction

Elle se base sur l'accumulation (bioaccumulation) des polluants dans la biomasse aérienne des plantes. Après fauchage, les plantes sont incinérées. Les cendres ou bio-minerais ainsi produits sont réintroduits dans la production métallurgique ou sont

confinés. Les avantages de cette méthode résident dans son faible coût, dans sa possibilité de traiter de grandes surfaces, de réduire l'érosion et le lessivage des sites, ainsi que d'être peu sélective (dépollution de plusieurs éléments simultanément). Néanmoins, les sols doivent n'être que moyennement pollués et il doit y avoir de bonnes conditions de culture. La phytoextraction est particulièrement adaptée dans le cas des métaux lourds.

9.2. Le phytomining

Même principe que précédemment, mais guidé par des facteurs économiques. L'incinération sert à produire de l'énergie et les bio-minerais sont revendus pour que cette méthode soit rentable. Il faut des teneurs élevées en métaux dans les plantes, de grandes surfaces cultivables et un nombre limité et défini de métaux.

9.3. La phytostabilisation

Il s'agit de l'immobilisation *in situ* des métaux par les plantes. Un sol nu estensemencé (retour à un aspect esthétique du site) par un mélange d'espèces tolérantes, qui vont retenir les métaux au niveau de leur appareil racinaire (frein à l'érosion et au lessivage du sol). La gestion des espèces est semblable à celle d'une culture classique et le coût est donc faible. Il ne demeure pas de sous-produit contaminé, mais le polluant reste dans le sol (valable uniquement pour les pollutions métalliques).

9.4. La phytovolatilisation

Stockage de métaux dans les plantes qui les convertissent sous une forme volatile, qu'elles libèrent dans l'atmosphère. Cette méthode est réservée au mercure, à l'arsenic et au sélénium, mais elle est très dépendante de nombreux facteurs (température, lumière, pH, ...). Ni fauche, ni incinération ne sont requises.

9.5. La revégétalisation

Cette méthode peu coûteuse vise à installer une couverture végétale sur des sites extrêmement pollués (miniers, industriels voire agricoles) pour leur conférer une valeur paysagère.

9.6. La rhizofiltration

Technique utilisant des plantes terrestres capables de développer leur système racinaire dans des eaux polluées, où elles concentreront les métaux lourds. Les racines sont ensuite exportées, puis stockées ou vendues et l'eau est purifiée.

Comme nous l'avons dit précédemment, les boues de dragage sont chargées en métaux lourds. Les teneurs qu'on y retrouve sont susceptibles a priori d'être des sources potentielles de pollution lors d'épandage sur des surfaces agricoles. Ces dernières par définition abritent des cultures qui vont se développer en consommant les nutriments du sol, mais aussi en assimilant les polluants qui s'y trouvent. On pourra donc parler dans ce cas de phytoextraction (car la récolte extrait la biomasse du sol) ou de phytostabilisation (on espère que les polluants resteront dans l'appareil racinaire).

10. La biodisponibilité

Ce que la plante est capable d'assimiler est appelé biodisponibilité.

La plante possède des mécanismes de capture des nutriments (ions) sélectifs. Pour commencer, elle doit souvent rendre ces éléments mobiles. L'émission d'exsudats racinaires permettant de modifier les conditions de pH et d'oxydo-réduction est un moyen (cf. tableau 6).

Ordre décroissant de mobilité en pH acide
(Zn, Cd, Hg, Ni) > (Pb, Cr, Cu) > Se
Ordre décroissant de mobilité en milieu oxydant
Se > (Hg, Ni, Zn, Cd, Cu) > Pb > Cr
Ordre décroissant de mobilité lorsque la CEC baisse
(Ni, Cu, Pb) > (Cr, Hg, Cd, Se, Zn)

Tab. 6 : Ordre de mobilité décroissant des Eléments traces métalliques⁵ (E.T.M.) dans le sol selon le pH, les conditions d'oxydo-réduction et la Capacité d'Echange Cationique (C.E.C.). Source : ADEME, 2001.

Au niveau de la racine, les ions vont pouvoir traverser les membranes sélectivement via des transporteurs (protéines qui assurent un transport actif des ions). L'action de ces

⁵ E.T.M. et métaux lourds : « Le protocole métaux lourds de la convention de Genève désigne par le terme « métaux lourds », les métaux ou dans certains cas les métalloïdes et leurs composés qui ont une masse volumique supérieure à 4,5 g/cm³. D'un point de vue scientifique, le terme « métaux lourds » est progressivement remplacé par « éléments traces métalliques ». Les éléments sont dits traces lorsque leur concentration est inférieure à un pour mille dans la croûte terrestre, ou 0,1 pour mille dans les êtres vivants (<100mg/kg Matière Sèche) » (Boutonnet, 2000). Dans le présent travail, les deux termes sont utilisés indifféremment.

derniers dépend bien souvent de la valence ou charge de l'ion. Sans ces transporteurs, aucun passage ne serait possible car la membrane est hydrophobe/lipophile. Une fois entré dans le milieu intracellulaire, l'ion métallique peut être complexé ou séquestré dans des structures cellulaires comme la vacuole, évitant ainsi sa translocation. C'est ainsi que la majorité des plantes accumulent les métaux dans les racines et non dans leurs parties aériennes. Dans le cadre de la phytoextraction, il est au contraire préférable de contrer cette étape d'immobilisation pour permettre la translocation par la sève vers les feuilles. Ce transport est contrôlé principalement par la pression racinaire et la transpiration des feuilles. La figure 4 présente ces processus de transport dans la plante (Lasat, 2000).

Certaines plantes auraient aussi la capacité d'exclure certains métaux de leurs racines, mais ce mécanisme n'est pas encore parfaitement compris.

Ainsi, la teneur totale en éléments, tels les métaux dans un sol, n'est pas vraiment représentative de ce que la plante reçoit réellement : une sélection s'opère.

Une plante sera dite sensible si l'absorption de métaux provoque chez elle des effets létaux ou sub-létaux. Elle sera dite résistante dans le cas contraire

La résistance peut prendre divers aspects selon que la plante provoque la précipitation des éléments indésirables, leur chélation, leur immobilisation dans des métalloprotéines...

La nature du polluant détermine en partie sa localisation dans la plante. Dans le cas des métaux lourds, on considérera leur diamètre moléculaire, leur charge, la forme sous laquelle ils se présentent (libres, sous forme d'oxyde, ou liés à de la matière organique par exemple).

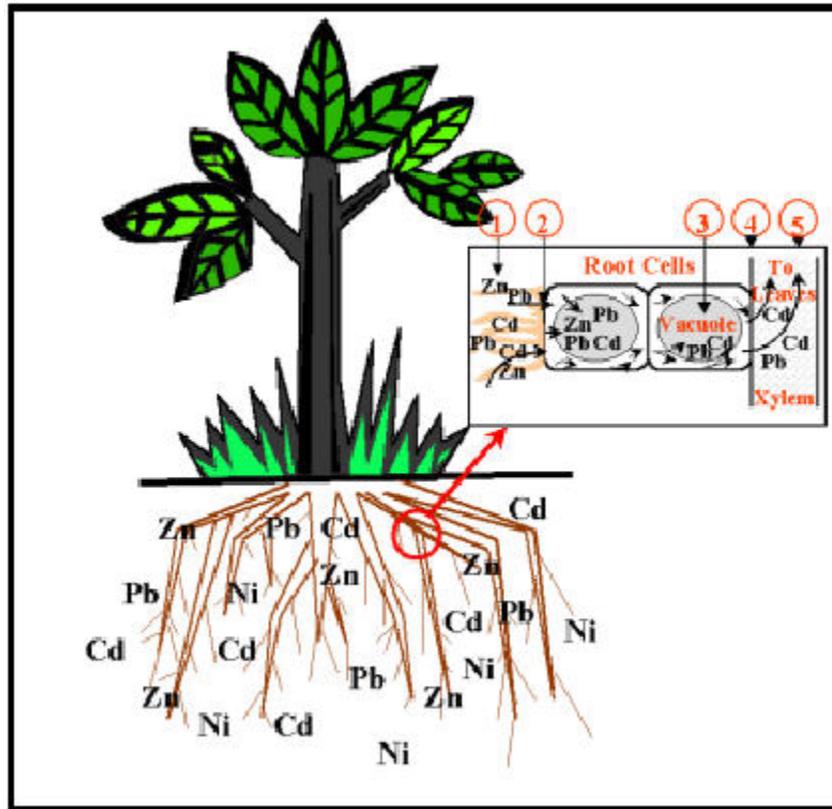


Fig. 4 : Capture des métaux et accumulation dans les plantes. Source : Lasat, 2000.

- Légende :
1. Une fraction de métal est adsorbée à la surface de la racine
 2. le métal biodisponible migre au travers de la membrane cellulaire dans les cellules de racine
 3. Une fraction de métal adsorbé dans les racines est immobilisée dans la vacuole
 4. le métal mobile intracellulaire traverse les membranes cellulaires vers les tissus vasculaires de la racine (xylème)
 5. Le métal est transloqué de la racine aux tissus aériens (tiges et feuilles)

11. Les métaux lourds

Certains métaux sont indispensables au métabolisme des plantes et sont d'ailleurs repris sous le vocable d'oligo-éléments (ou micro nutriments), alors que d'autre métaux n'ont aucun rôle biologique. En fonction des doses rencontrées, ces deux sortes de métaux peuvent devenir des poisons.

Dans les boues de dragage étudiées, nous avons recherché six métaux : le cuivre, le chrome, le cadmium, le nickel, le zinc et le plomb (Tonneau, 2003 ; Schneider, s.d. ; Lebeau, s.d. ; Chiffolleau, s.d.).

Ils sont représentatifs des pollutions auxquelles sont soumis les cours d'eau en Région wallonne.

Métal	Teneur normale dans les sols (mg/kg)	Teneur normale dans les plantes (mg/kg MS)	Seuil toxique dans les plantes (mg/kg MS)	Flux maximum cumulé apporté par les boues (g/m ² /10ans)
Cd	0 - 0,3	0,1 - 0,4	3 - 700	0,015
Cr	25 - 100	< 2		1,2
Cu	0 - 57	2 - 20	20	1,2
Ni	2 - 95	< 0,001		0,3
Pb	7 - 20	< 20		0,9
Zn	16 - 80	25 - 150	> 400	3
Cr + Cu + Ni + Zn				4

Fig. 7 : Teneurs moyennes en métaux lourds dans les sols, plantes et boues.
Source : Delhayé et al., 1997 ; Perrono, 1999.

Fiches récapitulatives des propriétés des six métaux lourds :

11.1. Le cadmium

Fonction dans la plante : Aucune

Aspects phytotoxiques : Réduction de biomasse, chlorose puis nécrose foliaire.

Remarques : élément relativement mobile. Plus le pH augmente, plus il est adsorbé sur les sites d'échange du sol et moins il est absorbé par la plante. Entre pH 4 et pH 8, l'adsorption de cet E.T.M. sur la phase solide est multipliée par 3 quand le pH augmente d'une unité.

Principales sources :

- industrielles : batteries et accumulateurs, pigments, stabilisant en plasturgie, protection de l'acier contre la corrosion, utilisation pour les alliages. Sous-produit de la métallurgie du Zn
- agricoles : engrais (phosphatés), fumiers, lisiers, composts
- eaux de ruissellement des voies de circulation

Effets sur la santé :

- potentiel toxique élevé
- dommages rénaux pour des expositions chroniques à faible dose
- oxydes, chlorures, sulfates et sulfure de cadmium sont classés cancérigènes
- DHTT (Dose Hebdomadaire Temporaire Toxique) : 7 µg/kg

11.2. Le chrome

Fonction dans la plante : Aucune

Aspects phytotoxiques : Nécrose des racines, perturbation de l'alimentation principalement. Chlorose des jeunes feuilles, coloration violacée des tissus, nécrose du limbe.

Remarques : 2 formes : Cr³⁺ et Cr⁶⁺ (le plus toxique, car le plus mobile). Absorbé dans la plante sous forme de complexe anionique. Très peu mobile.

Principales sources : Sidérurgie, métallurgie, réfractaires, chimie, tannerie

Effets sur la santé :

- les chromates endommagent le système respiratoire pour des expositions à long terme
- les composés avec du chrome VI sont responsables d'eczéma ; le chrome VI est cancérigène (groupe A2)
- le chromate de zinc est cancérigène (groupe A1)

11.3. Le cuivre

Fonction dans la plante : Photosynthèse, respiration, fixation de l'azote, synthèse des protéines, métabolisme des parois cellulaires.

Aspects phytotoxiques : Nécrose, torsion des feuilles, réduction de la lignification.

Remarques : sensible au pH (phytotoxique à pH 5, insoluble à pH 7,5). Migre peu.

Principales sources : industrie électrique, bâtiment, peintures anti-salissure en zone portuaire, canalisations d'eau, traitement de surface.

Effets sur la santé : - effet irritant par inhalation, allergie par contact
- lésion du foie par voie orale sur une longue période

11.4. Le nickel

Fonction dans la plante : Métabolisme de l'azote, germination des semences (céréales), stimulation du développement des résineux.

Aspects phytotoxiques : Chlorose du type ferrique, apparition de bandes blanches et vertes sur la feuille. Chute de biomasse.

Remarque : augmente dans la plante avec l'acidité du sol.

Principales sources : Aciers inoxydables, alliages et superalliages, aciers et fontes alliées, traitement de surface.

Effets sur la santé : - allergie par contact avec la peau et par présence dans la nourriture pour personne sensibles.
- les composés du nickel sont cancérogènes (groupe A1) pour le nez et les poumons.

11.5. Le plomb

Fonction dans la plante : Aucune.

Aspects phytotoxiques : perte de biomasse.

Remarques : peu sensible au pH, teneur dans la plante proportionnelle à celle du sol. L'un des ETM les moins mobiles du sol.

Principales sources : Accumulateurs, oxydes et chimie, revêtements de câbles, munitions. Additifs pour essence. Atelier photographique. Eaux de ruissellement des voies de circulation.

Effets sur la santé : - entraîne l'anémie à forte dose
- perturbe le système nerveux et les reins
- effet mutagène de l'acétate et du phosphate de plomb (animal)
- DHTT : 25 µg/kg

11.6. Le zinc

Fonction dans la plante : Métabolisme des sucres, protéines, phosphates, auxine, acides nucléiques. Entre dans la composition d'enzymes. Agit dans la résistance au stress hydrique et agents pathogènes.

Aspects phytotoxiques : Chlorose, nécrose aux extrémités des feuilles, croissance ralentie, modification de la morphologie racinaire.

Remarques : forme soluble fonction du pH et de la texture du sol. Facilement soluble, très mobile et disponible dans les sols légers et acides.

Principales utilisations : Couverture de bâtiments, barres et profilés, chimie (caoutchouc). Produits pharmaceutiques, conduites d'eau, peintures, piles, galvanisation, traitement de surface.

Effets sur la santé :

- pas d'effet cancérigène du zinc par voie orale ou par inhalation
- mais chromate de zinc cancérigène.

OBJECTIFS

Les boues de dragage se sont formées par l'accumulation de sédiments liée au phénomène d'érosion au fond des voies d'eau. Leur composition est donc influencée par le fond géochimique, mais également par toutes les substances drainées par le ruissellement (pollution diffuse) et les rejets d'eaux usées (pollution ponctuelle). De ce fait, la boue extraite peut à son tour devenir une source de pollution.

Une analyse chimique globale des boues de dragage ne permet pas de leur attribuer une toxicité réelle car elle ne reflète pas la fraction biodisponible pour les plantes, premier maillon de la chaîne alimentaire. Notre expérience a pour but d'évaluer rapidement et en conditions contrôlées la phytotoxicité des éléments traces métalliques de ces boues par la mise au point d'un dispositif « hydroponique » original.

Les boues de dragage sont des produits hétérogènes dont les risques de pollution varient selon leur nature et la quantité d'éléments traces qu'elles renferment. A cet effet, le Ministère wallon de l'Équipement et des Transports nous a ouvert ses sites de dépôts renfermant des boues de classes A et B, permettant d'avoir une large vision du comportement de ces E.T.M. grâce à un large panel de teneurs.

On se propose d'étudier pour chaque type de boue, la dynamique des métaux lourds dans le continuum boue - substrat de culture – plante en considérant les teneurs de ceux-ci dans chacun des compartiments envisagés.

Les boues sont caractérisées par les métaux totaux qu'elles renferment, les substrats par les métaux assimilables, c'est-à-dire « solubilisés » en phase aqueuse et les plantes par les métaux absorbés par une espèce accumulatrice, à savoir le chou fourrager.

Les transferts « boue → substrat de culture → plante » seront évalués via deux coefficients : le coefficient de transfert total et le coefficient de solubilisation qui reflètent les différents flux potentiels de ces éléments.

On tentera également d'établir des corrélations entre les différents compartiments du continuum étudié.

Nous prendrons aussi en compte l'aspect lié à l'acidité des substrats. A cette fin, deux pH sont envisagés à savoir 5,5 et 7,5, afin de mettre en évidence le rôle que ce pH peut jouer sur la biodisponibilité des E.T.M. pour les végétaux et leur répercussion sur la croissance de ceux-ci.

Cette connaissance est fondamentale dans le cadre d'une valorisation des boues, envisagée par les nouvelles législations en vigueur. Cette étude a également pour but de préciser les risques de bioaccumulation du réseau trophique dont la plante est le premier maillon.



Fig. 5 : Localisation des trois dépôts de boues de dragage.
Source : Office de Promotion des Voies Navigables, 2001.

MATERIELS ET METHODES

1. Les boues

Le Ministère de l'Équipement et des Transports a mis à notre disposition trois dépôts pour effectuer nos prélèvements. (cf. fig. 5)

1.1. Terrain d'Obourg

Localisation :

Ce terrain de dépôt de produits de curage et de dragage est situé en rive gauche du canal du Centre juste en aval de l'écluse d'Obourg entre la Haine et le décanteur d'Obourg. (cf. fig. 6)

Catégorie de boue :

Classe B

Origine des boues :

Les boues sont issues de campagne de dragage du Canal du Centre ainsi que du Canal Charleroi-Bruxelles qui dépendent du bassin de l'Escaut. Les rejets de l'industrie métallurgique sont les principales sources de pollution de ces boues.

Prélèvement :

Les boues d'Obourg ont été prélevées le 21 mars 2003 dans la zone de surverse des eaux excédentaires (proche du moine). Les sédiments à cet endroit se caractérisent par une granulométrie fine (limon léger).

Deux échantillons ont été récoltés, correspondant aux deux couches de surface. Le premier est compris entre 0 et 14 cm (B1) et le second entre 14 et 32 cm (B2).

Le M.E.T. a réalisé un prélèvement de ces sédiments au même endroit en juin 2000 sous la côte OBR 60, mais sur une profondeur bien plus importante (M.E.T., 2000a).

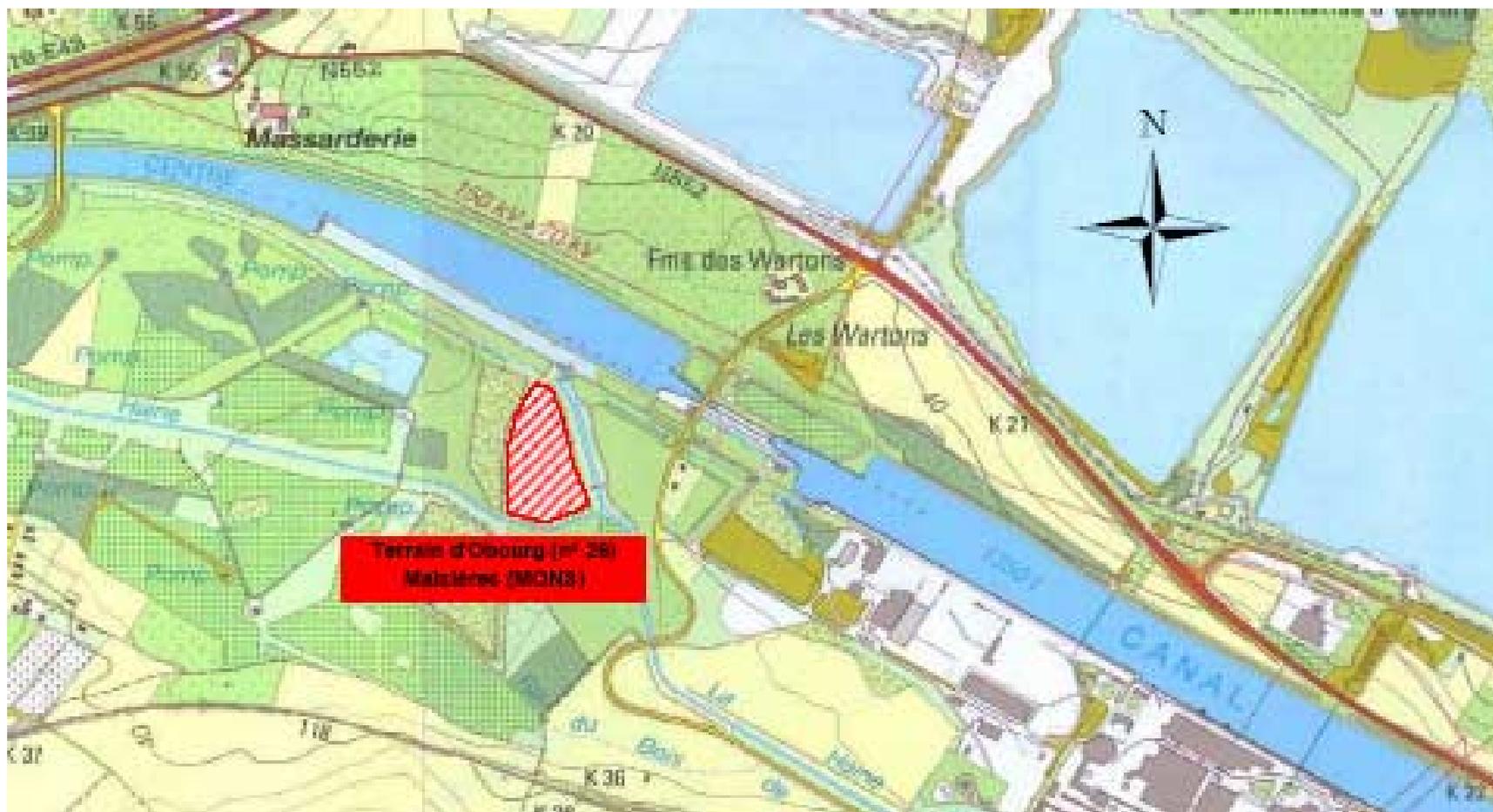


Fig. 6 : Localisation du dépôt d'Obourg.

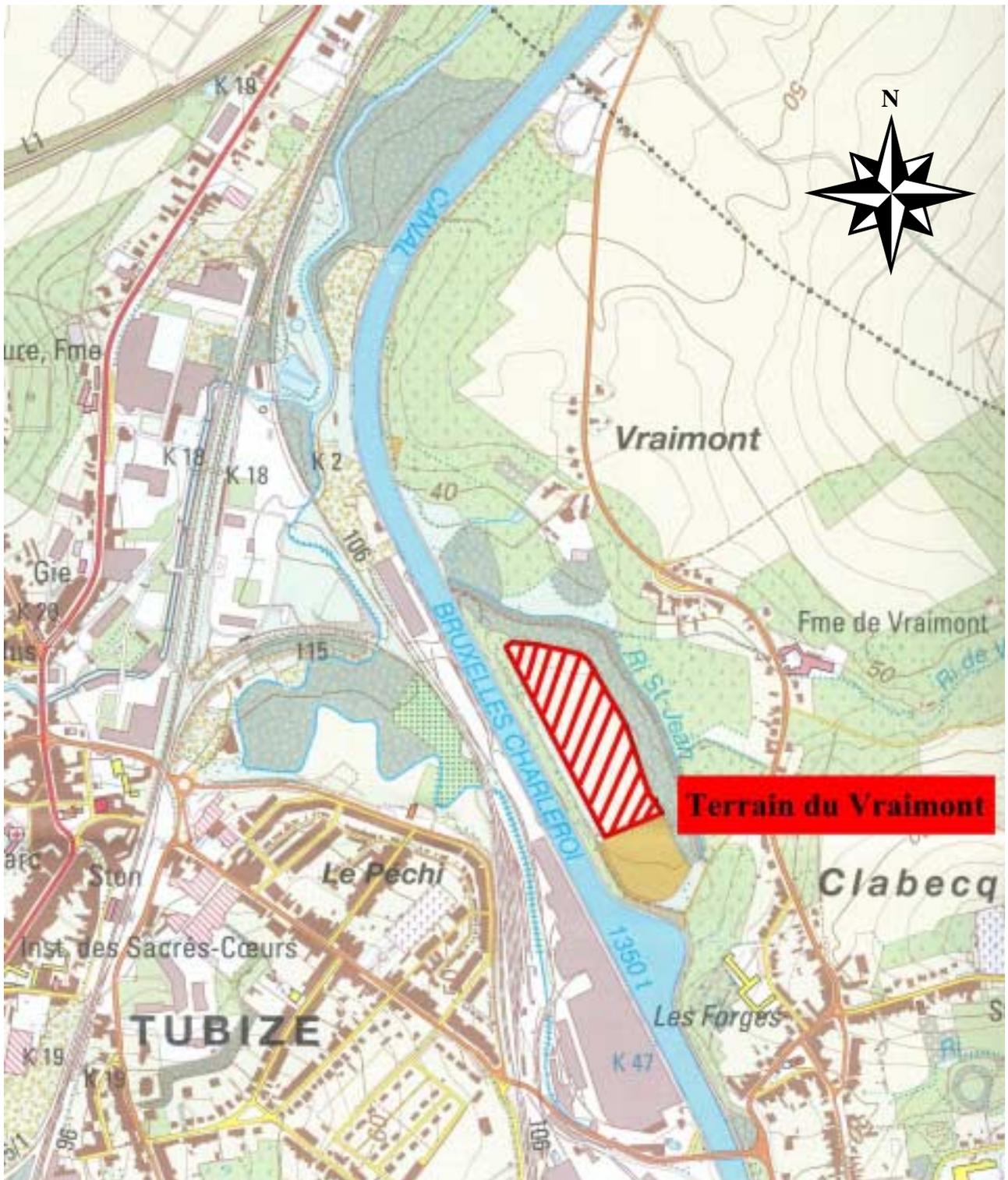


Fig. 7 : Localisation du Terrain du Vrainmont.

Remarque :

On pourra trouver un relevé succinct de la végétation sur le site dans le travail de fin d'étude de Jacquet, 2002.

1.2. Terrain du Vraimont

Localisation :

Le terrain se trouve à Clabecq, côté droit en allant sur Bruxelles, après la zone de manoeuvre (fig. 7).

Catégorie de boue :

Classe A

Origine des boues :

Depuis la mise en service du centre de regroupement (16 novembre 2001), les boues proviennent du dragage du Canal Charleroi-Bruxelles. Plus précisément, il s'agit de boues du tronçon entre Lembeek et Ronquière (Bassin de l'Escaut).

Prélèvement :

Il a eu lieu au hasard des andains déjà secs et près du chemin de halage, le 26 novembre 2002. Il s'agit de l'échantillon A2.

1.3. Terrain de Grandchamps

Localisation :

Le sol examiné provient d'un terrain de dépôt de produits de dragage, situé en rive gauche de la Sambre en aval de l'écluse de Roselies à Farciennes. (fig. 8)

Catégorie de boue :

Classe A

Origine des boues :

Les boues proviennent de travaux de dragage de la Sambre qui appartient au bassin de la Meuse.

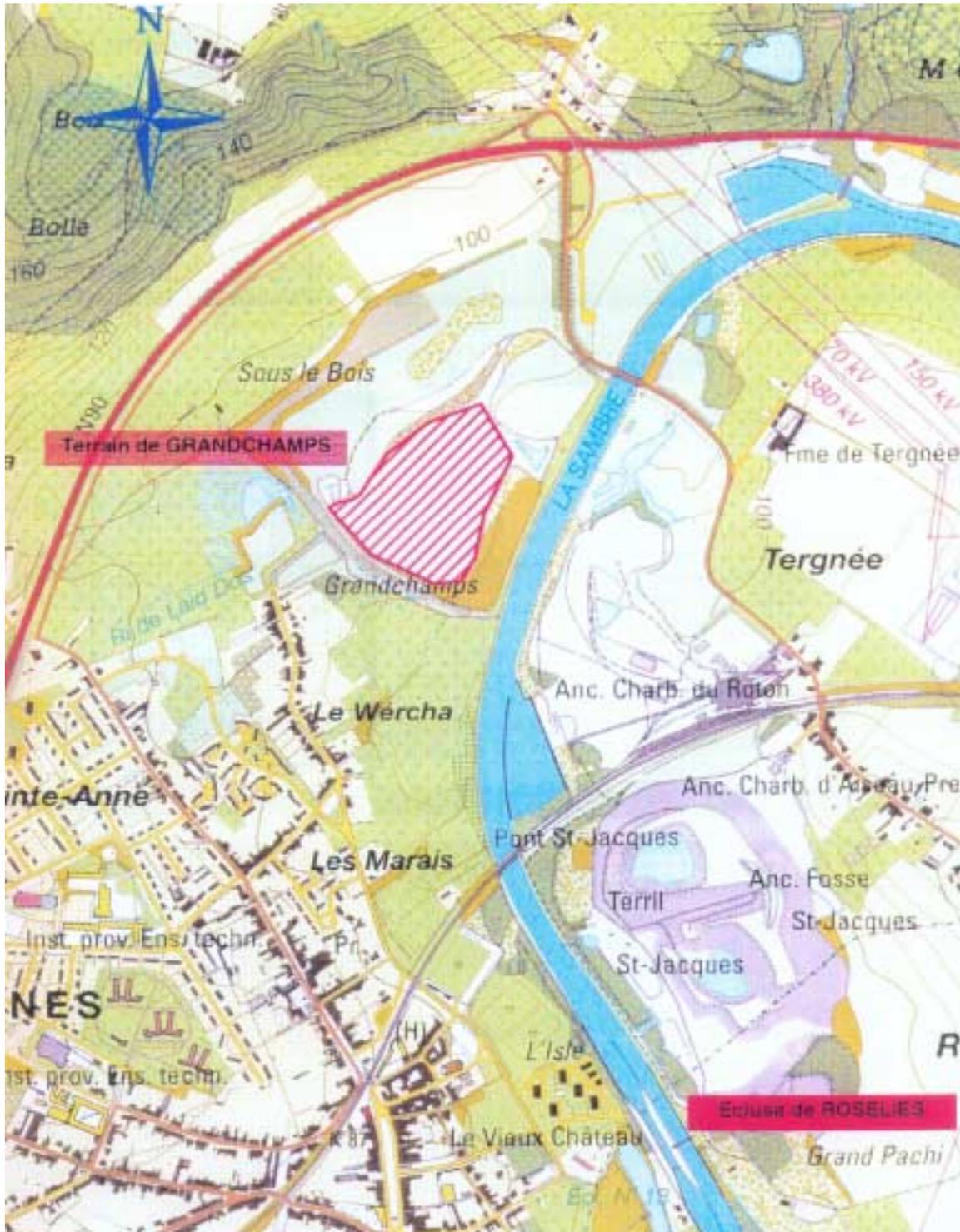


Fig. 8 : Localisation du dépôt de Grandchamps.

Prélèvement :

Il a été effectué le 26 novembre 2002 près du lieu de déversement, fraction riche en particules grossières. Cet échantillon est appelé A1.

Cet échantillonnage correspond à celui du M.E.T., côté MNT 01 (M.E.T., 2000b).

2. Choix du matériel végétal

Parmi les différentes familles de plantes, les Brassicaceae sont réputées pour leur aptitude à la résistance aux métaux lourds (Ebbs et Kochian, 1997 ; Ebbs et al., 1997 ; Kumar et al., 1994).

Cette résistance s'exprime en terme :

- de tolérance et d'accumulation (*Brassica juncea* pour le Pb, Cd, Cr (VI), Ni, Zn et Cu ; *Thlaspi caerulescens* pour le Pb (Meerts et Van Isaker, 1997) et Ni), ou
- d'hyperaccumulation (*Arabidopsis halleri* pour le Zn et le Cd ; *Thlaspi caerulescens* pour le Zn et Cd (Bert et Deram, 1999)).

N.B. : les plantes hyperaccumulatrices ont été définies par Brook et al. (1977).

Dans le cadre de notre expérience, nous avons opté pour le chou fourrager (*Brassica napus subsp. oleifera* (Metzg.) Sinsk.). Ce choix repose sur le rôle prouvé de détoxication de *B. napus* (Nedkovska et Atanassov, 1998 ; Misra et Gedamu, 1989).

Nous n'avons pas choisi de plantes hyperaccumulatrices, car la plupart du temps celles-ci ne sont spécifiques que d'un seul élément trace métallique, ont une faible biomasse et une croissance lente. Le chou fourrager, au contraire, présente une biomasse importante qui permet de compenser une moindre accumulation de métaux, ainsi qu'un cycle de croissance rapide.

Enfin, le laboratoire a déjà utilisé *B. napus* sur des boues de dragage (Orban, 2001 ; Jacquet, 2002), ce qui nous apporte des points de comparaisons possibles.

Les graines ont été fournies par le producteur de semences fourragères BARENBRUG.

Le chou fourrager est cultivé en culture dérobée après la récolte d'une céréale hâtive principalement après l'orge d'hiver (escourgeon). Le semis a lieu entre la mi-juillet et la mi-août. S'il est quelquefois utilisé comme engrais vert, il peut aussi l'être comme fourrage que l'on récolte en fin d'automne sous forme d'ensilage. Il a été préféré à la culture du navet trop exigeante en main-d'œuvre. Sa valeur alimentaire dépend essentiellement du rapport feuilles/tige. Plus cette dernière est lignifiée, plus pauvre sera cette valeur alimentaire. Toutefois par sélection on a obtenu des variétés peu sensibles à la verse tout en augmentant la proportion de feuilles. Le chou fourrager est aussi peu sensible aux maladies notamment à la hernie du pied (*Plasmodiophora brassicae*).

3. Mise en place de l'essai

3.1. Le dispositif expérimental

Le dispositif expérimental (fig. 9) est un système hydroponique. Il se compose d'un pot de culture en plastique noir de 1,5 litre de capacité surmonté d'une grille plastifiée.

Dans chaque pot, est déposé 100 g de boue séchée et broyée à laquelle est ajoutée de l'eau distillée à raison d'1,4 litre et une solution nutritive standard (voir composition ci-après). Le témoin ne comporte pas de boue, juste la solution nutritive et l'eau distillée.

Le mélange eau et boue est agité en permanence grâce au système d'aération mis en place pour les racines (bullage).

Les graines de choux sont mises en germination sur compost. Elles sont transplantées sur la grille du dispositif expérimental au stade « 1 feuille » et maintenues par de la laine de roche.

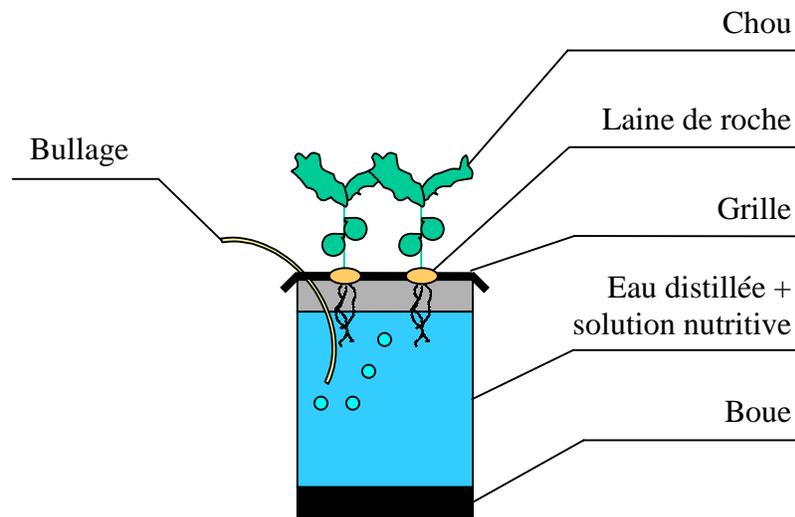


Fig. 9 : Schéma du dispositif expérimental.

En pratique, l'essai se compose de :

- 4 traitements (les 4 types de boues : A1, A2, B1 et B2)
- un témoin (T)

Chacun compte 5 répétitions.

Traitements et témoin sont soumis à 2 pH différents :

- 7,5 : pH moyen des boues
- 5,5 : un pH acide peut augmenter la proportion de métaux dans la phase liquide

Soit au total, 50 pots.

Trois cultures successives ont pris place sur le même substrat, selon le calendrier suivant (tab. 8) :

	Semis	Transplantation	Récolte
Essai n°1	20 mars	1 ^{er} avril	25 avril
Essai n°2	11 avril	26 avril	22 mai
Essai n°3	7 mai	23 mai	17 juin

Tab. 8 : Calendrier de suivi des essais.

3.2. La solution nutritive

Nous venons de voir que les pots avaient tous reçu une solution nutritive. Sa composition est reprise au tableau 9.

MgSO₄·7H₂O	3,1 g
K₃PO₄·3H₂O	4,5 g
KNO₃	12,6 g
Ca(NO₃)₂·4H₂O	5,9 g
Chélate de fer	1 g
Eau distillée	mise au trait à 1 L

Tab. 9 : Composition d'un litre de solution nutritive standard.

Lors des essais n°1 et 2, chaque pot a reçu 10 ml de solution. Quant à l'essai n°3, il en a reçu le double, 20 ml, quantité plus favorable pour la croissance de la plante.

Les choux étant particulièrement sensibles à la carence en bore, chaque pot a également reçu 10 ml d'une solution de 1000 ppm d'acide borique H₂BO₃.

3.3. Les boues

Les boues proviennent des trois dépôts différents vu précédemment :

- Grandchamps : A1
- Vraumont : A2
- Obourg : B1 et B2

Les échantillons de boues ont été étalés au sol sur des sacs plastiques dans la chaufferie du laboratoire. Là, ils ont séchés à 25°C pendant une semaine. Pendant ce temps, ils ont été damés afin de casser les mottes, surtout celles d'Obourg, particulièrement argileuses. Enfin, les boues ont été pilées dans un mortier et tamisées. Seule la fraction inférieure à 2 mm a été conservée pour l'expérience.

L'analyse des boues a été confiée au Bureau Environnement et Analyses de Gembloux (B.E.A.Gx.).

3.4. Suivi quotidien

Chaque jour, le pH est réajusté (pH-mètre pH 340-A / SET-1 WTW Wissenschaftlich-Technische Werkstätten) avec de l'acide HCl ou de la base NaOH ainsi que le niveau d'eau.

3.5. Récolte des plantes

A chaque récolte, les 4 plants de choux poussant sur le même pot sont rassemblés. Le support de laine de roche est totalement éliminé des racines à la pince où il avait pu s'enchevêtrer. Les plantes entières sont ensuite pesées, c'est le poids frais (PF). Puis elles sont mises à l'étuve à 80° C dans des enveloppes ouvertes pendant au moins dix jours, jusqu'à la constance du poids. Elles sont alors à nouveau pesées pour en déterminer le poids sec (PS).

4. Analyses

4.1. Préparation des plantes

Les plantes séchées sont réduites en poudre dans un broyeur. Puis 1g de poudre (ou moins si l'échantillon était insuffisant) est alors pesé dans un creuset taré. Le creuset avec la poudre est placé dans un four moufle à 450°C pendant 3h. Cette calcination terminée, poudre et creuset sont à nouveau pesés afin de déterminer le pourcentage de cendres. A

ce moment, notre échantillon est déshydraté et toutes les espèces volatiles qui y étaient éventuellement fixées ont disparu ; il ne reste que les cendres.

Une attaque acide est alors réalisée. Les cendres reçoivent quelques gouttes d'eau distillée et 5 ml d' HNO_3 7N, ce qui permet leur solubilisation. Les éléments non métalliques (halogènes, S, N, ...) sont perdus par volatilisation. La digestion est maintenue pendant une heure, puis le contenu des creusets est filtré (papier Whatmann n°1) à l'eau distillée. Le volume est porté à 100 ml.

Les solutions sont conservées en chambre froide à 4°C. Un échantillon de 50 ml placé dans un tube Falcon® est ensuite préparé pour analyse.

4.2. Préparation des substrats liquides

Suite à la troisième récolte, les substrats liquides des pots sont récupérés. Pour se faire, la boue de chaque pot est bien agitée à l'aide d'un agitateur. Tout le contenu du pot est transvasé dans un récipient de deux litres et mis à niveau. Un échantillon d'environ 500 ml est prélevé et stocké en chambre froide à 4°C. Cet échantillon est ensuite filtré deux fois (papier Whatmann n°2, puis n°1), avant d'être transféré dans un tube Falcon® de 50 ml.

Les métaux lourds des plantes comme les substrats liquides sont dosés par spectrophotométrie d'absorption atomique, S.A.A. (Perkin Elmer ; AAnalyst 300 couplé à un Automated Sample preparation Autoprep 50 et à un Autosampler AS-90) (cf. fig. 10).



Fig. 10 : Le spectrophotomètre d'absorption atomique.

5. Traitement des résultats

En fonction de la quantité de boue (100 g par pot), du volume d'eau (1,4 L par pot) et de la production de matière sèche, il est possible d'évaluer par des coefficients les transferts, boue → substrat de culture → organes des végétaux, de certains éléments. Ces coefficients sont définis de la manière suivante :

1. Coefficient de Transfert total (CT) : par pot, pourcentage transféré d'un élément de la boue aux plantes.

$$\text{CT} : \frac{\text{quantité absorbée par les végétaux (mg)}}{\text{quantité apportée par la boue (mg)}} \times 100$$

2. Coefficient de Solubilisation à l'eau (CS) : par pot, pourcentage transféré d'un élément de la boue à l'eau du substrat de culture.

$$\text{CS}_{\text{eau}} : \frac{\text{quantité absorbée par les végétaux (mg)} + \text{quantité résiduelle dans l'eau du substrat (mg)}}{\text{quantité apportée par la boue (mg)}} \times 100$$

RESULTATS ET DISCUSSIONS

1. Remarques préalables sur le suivi de l'expérience

1.1. Survie des plantes

La toxicité des boues est susceptible d'être visualisée par la létalité même du matériel végétal.

Au cours des trois essais nous n'avons pas eu à déplorer de mortalité de plantes.

1.2. Mise à niveau des substrats

Les pertes en eau sont particulièrement élevées, suite à l'effet du « bullage » et de la température de la serre. Nous préconisons à l'avenir de couvrir les grilles pour limiter l'évaporation et d'éventuelles éclaboussures.

1.3. pH

Les fortes fluctuations de pH d'un jour à l'autre, nous ont conduit à déterminer le pouvoir tampon de chacune des boues vis-à-vis du pH.

Comme le montre la figure 11, les quatre boues A1, A2, B1 et B2 sont neutres à basiques, avec respectivement des pH de 8,6 , 7,5 , 8 et 7,7. La boue de Grandchamps (A1) montre le saut de pH le plus marqué, c'est-à-dire le pouvoir tampon le plus faible.

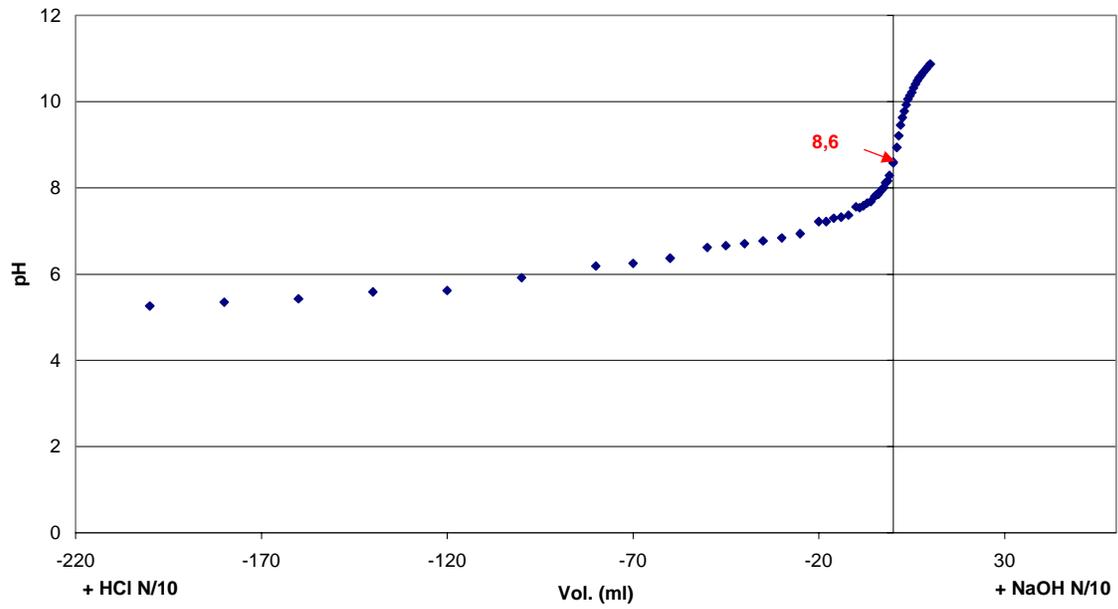
Les boues d'Obourg (B1 et B2) ont des allures de variation de pH très semblables.

Ces valeurs expliquent la grande difficulté qu'il y a eu de maintenir les pH des substrats à 5,5 et 7,5 (moins difficilement néanmoins pour ce dernier).

Malgré ces problèmes, nous avons renoncé à utiliser un tampon organique (risque de processus de chélation, risque de contamination par des bactéries dû à une source de carbone) ou minéral adapté aux pH désirés. En effet, il aurait fallu utiliser deux tampons différents, ce qui aurait pu induire un biais dans les comparaisons.

De plus, les plantes auraient assimilé très certainement une partie du tampon (notamment le phosphate), ce qui aurait pu être à l'origine de compétition ou de synergie avec les ions métalliques des boues.

A1 : Grandchamps



A2 : Vraimont

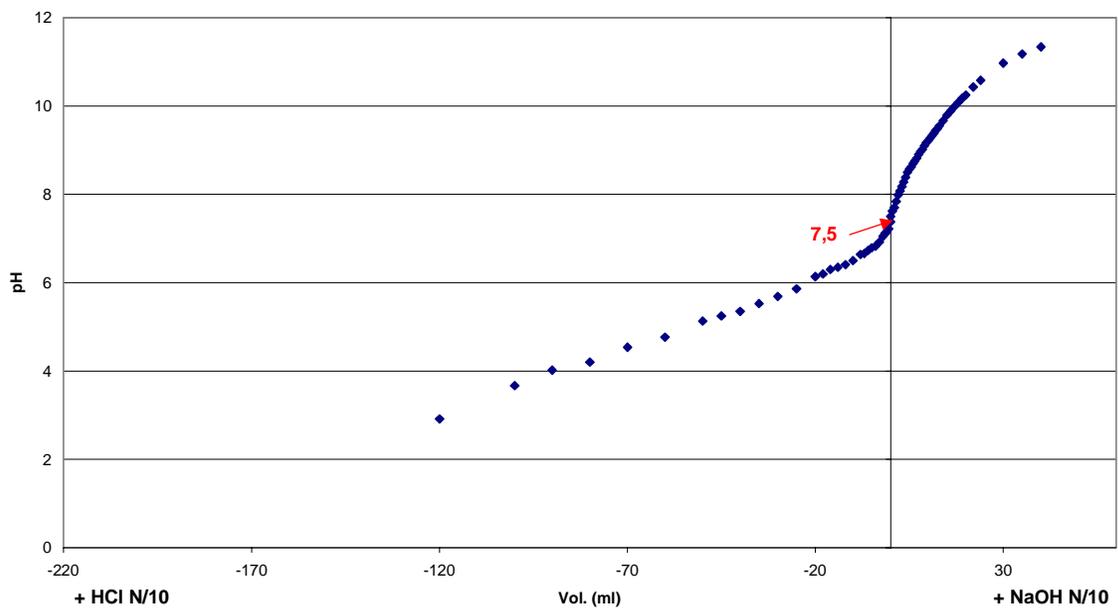
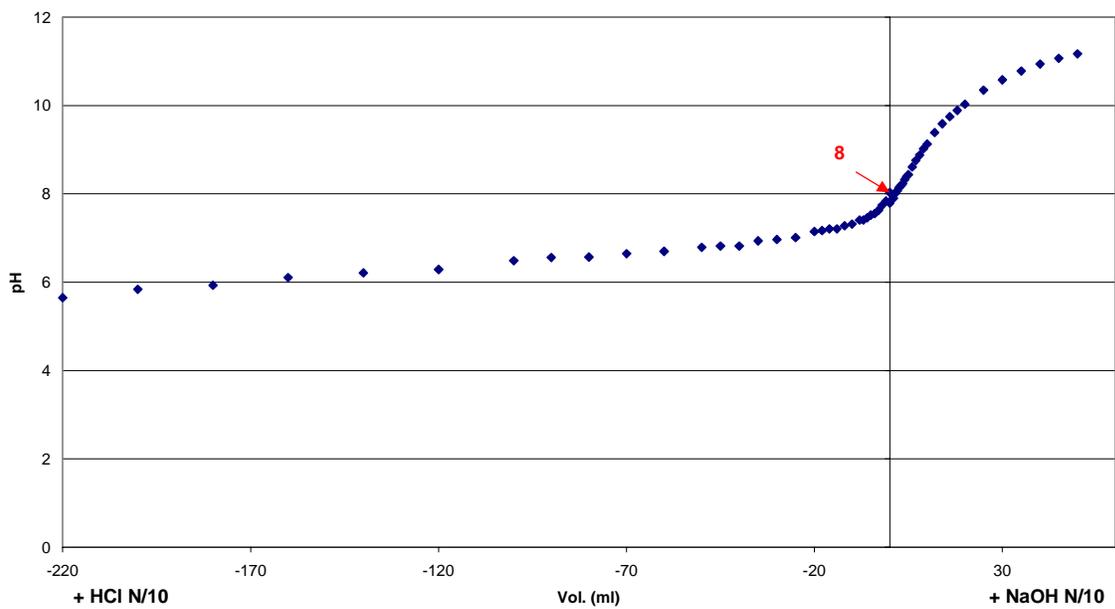


Fig. 11a : Pouvoir tampon des boues (Grandchamps et Vraimont).

B1 : Obourg



B2 : Obourg

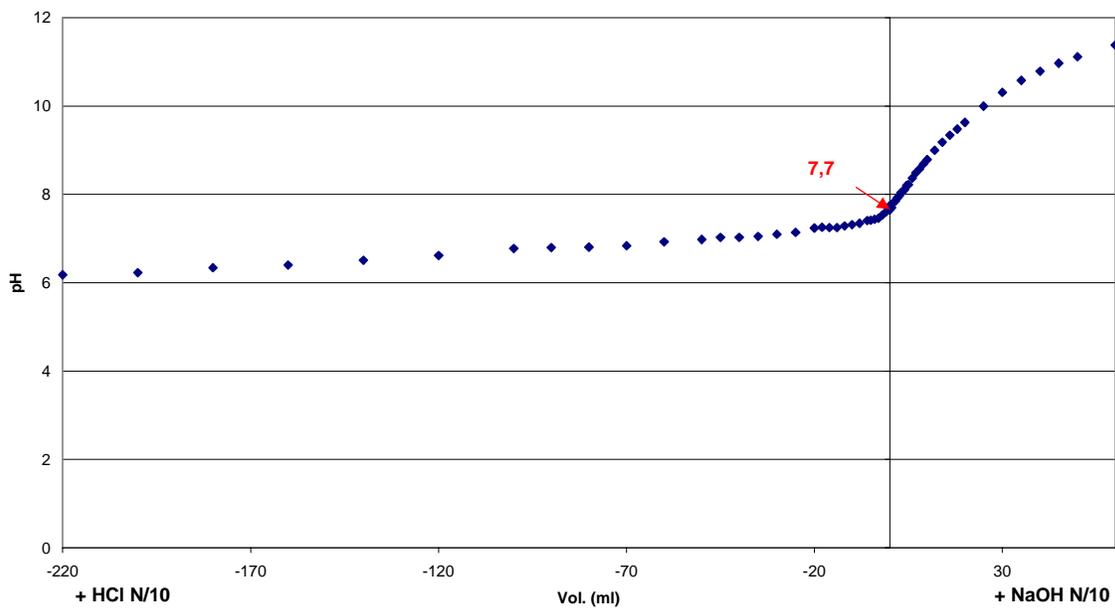


Fig. 11b : Pouvoir tampon des boues (Obourg).

2. Analyses des boues

Le Bureau Environnement et Analyses de Gembloux (B.E.A.Gx.) a réalisé l'analyse des quatre boues de dragage que nous avons échantillonnées. Les résultats sont repris au tableau 10. Les valeurs dépassant les teneurs de sécurité sont en rouge et celles dépassant les teneurs maximales admissibles, en orange. Les teneurs de sécurité et les teneurs maximales admissibles d'application en Région Wallonne ont été ajoutées au tableau pour rappel.

	A1	A2	B1	B2	Région Wallonne	
	Grandchamps	Vraimont	Obourg	Obourg	T.M.A.	T.S.
Cu	57	49	89	81	150	420
Zn	673	481	2550	1480	1000	2400
Cr	29	40	75	47	200	460
Ni	28	13	22	26	75	300
Pb	117	158	1122	289	250	1500
Cd	< 0,05	0,13	6,69	2,75	6	30

Tab. 10 : Analyses des métaux lourds des boues de dragage (en ppm) réalisées par le B.E.A.Gx. ; T.M.A. : teneur maximale admissible ; T.S. : teneur de sécurité.

2.1. Les boues de classe A

Les boues de Grandchamps (A1) et du Vraimont (A2) ne présentent aucun dépassement des teneurs maximales admissibles, ce qui justifie leur classement dans la catégorie A pour les six métaux analysés.

Le tableau montre aussi que ces deux boues de dragage sont très différentes. Grandchamps est plus contaminé en zinc, cuivre et nickel que Vraimont, ce dernier étant plus contaminé en chrome, plomb et cadmium.

2.2. Les boues de classe B

Les boues d'Obourg montrent des dépassements par rapport aux normes.

En particulier, la boue de « surface » (B1) dépasse la teneur de sécurité en zinc, raison de son classement dans la catégorie B. Ce même échantillon indique aussi un franchissement des teneurs maximales admissibles, élevé en plomb et limité en cadmium.

Dans le cas de l'échantillon sous-jacent (B2), il n'y a plus de dépassement des teneurs de sécurité, mais le zinc et le plomb dépassent modérément les teneurs maximales admissibles.

Toutes les teneurs en métaux lourds de B2 sont inférieures à celles de B1, sauf pour le nickel, mais la différence est très faible.

Le prélèvement correspondant à B2 demeure de classe B, car pratiquement sur le terrain, il n'est pas possible de séparer « l'horizon » B1 de « l'horizon » B2.

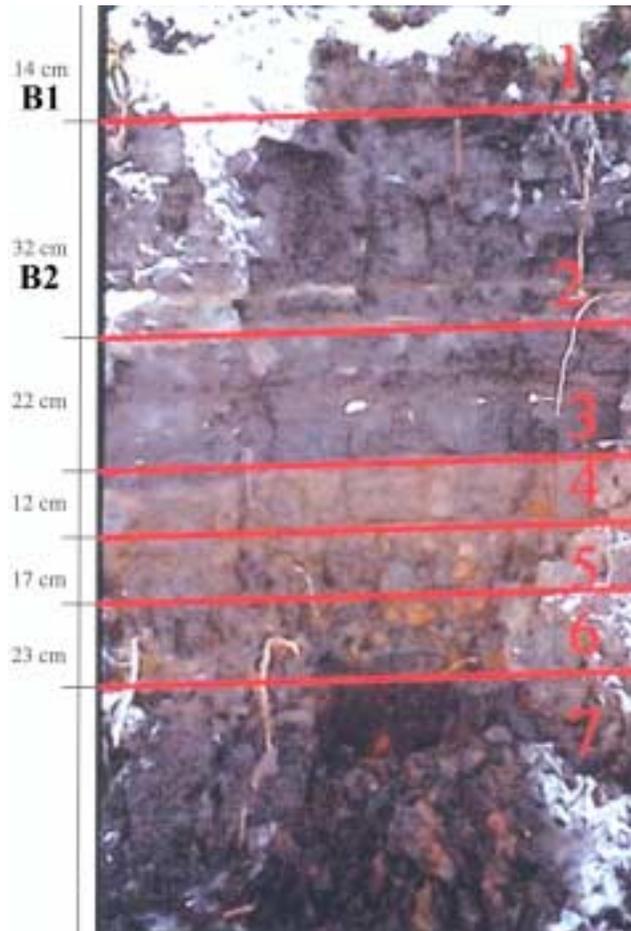


Fig. 12 : Profil du sol du site d'Obourg (Jacquet, 2002).

Nous constatons finalement que ces analyses sont bien représentatives du classement effectué a priori sur les boues de dragage étudiées en fonction des travaux déjà réalisés au Laboratoire d'Agrotechnologies Végétales (Jacquet, 2002).

3. Aspects morphologiques

L'aspect morphologique des trois cultures successives a été assez différent (fig. 13). C'est pourquoi nous présentons ici chacun séparément.

3.1. Essai n°1

Lors du premier essai, la photopériode était de type jour court. Cela s'est constaté par un faible développement des plantes qui présentaient toutes un aspect assez chétif.

Aucune différence visible n'a pu être constatée entre type de boue et entre pH.

3.2. Essai n°2

Pendant cette période, les conditions en serre étaient plus favorables : meilleur ensoleillement, températures supérieures et photopériode plus favorable (passage en jour long). Cela a contribué à atteindre une biomasse supérieure à l'essai précédent, quoique encore limitée au vu d'essais réalisés au laboratoire sur boue de dragage avec la même dose de solution nutritive, mais sur substrat solide (Jacquet, 2002).

Il est d'ailleurs apparu peu avant la récolte que les témoins montraient des signes de perte de vitalité. Nous pensons que ces signes étaient dû à une carence en éléments majeurs.

Là encore, les types de boue ne montrent pas de différences entre eux, ni entre les pH (acide et basique).

3.3. Essai n°3

Au vu des enseignements apportés par les essais précédents, il a été décidé de doubler la dose de solution nutritive par pot.

Cette fois, le port des choux a été beaucoup plus vigoureux et la biomasse produite supérieure.

Des différences ont commencé à apparaître entre les types de boues.



pH 7,5



pH 5,5

Essai n°1 (17/04/03)



pH 7,5



pH 5,5

Essai n°2 (20/05/03)



pH 7,5



pH 5,5

Essai n°3 (10/06/03)

Fig. 13 : Vue générale des trois essais selon le pH.

Globalement, le port des plantes est plus dense au pH 7,5 qu'à celui de 5,5 (fig. 14 et 15), ce qui semblerait indiquer une toxicité plus grande en conditions acides.



T = Témoin ; A1 = Grandchamps ; A2 = Vraimont ; B1 = Obourg 1 ; B2 = Obourg 2.

Fig. 14 : Comparaison entre les cinq boues aux pH 5,5 et 7,5 du troisième essai.

La différence la plus visible et marquée concerne la première boue d'Obourg (B1). Les choux poussant sur cette boue sont plus petits que ceux des autres boues. Une chlorose internervaire s'est développée et des taches nécrotiques sont apparues sur le bord des limbes en commençant par les plus jeunes feuilles (cf. fig. 16)

Pour la boue B1 toujours, le pH 5,5 a eu un effet dépressif plus précoce et plus marqué que le pH 7,5.

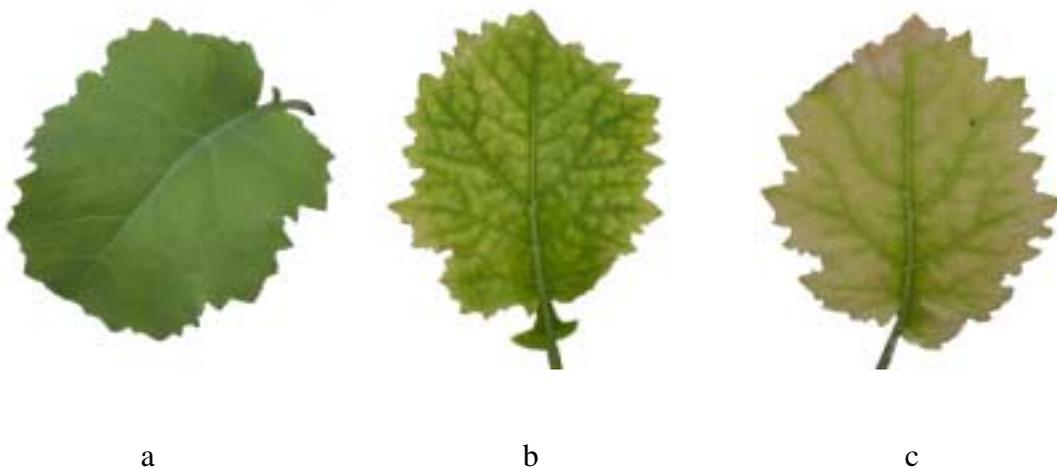


Fig. 16 : Chlorose et nécrose des feuilles du traitement B1.
a : feuille saine ; b : premier stade ; c : stade plus avancé.



pH 5,5 pH 7,5
Grandchamps (A1)



pH 5,5 pH 7,5
Vraimont (A2)



pH 5,5 pH 7,5
Obourg (B1)



pH 5,5 pH 7,5
Obourg (B2)



pH 5,5 pH 7,5
Témoin (T)

Fig. 15 : Comparaison de chaque traitement (A1, A2, B1, B2 et T) aux deux pH (5,5 et 7,5) pour l'essai n°3.

4. Production végétale

Les plantes ont été récoltées entières, c'est-à-dire avec les racines, ce que permet le dispositif hydroponique.

Pour chaque essai, les poids frais et secs ont été mesurés, permettant d'en déduire le pourcentage de matière sèche.

Tous ces résultats sont repris en détail en annexe (annexes 1 à 4).

Les trois essais successifs seront d'abord étudiés individuellement, car ils présentent de grandes disparités entre eux. Puis nous considérerons la somme des biomasses produites.

4.1. Essai n°1

La figure 17 illustre les données pondérales et le pourcentage de matière sèche du matériel végétal du premier essai (l'annexe 1 reprend la totalité des données). Chacune a fait l'objet d'une analyse de variance à deux facteurs (F1 : « pH » et F2 : « type de boue ») et d'un test de Newman-Keuls (à $p = 0,05$).

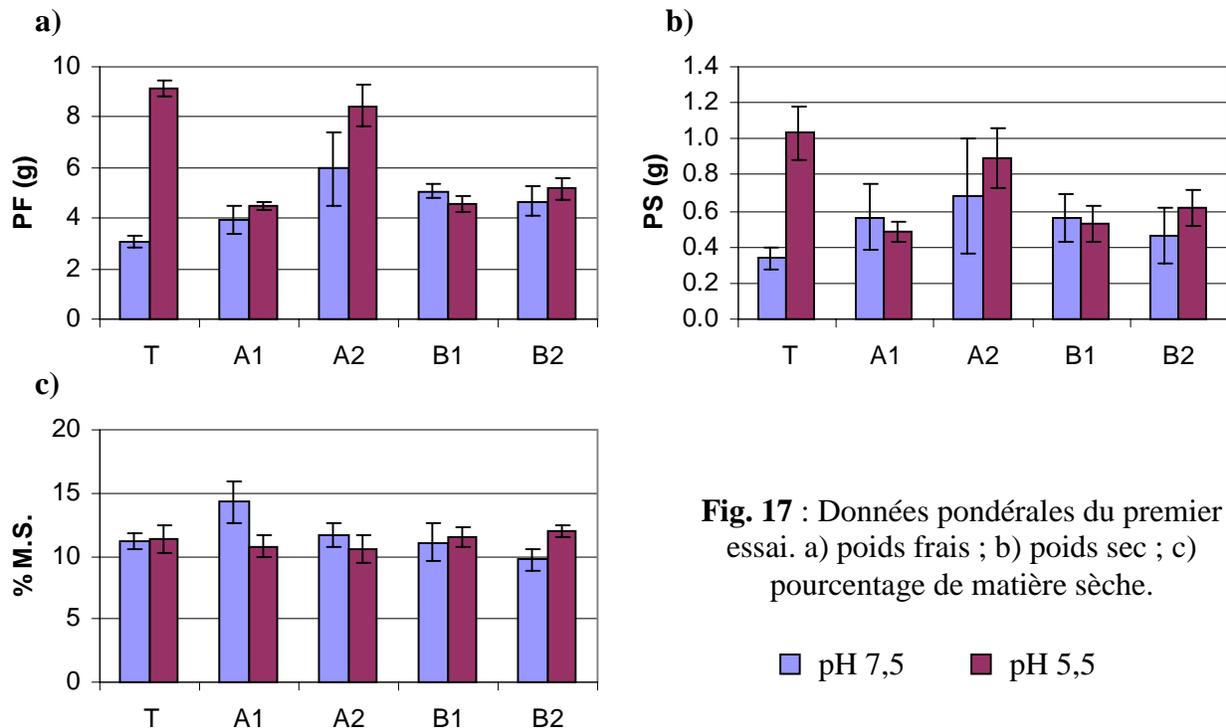


Fig. 17 : Données pondérales du premier essai. a) poids frais ; b) poids sec ; c) pourcentage de matière sèche.

■ pH 7,5 ■ pH 5,5

T : Témoin ; A1 : Grandchamps ; A2 : Vraimont ; B1 : Obourg 1 ; B2 : Obourg 2

4.1.1. Le poids frais

	S.C.E.	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	233.05	49	4.76				
VAR.FACTEUR 1: pH	43.71	1	43.71	27.26	0.0000		
VAR.FACTEUR 2: boue	58.38	4	14.59	9.10	0.0000		
VAR.INTER F1*2	66.83	4	16.71	10.42	0.0000		
VAR.RESIDUELLE 1	64.13	40	1.60			1.27	23.30%

Tab. 11 : Analyse de la variance appliquée au poids frais du premier essai.

L'analyse statistique indique que l'effet pH (pH 5,5 et pH 7,5), toutes boues confondues, est très hautement significatif. La plus grande productivité est obtenue pour le pH de 5,5 comme le met en évidence le test suivant :

test de NEWMAN-KEULS - seuil = 5% - (pH)

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES	HOMOGENES
2	5.5	6.37	A	
1	7.5	4.50	B	

Le facteur boue est également très hautement significatif. Le test de Newman-Keuls au seuil de 5% (ci-dessous) permet de mettre en évidence trois groupes homogènes. Les poids frais des choux du substrat A2 se distinguent ainsi de tous les autres issus des autres boues, mais se confondent avec le témoin. Les plantes sur les boues d'Obourg (B1 et B2) forment le second groupe, toujours avec celles témoin. Enfin, le troisième groupe réunit B2, B1 et A1.

test de NEWMAN-KEULS - seuil = 5% - (boue)

F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES	HOMOGENES
3	A2	7.21	A	
1	T	6.11	A B	
5	B2	4.92	B C	
4	B1	4.73	B C	
2	A1	4.22	C	

L'interaction pH-boue est aussi très hautement significative. A noter qu'à pH 5,5, T et A2 forment un groupe homogène, différent de tous les autres.

test de NEWMAN-KEULS - seuil = 5% - (pH-boue)

F1	F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES	HOMOGENES
2	1	5.5-T	9.16	A	
2	3	5.5-A2	8.46	A	
1	3	7.5-A2	5.96		B
2	5	5.5-B2	5.16		B C
1	4	7.5-B1	4.88		B C
1	5	7.5-B2	4.68		B C
2	4	5.5-B1	4.58		B C
2	2	5.5-A1	4.50		B C
1	2	7.5-A1	3.94		B C
1	1	7.5-T	3.05		C

4.1.2. Le poids sec

	S.C.E.	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	2.94	49	0.06				
VAR.FACTEUR 1: pH	0.44	1	0.44	17.36	0.0002		
VAR.FACTEUR 2: boue	0.53	4	0.13	5.19	0.0019		
VAR.INTER F1*2	0.95	4	0.24	9.37	0.0000		
VAR.RESIDUELLE 1	1.02	40	0.03			0.16	25.90%

Tab. 12 : Analyse de la variance appliquée au poids sec du premier essai.

Pour les poids secs, l'effet pH est encore très hautement significatif. Le pH 5,5 donne la biomasse la plus élevée comme précédemment pour la production de matière fraîche.

test de NEWMAN-KEULS - seuil = 5% - (pH)

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES	HOMOGENES
2	5.5	0.71	A	
1	7.5	0.52	B	

Pour le facteur « boue », hautement significatif, il n'y a plus que deux groupes homogènes : A2 d'une part dont la biomasse est la plus importante et tous les autres d'autre part. Le témoin relève des deux groupes.

test de NEWMAN-KEULS - seuil = 5% - (boue)

F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES	HOMOGENES
3	A2	0.78	A	
1	T	0.69	A B	
4	B1	0.55	B	
5	B2	0.54	B	
2	A1	0.52	B	

L'interaction pH-boue pour les PS est semblable à celles des PF.

test de NEWMAN-KEULS - seuil = 5% - (pH-boue)

F1	F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES	HOMOGENES
2	1	5.5-T	9.16	A	
2	3	5.5-A2	8.46	A	
1	3	7.5-A2	5.96	B	
2	5	5.5-B2	5.16	B C	
1	4	7.5-B1	4.88	B C	
1	5	7.5-B2	4.68	B C	
2	4	5.5-B1	4.58	B C	
2	2	5.5-A1	4.50	B C	
1	2	7.5-A1	3.94	B C	
1	1	7.5-T	3.05	C	

4.1.3. Le pourcentage de matière sèche

Pour le pourcentage de matière sèche, les deux facteurs ne sont pas statistiquement significatifs.

	S.C.E.	DDL	CARRÉS MOYENS	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	440.15	49	8.98				
VAR.FACTEUR 1: pH	1.06	1	1.06	0.11	0.7378		
VAR.FACTEUR 2: boue	16.27	4	4.07	0.43	0.7864		
VAR.INTER F1*2	46.57	4	11.64	1.24	0.3102		
VAR.RESIDUELLE 1	376.24	40	9.41			3.07	26.70%

Tab. 13 : Analyse de la variance appliquée au pourcentage de matière sèche du premier essai.

4.2. Essai n°2

Alors que pour l'essai n°1, l'analyse de la variance montrait des différences significatives pour le facteur pH, ici au contraire, dans cet essai, il n'y a plus de différences significatives.

L'annexe 2 reprend les données ayant servi à établir les histogrammes de la figure 18.

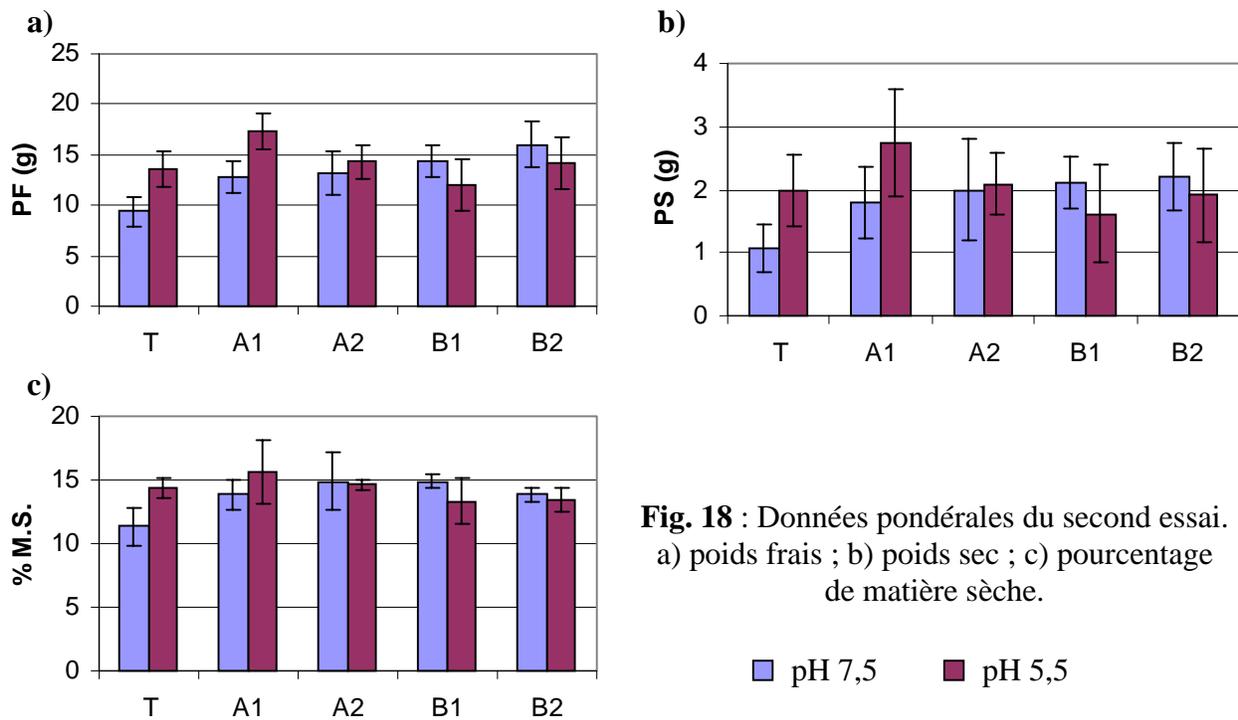


Fig. 18 : Données pondérales du second essai.
a) poids frais ; b) poids sec ; c) pourcentage de matière sèche.

■ pH 7,5 ■ pH 5,5

T = Témoin ; A1 = Grandchamps ; A2 = Vraimont ; B1 = Obourg 1 ; B2 = Obourg 2

4.2.1. *Le poids frais*

	S.C.E.	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	843.29	49	17.21				
VAR.FACTEUR 1: pH	15.79	1	15.79	1.00	0.3252		
VAR.FACTEUR 2: boue	88.56	4	22.14	1.40	0.2515		
VAR.INTER F1*2	105.28	4	26.32	1.66	0.1769		
VAR.RESIDUELLE 1	633.66	40	15.84			3.98	29.00%

Tab. 14 : Analyse de la variance appliquée au poids frais du second essai.

4.2.2. *Le poids sec*

	S.C.E.	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	23.99	49	0.49				
VAR.FACTEUR 1: pH	0.65	1	0.65	1.65	0.2039		
VAR.FACTEUR 2: boue	3.08	4	0.77	1.95	0.1204		
VAR.INTER F1*2	4.44	4	1.11	2.80	0.0381		
VAR.RESIDUELLE 1	15.82	40	0.40			0.63	32.20%

Tab. 15 : Analyse de la variance appliquée au poids sec du second essai.

Les facteurs « pH » et « boue » pris séparément, ne sont pas significatifs, à la différence de leur interaction pour la production de matière sèche. Cependant, le recouvrement très important des deux groupes homogènes observés, n'apporte pas de renseignements vraiment utiles.

Néanmoins, le fait qu'au pH 7,5 le témoin, c'est-à-dire le traitement n'ayant reçu qu'une alimentation minérale ait la plus faible biomasse, montre que cet effet n'est pas lié à l'apport de boues et des E.T.M. qu'elles contiennent. Nous supposons que nos observations dans cet essai reflètent plutôt une insuffisance en éléments nutritifs chez le témoin ou une diminution de leur assimilation à pH 7,5. La valeur fertilisante des boues compenserait les carences de la solution nutritive et favoriserait la production d'une biomasse plus importante.

test de NEWMAN-KEULS - seuil = 5% - (pH-boue)

F1	F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES	HOMOGENES
2	2	5.5-A1	2.73	A	
1	5	7.5-B2	2.21	A	B
1	4	7.5-B1	2.12	A	B
2	3	5.5-A2	2.09	A	B
1	3	7.5-A2	1.99	A	B
2	1	5.5-T	1.98	A	B
2	5	5.5-B2	1.91	A	B
1	2	7.5-A1	1.80	A	B
2	4	5.5-B1	1.62	A	B
1	1	7.5-T	1.07		B

4.2.3. Le pourcentage de matière sèche

L'analyse statistique montre que les deux effets étudiés sont non significatifs.

	S.C.E.	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	16225.8	49	331.14				
VAR.FACTEUR 1: pH	413.81	1	413.81	1.40	0.2424		
VAR.FACTEUR 2: boue	1738.32	4	434.58	1.47	0.2289		
VAR.INTER F1*2	2239.72	4	559.93	1.89	0.1295		
VAR.RESIDUELLE 1	11833.96	40	295.85			17.20	58.40%

Tab. 16 : Analyse de la variance appliquée au pourcentage de matière sèche du second essai.

4.3. Essai n°3

Suite aux observations faites pour l'essai n°2, la quantité de solution nutritive a été doublée dans tous les pots. Les résultats montrent des tendances nettement plus accentuées qu'auparavant d'autant plus que les conditions de croissance étaient meilleures. La totalité des données se trouvent à l'annexe 3 et sont illustrées par la figure 19.

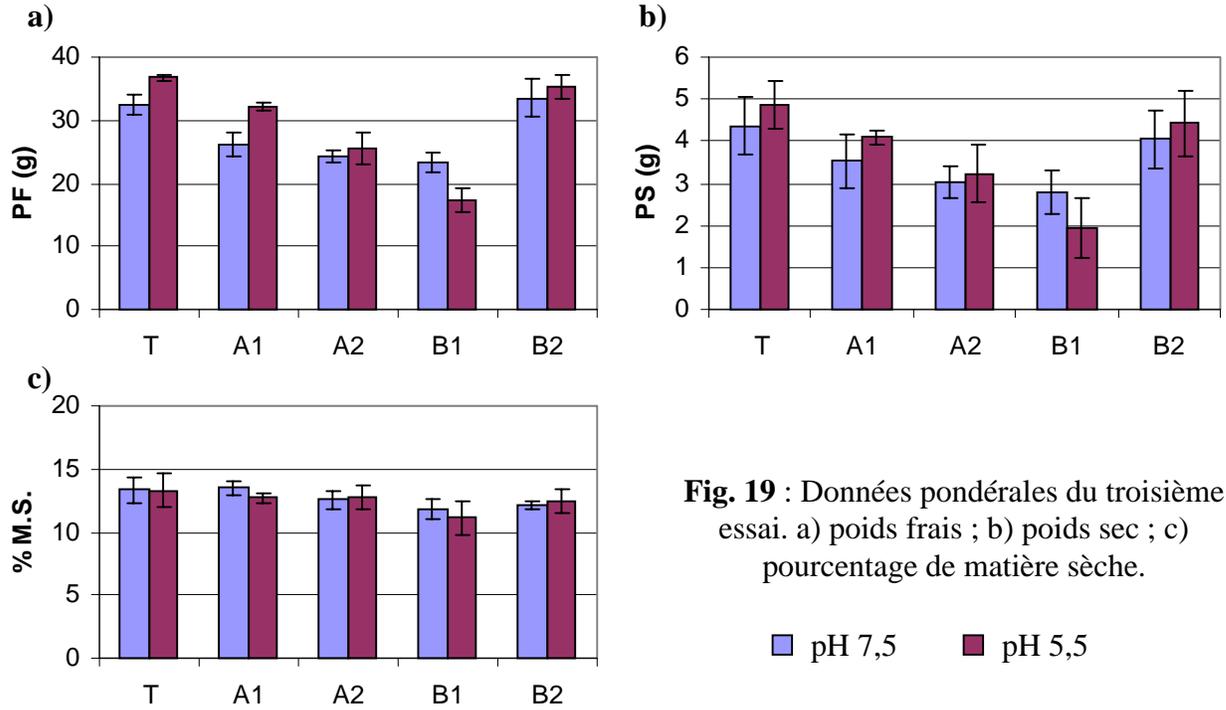


Fig. 19 : Données pondérales du troisième essai. a) poids frais ; b) poids sec ; c) pourcentage de matière sèche.

■ pH 7,5 ■ pH 5,5

T = Témoin ; A1 = Grandchamps ; A2 = Vraimont ; B1 = Obourg 1 ; B2 = Obourg 2.

4.3.1. *Le poids frais*

Dans cet essai, le facteur « pH » n'est pas significatif d'un point de vue statistique comme l'indique le tableau 17, contrairement au facteur « boue » qui lui est très hautement significatif, l'effet d'interaction entre les deux facteurs était hautement significatif.

	S.C.E.	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	2309.24	49	47.13				
VAR.FACTEUR 1: pH	24.64	1	24.64	1.85	0.1785		
VAR.FACTEUR 2: boue	1529.73	4	382.43	28.66	0.0000		
VAR.INTER F1*2	221.09	4	55.27	4.14	0.0068		
VAR.RESIDUELLE 1	533.78	40	13.34			3.65	12.70%

Tab. 17 : Analyse de la variance appliquée au poids frais du troisième essai.

Le test de Newman-Keuls montre clairement que chaque type de boue forme un groupe homogène différent des autres. Tous présentent un effet dépressif par rapport au témoin, à l'exception de B2, qui lui est semblable. La production de biomasse peut être classée dans l'ordre décroissant suivant : B2>A1>A2>B1.

test de NEWMAN-KEULS - seuil = 5% - (boue)

F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES	HOMOGENES
1	T	34.61	A	
5	B2	34.41	A	
2	A1	29.10	B	
3	A2	24.84		C
4	B1	20.31		D

L'interaction des deux facteurs « boue » et « pH » met trois groupes homogènes en évidence. Le plus remarquable concerne B1 à pH 5,5 dont la biomasse est la plus faible, inférieure au témoin et ayant donc un effet phytotoxique plus marqué.

test de NEWMAN-KEULS - seuil = 5% - (pH-boue)

F1	F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES	HOMOGENES
2	1	5.5-T	36.70	A	
2	5	5.5-B2	35.28	A	
1	5	7.5-B2	33.54	A	
1	1	7.5-T	32.52	A	
2	2	5.5-A1	32.14	A	
1	2	7.5-A1	26.06		B
2	3	5.5-A2	25.48		B
1	3	7.5-A2	24.20		B
1	4	7.5-B1	23.44		B
2	4	5.5-B1	17.18		C

4.3.2. Le poids sec

Au niveau des poids secs, seul le facteur « boue » est statistiquement très hautement significatif, tandis que le facteur pH tout comme l'interaction des deux facteurs sont non significatifs.

	S.C.E.	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	48.12	49	0.98				
VAR.FACTEUR 1: pH	0.24	1	0.24	0.71	0.4080		
VAR.FACTEUR 2: boue	31.36	4	7.84	23.54	0.0000		
VAR.INTER F1*2	3.20	4	0.80	2.40	0.0652		
VAR.RESIDUELLE 1	13.32	40	0.33			0.58	15.90%

Tab. 18 : Analyse de la variance appliquée au poids sec du troisième essai.

Quatre groupes homogènes peuvent à nouveau être caractérisés comme pour le poids frais. Cependant, B2 et A1 sont à présent réunis dans un même groupe et toutes les moyennes inférieures au témoin.

test de NEWMAN-KEULS - seuil = 5% - (boue)

F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES	HOMOGENES
1	T	4.61	A	
5	B2	4.17	A B	
2	A1	3.81	B	
3	A2	3.14		C
4	B1	2.37		D

4.3.3. Le pourcentage de matière sèche

	S.C.E.	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	56.24	49	1.15				
VAR.FACTEUR 1: pH	0.82	1	0.82	1.06	0.3104		
VAR.FACTEUR 2: boue	22.64	4	5.66	7.34	0.0002		
VAR.INTER F1*2	1.90	4	0.48	0.62	0.6557		
VAR.RESIDUELLE 1	30.87	40	0.77			0.88	7.00%

Tab. 19 : Analyse de la variance appliquée au pourcentage de matière sèche du troisième essai.

Seul le facteur « boue » est très hautement significatif. Il permet la mise en évidence de trois groupes homogènes se chevauchant. Les plantes croissant sur les boues B2 et B1 se caractérisent par des pourcentages de matière sèche les plus faibles par rapport aux autres boues et surtout au témoin.

test de NEWMAN-KEULS - seuil = 5% - (boue)

F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES	HOMOGENES
1	T	13.31	A	
2	A1	13.11	A	
3	A2	12.62	A B	
5	B2	12.13	B C	
4	B1	11.46	C	

Dans le troisième essai, le poids frais est le critère qui discrimine le plus les différences entre types de boue sur lesquelles les plantes se développent et met en évidence l'effet phytotoxique du pH acide (pH 5,5) pour la boue B1 d'Obourg.

4.4. Somme des biomasses produites par les trois essais successifs

A la suite des trois essais, nous avons fait la somme des biomasses produites sur le même substrat pour le poids frais et pour le poids sec (cf. annexe 4). Les figures suivantes illustrent les résultats pour le pH 5,5 d'une part (fig. 20) et le pH 7,5 d'autre part (fig. 21).

Ces figures montrent que le pH acide engendre de plus importantes variations de biomasse entre boues que le pH basique.

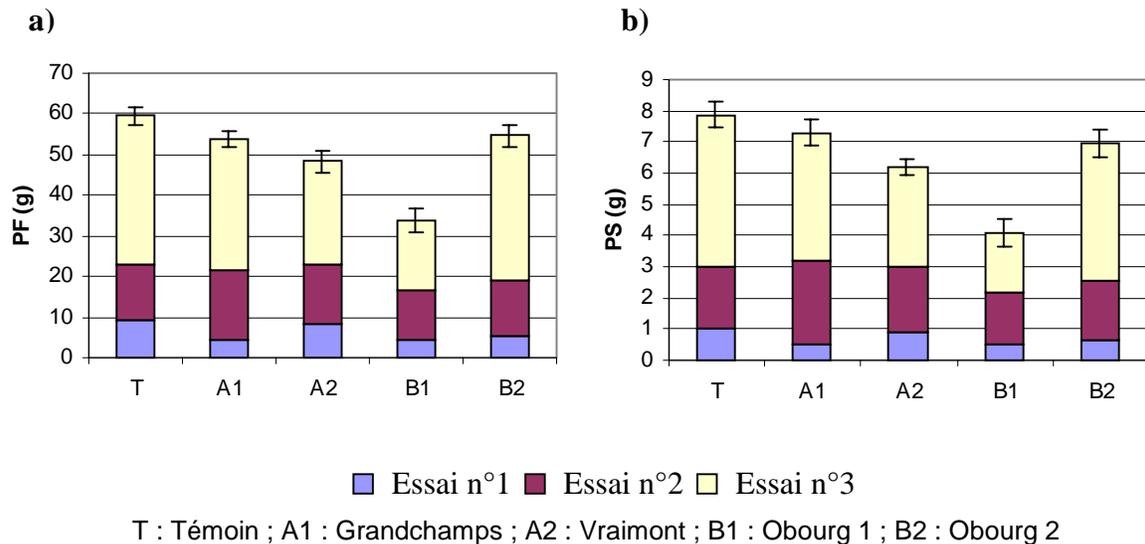
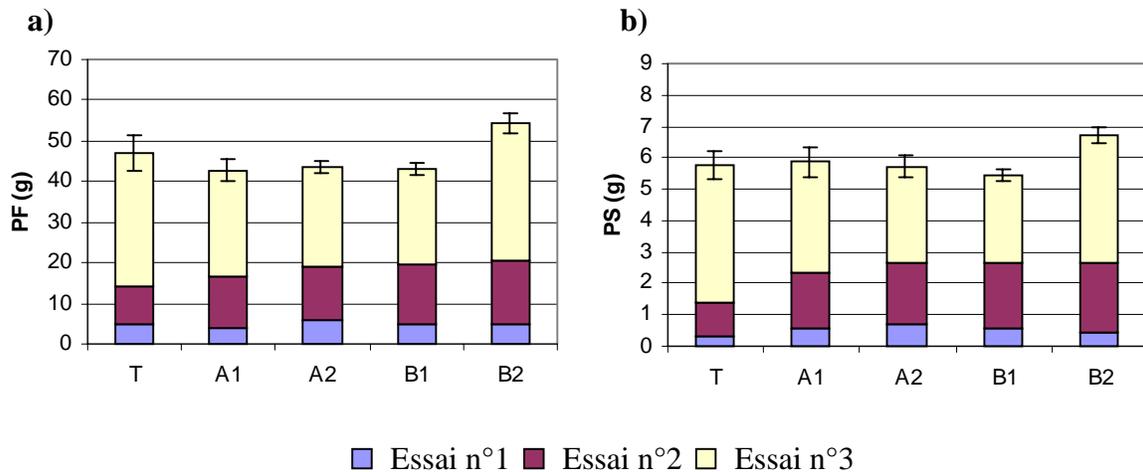


Fig. 20 : Données pondérales cumulées des trois essais pour le pH 7,5.
a) poids frais ; b) poids sec.



T : Témoin ; A1 : Grandchamps ; A2 : Vraimont ; B1 : Obourg 1 ; B2 : Obourg 2

Fig. 21 : Données pondérales cumulées des trois essais pour le pH 5,5.
a) poids frais ; b) poids sec.

4.4.1. *Le poids frais*

	S.C.E.	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	3573.23	49	72.92				
VAR.FACTEUR 1: pH	241.78	1	241.78	10.98	0.0021		
VAR.FACTEUR 2: boue	1595.61	4	398.90	18.11	0.0000		
VAR.INTER F1*2	854.81	4	213.70	9.70	0.0000		
VAR.RESIDUELLE 1	881.03	40	22.03			4.69	9.80%

Tab. 20 : Analyse de la variance appliquée au poids frais.

Le facteur « pH » est hautement significatif. Les biomasses maximales sont obtenues à pH acide, c'est-à-dire pH 5,5.

test de NEWMAN-KEULS - seuil = 5% - (pH)

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES	HOMOGENES
2	5.5	50.01	A	
1	7.5	45.61	B	

Lorsque l'on considère le facteur « boue », quatre groupes homogènes sont observables. Excepté pour B2, toutes les plantes subissent un effet dépressif par rapport au témoin. Cet effet est le plus marqué pour B1 qui forme à lui seul un des groupes.

Les plantes poussant sur des boues de classe A (A1 et A2) appartiennent au même groupe, alors que celles poussant sur des boues de classe B appartiennent aux deux groupes les plus opposés. La classe des boues n'est donc pas un critère valable en terme de phytotoxicité réelle pour les plantes.

test de NEWMAN-KEULS - seuil = 5% - (boue)

F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES	HOMOGENES
5	B2	54.43	A	
1	T	52.21	A B	
2	A1	48.35	B C	
3	A2	45.84		C
4	B1	38.21		D

L'interaction « pH-boue » est très hautement significative. Il semble que globalement le pH soit plus toxique pour les plantes lorsqu'il est basique, plutôt qu'acide (biomasses plus faibles), sauf dans le cas de B1. Il sera important de vérifier dans la partie suivante si le pH 5,5 induit un transfert plus important des E.T.M. chez B1 que chez les autres boues et à pH 7,5.

test de NEWMAN-KEULS - seuil = 5% - (pH-boue)

F1	F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES	HOMOGENES
2	1	5.5-T	59.50	A	
2	5	5.5-B2	54.60	A B	
1	5	7.5-B2	54.26	A B	
2	2	5.5-A1	53.90	A B	
2	3	5.5-A2	48.28	B	C
1	1	7.5-T	44.93		C
1	3	7.5-A2	43.40		C
1	2	7.5-A1	42.80		C
1	4	7.5-B1	42.66		C
2	4	5.5-B1	33.76		D

4.4.2. *Le poids sec*

	S.C.E.	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	73.67	49	1.50				
VAR.FACTEUR 1: pH	3.84	1	3.84	6.71	0.0128		
VAR.FACTEUR 2: boue	29.38	4	7.34	12.85	0.0000		
VAR.INTER F1*2	17.58	4	4.40	7.69	0.0001		
VAR.RESIDUELLE 1	22.87	40	0.57			0.76	12.20%

Tab. 21 : Analyse de la variance appliquée au poids sec.

L'effet « pH » est significatif alors que l'effet « boue » est très hautement significatif, de même que l'interaction entre les deux facteurs. Toutes boues confondues, la production est supérieure lorsque le substrat est acide.

test de NEWMAN-KEULS - seuil = 5% - (pH)

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES	HOMOGENES
2	5.5	6.47	A	
1	7.5	5.91	B	

La biomasse des plantes sur B1 (boue la plus contaminée) est inférieure à celle produite sur toutes les autres boues qui sont regroupées en un seul groupe homogène différent de B1.

test de NEWMAN-KEULS - seuil = 5% - (boue)

F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES	HOMOGENES
1	T	6.82	A	
5	B2	6.77	A	
2	A1	6.60	A	
3	A2	5.97	A	
4	B1	4.78	B	

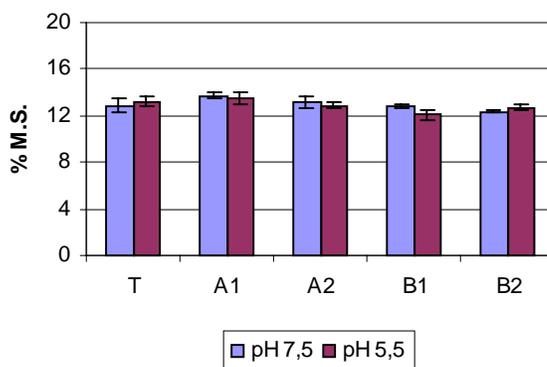
L'interaction montre les mêmes compositions de groupes homogènes que celles obtenues à partir du poids frais, avec la plus faible biomasse pour les plantes sur B1 à pH 5,5.

test de NEWMAN-KEULS - seuil = 5% - (pH-boue)

F1	F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES	HOMOGENES
2	1	5.5-T	7.88	A	
2	2	5.5-A1	7.31	A	B
2	5	5.5-B2	6.84	A	B C
1	5	7.5-B2	6.71	A	B C
2	3	5.5-A2	6.21		B C
1	2	7.5-A1	5.89		C
1	1	7.5-T	5.77		C
1	3	7.5-A2	5.72		C
1	4	7.5-B1	5.47		C
2	4	5.5-B1	4.10		D

4.4.3. Le pourcentage pondéré de matière sèche

Ce pourcentage de matière sèche a été obtenu par calcul à partir des sommes des biomasses en poids frais et sec des trois essais successifs (fig. 22). Il ne s'agit donc pas d'une moyenne des pourcentages de matière sèche précédent, mais d'une moyenne pondérée.



T = Témoin ; A1 = Grandchamps ; A2 = Vraimont ; B1 = Obourg 1 ; B2 = Obourg 2

Fig. 22 : Pourcentage de matière sèche pondéré des trois essais.

	S.C.E.	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	34.00	49	0.69				
VAR.FACTEUR 1: pH	0.23	1	0.23	0.42	0.5275		
VAR.FACTEUR 2: boue	9.87	4	2.47	4.49	0.0044		
VAR.INTER F1*2	1.90	4	0.48	0.87	0.4946		
VAR.RESIDUELLE 1	21.99	40	0.55			0.74	5.70%

Tab. 22 : Analyse de la variance appliquée au pourcentage pondéré de matière sèche.

Ici, seul le facteur « boue » est hautement significatif. Deux groupes homogènes se recoupant se distinguent. Ils permettent de montrer qu'une différence existe entre A1 et B2-B1, en faveur du premier.

test de NEWMAN-KEULS - seuil = 5% - (boue)

F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES
2	A1	13.63	A
1	T	13.03	A B
3	A2	13.02	A B
5	B2	12.44	B
4	B1	12.44	B

A ce stade des résultats, on ne note pas de corrélation entre la classe de boue et les effets sur la biomasse.

Toutefois, la boue B1 est la plus phytotoxique et présente un risque à pH acide.

5. Analyses des substrats liquides après culture

		Cu	Zn	Pb	Cd	Ni	Cr
pH 7,5	T	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	A1	n.d.	0.34	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	A2	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	B1	n.d.	1.75	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	B2	n.d.	0.52	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
pH 5,5	T	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.03
	A1	n.d.	0.56	n.d.	n.d.	n.d.	0.06
	A2	n.d.	0.06	n.d.	n.d.	n.d.	0.07
	B1	n.d.	2.93	n.d.	n.d.	n.d.	0.07
	B2	n.d.	1.02	n.d.	n.d.	n.d.	0.06

n.d. : non détectable à 0,01 ppm

T = Témoin ; A1 = Grandchamps ; A2 = Vraimont ; B1 = Obourg 1 ; B2 = Obourg 2

Tab. 23 : Teneurs en E.T.M. (en ppm) des substrats liquides après culture par boue en fonction du pH.

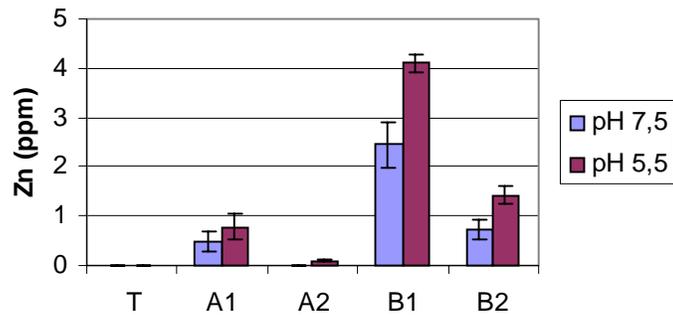
La plupart des E.T.M. (Cu, Pb, Cd, Ni) ne sont pas détectables dans les substrats liquides quelque soient les pH (tab. 23 et annexe 5).

Le zinc :

Dans le cas du zinc, on ne le retrouve pas dans le témoin. Cela est tout à fait normal, puisque la solution nutritive n'en contient pas.

A pH 5,5, les teneurs en zinc sont plus importantes qu'à pH 7,5 de l'ordre d'un facteur proche de 2.

Les substrats s'ordonnent de la manière suivante, du plus contaminé au moins contaminé : B1 > B2 > A1 > A2. Il s'agit du même ordre que celui pour les teneurs dans les boues.

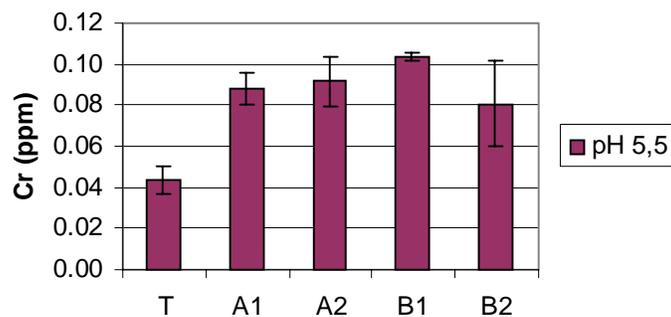


T = Témoin ; A1 = Grandchamps ; A2 = Vraimont ; B1 = Obourg 1 ; B2 = Obourg 2

Fig. 23 : Composition en zinc (en ppm) des substrats liquides après culture en fonction du pH et de l'origine de la boue.

Le chrome :

Le chrome n'est détectable qu'à pH 5,5. Il est présent en faible quantité chez le témoin. Ici, aucune corrélation ne s'établit entre les teneurs dans les substrats liquides et dans les boues ajoutées.



T = Témoin ; A1 = Grandchamps ; A2 = Vraimont ; B1 = Obourg 1 ; B2 = Obourg 2

Fig. 24 : Composition en chrome (en ppm) des substrats liquides après culture en fonction du pH et de l'origine de la boue.

6. Analyses du matériel végétal

Le tableau 24 montre que les plantes accumulent principalement du cuivre et du zinc. L'annexe 6 reprend le détail des résultats pour toutes les répétitions.

		Cu		Zn		Pb		Cd		Ni		Cr		
		(ppm)	% du T											
essai n°1	pH 7,5	T	46	100	650	100	n.d.	-	n.d.	-	n.d.	-	n.d.	-
		A1	59	126	543	84	n.d.	-	n.d.	-	n.d.	-	22	-
		A2	44	94	746	115	n.d.	-	n.d.	-	n.d.	-	12	-
		B1	26	55	1420	218	n.d.	-	n.d.	-	n.d.	-	12	-
		B2	33	71	670	103	n.d.	-	n.d.	-	n.d.	-	2	-
	pH 5,5	T	16	100	494	100	n.d.	-	n.d.	-	n.d.	-	n.d.	-
		A1	44	278	386	78	n.d.	-	n.d.	-	24	-	1	-
		A2	33	207	869	176	n.d.	-	1	-	15	-	14	-
		B1	61	387	923	187	n.d.	-	n.d.	-	2	-	n.d.	-
		B2	49	308	461	93	n.d.	-	n.d.	-	n.d.	-	n.d.	-
essai n°2	pH 7,5	T	44	100	54	100	n.d.	-	n.d.	-	n.d.	-	n.d.	-
		A1	47	108	135	247	n.d.	-	n.d.	-	n.d.	-	n.d.	-
		A2	37	83	160	294	n.d.	-	n.d.	-	n.d.	-	n.d.	-
		B1	26	60	723	1330	70	-	n.d.	-	n.d.	-	n.d.	-
		B2	34	77	291	535	n.d.	-	n.d.	-	7	-	n.d.	-
	pH 5,5	T	30	100	187	100	n.d.	-	n.d.	-	6	100	1	100
		A1	31	105	190	101	n.d.	-	n.d.	-	17	288	6	537
		A2	26	86	208	111	n.d.	-	n.d.	-	12	212	n.d.	-
		B1	32	109	978	522	75	-	n.d.	-	12	212	10	813
		B2	18	60	398	212	n.d.	-	n.d.	-	n.d.	-	12	1019
essai n°3	pH 7,5	T	22	100	67	100	n.d.	-	n.d.	-	n.d.	-	5	100
		A1	20	89	142	212	n.d.	-	n.d.	-	n.d.	-	19	403
		A2	12	54	137	205	n.d.	-	n.d.	-	n.d.	-	19	398
		B1	13	59	1346	2012	n.d.	-	n.d.	-	n.d.	-	17	369
		B2	10	47	256	383	n.d.	-	n.d.	-	n.d.	-	16	342
	pH 5,5	T	4	100	48	100	n.d.	-	n.d.	-	n.d.	-	17	100
		A1	16	387	189	390	5	-	n.d.	-	4	-	14	80
		A2	24	556	180	372	4	-	n.d.	-	5	-	3	16
		B1	34	789	1640	3390	24	-	n.d.	-	2	-	8	46
		B2	23	527	326	674	n.d.	-	n.d.	-	n.d.	-	6	36

n.d. : non détectable à 0,01 ppm

T = Témoin ; A1 = Grandchamps ; A2 = Vraimont ; B1 = Obourg 1 ; B2 = Obourg 2

Tab. 24 : Teneurs en E.T.M. (en ppm) des plantes et leur pourcentage par rapport au témoin (lorsque cela est possible) par type de boue et par essai en fonction du pH.

Le cuivre :

Pour la boue B1, la plante accumule toujours plus de cuivre à pH 5,5 qu'à pH 7,5, alors que l'inverse est observé pour le témoin et pour la boue A1.

Les teneurs dans les deux premiers essais à pH 7,5 sont tout à fait comparables.

Le zinc :

Pour le zinc, les teneurs les plus élevées sont obtenues pour les plantes croissant sur la boue B1, qui est aussi la plus polluée en cet élément.

Les essais 2 et 3 montrent que les teneurs dans les plantes sont plus faibles à pH 7,5 qu'à pH 5,5.

Par contre, pour l'essai n°1, on constate des teneurs en zinc très importantes, même chez le témoin alors qu'aucun apport extérieur n'a été fait. On suppose l'effet d'une pollution du matériel végétal qui s'est aussi caractérisée par une faible production.

Le plomb :

Le plomb est peu détecté dans le matériel végétal. Notons cependant que les plantes poussant sur le substrat le plus pollué, à savoir B1, en accumulent.

Le cadmium

Le cadmium n'est pas détecté dans les plantes. Rappelons à ce propos que les teneurs dans les boues étaient faibles et chez deux d'entre elles (boue de Grandchamps A1 et boue du Vraimont A2) en deçà de la limite de détection du spectrophotomètre (0,01ppm) que nous avons utilisé.

Le nickel

D'après le tableau, on peut voir que le nickel peut s'accumuler dans les plantes à pH acide (pH 5,5) et est non détecté à pH 7,5.

Le chrome

Le chrome n'apporte pas de renseignements exploitables quant à l'influence du pH ou à l'origine de la boue.

7. Les coefficients de transfert total et de solubilisation à l'eau

Grâce aux analyses sur les substrats liquides et sur les plantes, il est possible de calculer des coefficients de transfert (CT) et des coefficients de solubilisation (CS_{eau}). Ils sont repris sous forme de tableaux (tab. 25 et annexe 7).

		Cu		Zn		Pb		Cd		Ni		Cr		
		CT (%)	CS _{eau} (%)											
essai n°1	pH 7,5	A1	0.51	0.51	0.38	1.00	-	-	-	-	-	-	0.48	0.48
		A2	0.54	0.54	0.92	0.92	-	-	-	-	-	-	0.31	0.31
		B1	0.16	0.16	0.31	0.99	-	-	-	-	-	-	0.10	0.10
		B2	0.18	0.18	0.19	0.54	-	-	-	-	-	-	0.02	0.02
	pH 5,5	A1	0.38	0.38	0.27	1.10	-	-	-	-	0.39	0.39	0.01	2.19
		A2	0.60	0.60	1.58	1.72	-	-	10.77	10.77	1.06	1.06	0.35	1.98
		B1	0.36	0.36	0.19	1.34	-	-	-	-	0.04	0.04	-	0.99
		B2	0.36	0.36	0.19	0.87	-	-	-	-	-	-	-	1.23
essai n°2	pH 7,5	A1	1.48	1.48	0.33	0.83	-	-	-	-	-	-	-	-
		A2	1.50	1.50	0.65	0.65	-	-	-	-	-	-	-	-
		B1	0.63	0.63	0.61	1.29	0.14	0.14	-	-	-	-	-	-
		B2	0.89	0.89	0.42	0.77	-	-	-	-	0.50	0.50	0.02	0.02
	pH 5,5	A1	1.55	1.55	0.81	1.64	-	-	-	-	1.68	1.68	0.56	2.74
		A2	1.10	1.10	0.90	1.04	-	-	-	-	1.96	1.96	-	1.63
		B1	0.56	0.56	0.58	1.73	0.10	0.10	-	-	0.86	0.86	0.15	1.14
		B2	0.43	0.43	0.49	1.18	-	-	-	-	-	-	0.43	1.66
essai n°3	pH 7,5	A1	1.21	1.21	0.75	1.25	-	-	-	-	-	-	2.43	2.43
		A2	0.73	0.73	0.85	0.85	-	-	-	-	-	-	1.41	1.41
		B1	0.39	0.39	1.48	2.16	-	-	-	-	-	-	0.63	0.63
		B2	0.53	0.53	0.70	1.05	-	-	-	-	-	-	1.38	1.38
	pH 5,5	A1	1.20	1.20	1.15	1.97	0.19	0.19	-	-	0.67	0.67	1.94	4.11
		A2	1.55	1.55	1.16	1.29	0.07	0.07	-	-	1.10	1.10	0.22	1.85
		B1	0.71	0.71	1.16	2.31	0.04	0.04	-	-	0.17	0.17	0.20	1.19
		B2	1.21	1.21	0.96	1.65	-	-	-	-	-	-	0.56	1.79

T = Témoin ; A1 = Grandchamps ; A2 = Vraimont ; B1 = Obourg 1 ; B2 = Obourg 2

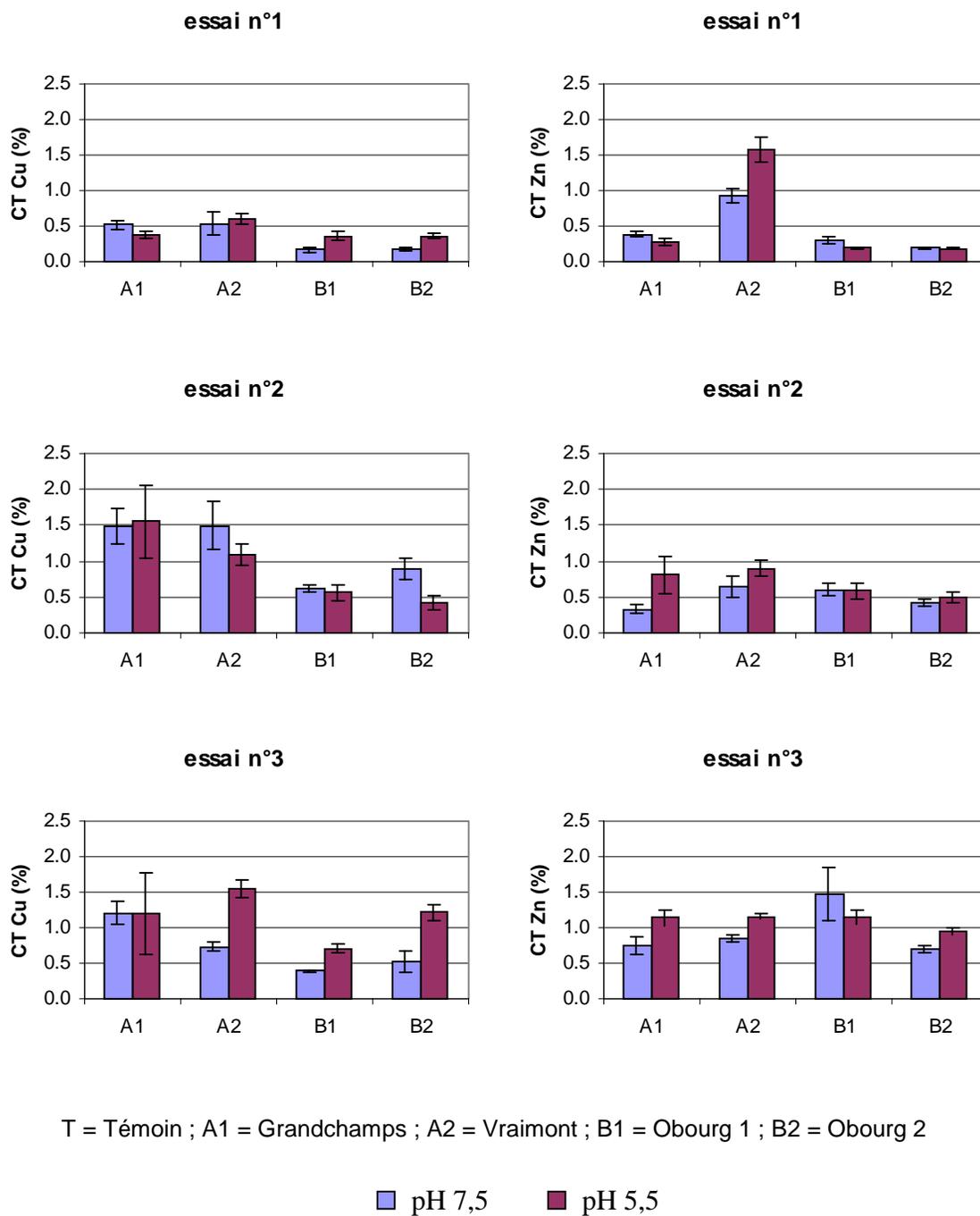
Tab. 25 : Coefficients de transfert total et de solubilisation à l'eau des différents E.T.M. par type de boue et par essai en fonction du pH.

Les coefficients de transfert total des différents éléments sont très faibles. Ils sont compris entre 0,01 % et 2,43 %. Dans le cas du coefficient de solubilisation à l'eau, on monte jusqu'à 4,11 % pour le chrome contenu dans la boue A1.

Une seule valeur calculée pour le cadmium dans la boue A2 est très élevée et supérieure à 10 %. Cette valeur est à relativiser car l'écart-type qui lui est associé est très important.

Les coefficients de solubilisation les plus élevés concernent le chrome pour la boue la moins toxique, à savoir, celle de Grandchamps (A1) et plus particulièrement pour un pH de 5,5.

Les figures 25 et 26 illustrent les valeurs de coefficients de transfert et de solubilisation pour le cuivre et le zinc.



T = Témoin ; A1 = Grandchamps ; A2 = Vraimont ; B1 = Obourg 1 ; B2 = Obourg 2

□ pH 7,5 ■ pH 5,5

Fig. 25 : Coefficients de transfert (CT) du cuivre et du zinc en fonction des essais, du pH et de la nature de la boue.

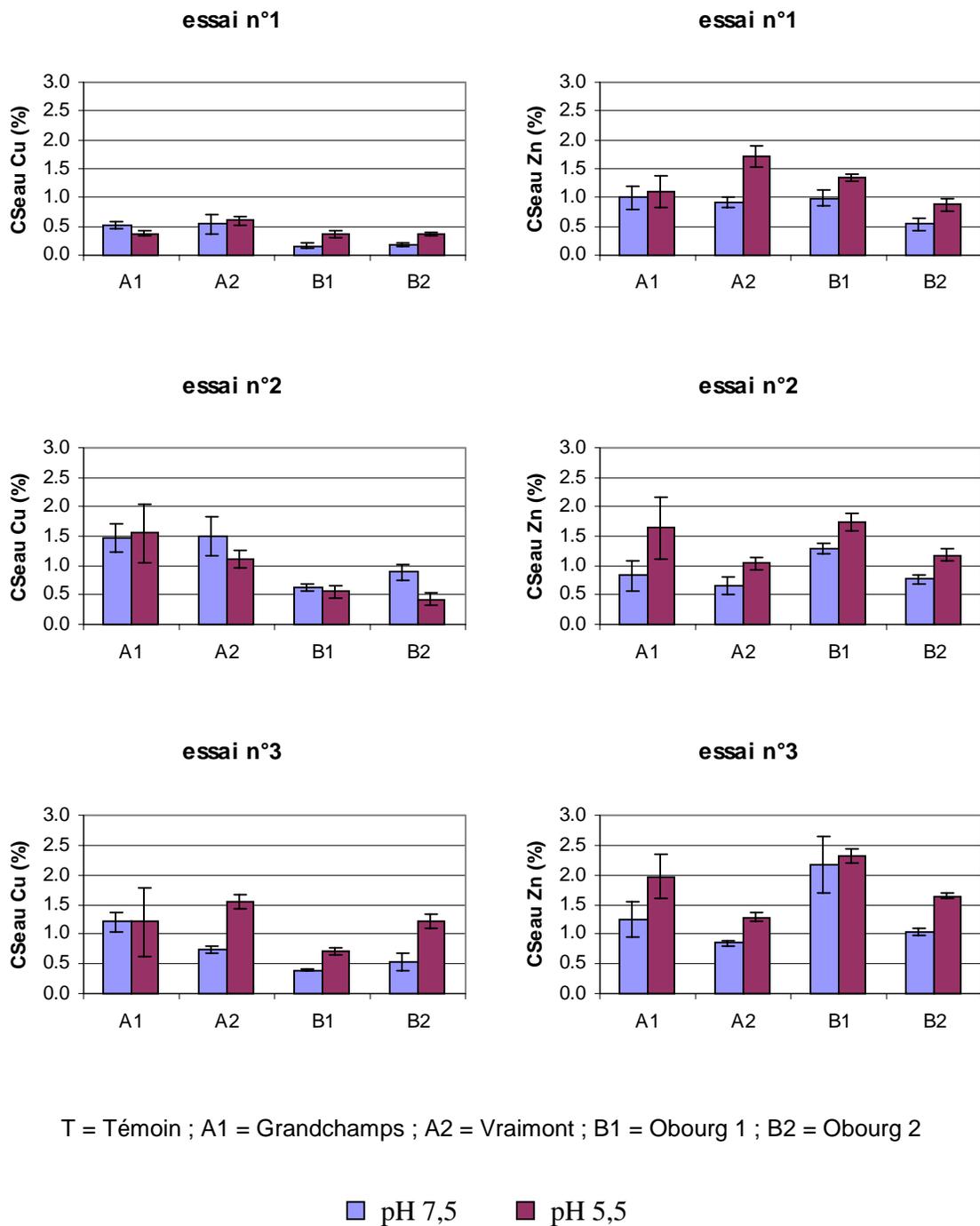


Fig. 26 : Coefficients de solubilisation (CS) du cuivre et du zinc en fonction des essais, du pH et de la nature de la boue.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Dans cette étude, nous avons testé des boues de dragage de classe A et B, différemment contaminées en éléments traces métalliques.

Le système hydroponique envisagé permet d'évaluer les risques de pollution du substrat et des plantes qui y croissent.

A cette fin, nous avons utilisé deux coefficients spécifiques définis par des études antérieures au Laboratoire d'Agrotechnologies Végétales, à savoir le coefficient de solubilisation et le coefficient de transfert. Ces coefficients étant susceptibles d'être influencés par le pH, deux valeurs ont été testées à savoir des conditions acides (pH 5,5) et basiques (pH 7,5)

Le coefficient de solubilisation (CS) tient compte de la fraction biodisponible des E.T.M. susceptible de contaminer le substrat et la plante.

Par contre, le coefficient de transfert (CT) ne tient compte que des possibilités de bioaccumulation dans le végétal choisi parmi les plantes accumulatrices (famille des *Brassicaceae*).

La production pondérale peut refléter la phytotoxicité intrinsèque d'une boue sans pouvoir toutefois l'attribuer à la présence d'un E.T.M. particulier.

La boue la plus polluée pour l'ensemble de la production ne manifeste son effet phytotoxique que pour le pH basique (boue B1 du site d'Obourg, fortement contaminée en zinc et en plomb).

A pH acide, quelque soit l'origine de la boue, aucun effet phytotoxique n'est clairement observé, alors que l'on s'attendait à l'inverse pour la solubilisation et l'absorption des E.T.M.

Les teneurs dans les substrats liquides après culture, n'expliquent pas non plus cette influence du pH. En effet, le zinc et le chrome sont les plus solubilisés à pH acide alors que les autres, à savoir le cuivre, le plomb, le cadmium et le nickel ne sont pas détectés quelque soit le pH.

Les analyses de plantes nous montrent que seuls le cuivre, le zinc et de façon plus aléatoire le plomb, le chrome et le nickel, sont absorbés par le végétal étudié.

Les coefficients de transfert et de solubilisation montrent que les risques de pollution des sols par solubilisation des E.T.M. au départ des boues et les risques de transfert dans les végétaux au départ de la solution du sol ne sont nullement corrélés avec leur teneur dans les boues, mais dépendent plus de la spécificité de ces dernières.

La technique utilisée ouvre des perspectives intéressantes car elle est simple et rapide. De plus, tous les organes de la plante sont pris en considération y compris les racines ce qui est pratiquement impossible en travaillant sur un substrat solide.

Le choix de la plante pourrait encore être affiné, à savoir cultiver une espèce comme la moutarde indienne (*Brassica juncea* (L.) Czern) qui tolère et accumule le plomb, le cadmium, le chrome, le nickel, le zinc et le cuivre (Salt et al., 1995), pour peu que cette dernière se prête à une culture de type hydroponique.

Pour évaluer les risques environnementaux d'une valorisation de type agronomique des boues de classe A (néosols, terres de couverture) ou de mise en dépôt en centre d'enfouissement technique des boues de classe B non valorisables, il est démontré qu'une simple analyse chimique classique n'est pas suffisante. Elle ne nous donne aucune information sur le devenir de ces métaux lourds tant à court qu'à long terme, ce que permet la méthodologie mise au point au Laboratoire d'Agrotechnologies Végétales, technique qui par des investigations complémentaires pourrait encore être affinée.

En Wallonie, le développement du transport fluvial, mode écologique unanimement reconnu, est entravé par la réduction des gabarits suite à l'accumulation de boues.

La problématique des boues de dragage symbolise à elle seule la notion de « dette écologique ». en effet, il n'est pas possible de régler ce problème simplement en extrayant et en traitant les boues. Il est absolument nécessaire d'intégrer tous les acteurs dans la résolution des facteurs qui ont conduit à la contamination des boues et à leur accumulation : mauvaise gestion des eaux usées (pollution ponctuelle), des intrants agricoles (pollution diffuse), de l'occupation de l'espace (érosion, ruissellement, crues)...

En attendant que des mesures fortes soient prises en amont, il ne faut pas négliger pour autant la réalité des boues. Le classement actuel des boues en deux classes n'est pas représentatif, au niveau des métaux lourds tout au moins, des risques. Il apparaît ainsi que certaines boues modérément polluées ne méritent pas d'être éliminées définitivement en C.E.T. Il faudrait envisager pour celles-ci des usages en accord avec leur nature tel que la végétalisation de ronds points ou de bordures d'autoroute ou la réhabilitation de sites industriels.

Si aucun effort n'est fait dans le sens de la valorisation, le risque sera la multiplication des C.R., l'allongement des temps de stockage faute de débouchés et l'engorgement des C.E.T. Il ne faudra pas négliger non plus qu'une gestion au jour le jour sans planification des enjeux peut entraîner une forte contestation du public et l'enlisement du problème. Ici encore, plus que jamais, la concertation entre tous les acteurs doit se faire dans la transparence.

BIBLIOGRAPHIE

-  ADEME, 2001. *Les boues d'épuration municipales et leur utilisation en agriculture*. Fiche 3.4 Les transferts de contaminants entre le sol et les plantes. Elaboré par le Comité Technique Permanent sur l'épandage des boues d'épuration et édité par l'ADEME. <www.acta.asso.fr/epuration/pdf/fiches_3.pdf> (page consultée en mars 2003).
-  AGW du 30 novembre 1995 relatif à la gestion des matières enlevées du lit des berges, des cours et plans d'eau du fait de travaux de dragage ou de curage. (Moniteur Belge, 1995).
-  AGW du 10 juillet 1997 établissant un catalogue des déchets (Moniteur Belge, 30 juillet 1997).
-  AGW du 10 juin 1999 modifiant l'AGW du 30 novembre 1995 relatif à la gestion des matières enlevées du lit des berges, des cours et plans d'eau du fait de travaux de dragage ou de curage (Moniteur Belge, 9 septembre 1999).
-  AGW du 14 juin 2001 favorisant la valorisation de certains déchets (Moniteur Belge, 10 juillet 2001).
-  AGW du 24 janvier 2002 modifiant l'AGW du 10 juillet 1997 établissant un catalogue des déchets (Moniteur Belge, 19 mars 2002).
-  AGW du 4 juillet 2002 arrêtant la liste des projets soumis à étude d'incidences et des installations et activités classées (Moniteur Belge, 21 septembre 2002).
-  AGW du 3 avril 2003 fixant les conditions sectorielles d'exploitation de certaines installations de regroupement de matières enlevées du lit et des berges des cours et plans d'eau du fait de travaux de dragage ou de curage (Moniteur Belge, 6 mai 2003).
-  BERT, V. et DERAM, A., 1999. Guide des Phytotechnologies. Utilisation des plantes dans la dépollution et la réhabilitation des sites contaminés par les métaux lourds. Ed. : Environnement et développement alternatif.
-  BOUTONNER, F., 2000. *Etude des métaux lourds dans l'air ambiant en Région Centre*. Université d'Orléans. Rapport de stage. <<http://www.ligair.fr/actu/Rapportm%C3%A9tauxlourds.pdf>> (page consultée le 10 septembre 2003).

-  BROOKS, R.R., LEE, J., REEVES, R.D. et JAFFRE, T., 1977. Detection of nickeliferous rocks by analysis of herbarium specimens of indicator plants. *J. Geochem. Explor.* Vol. 7 pp 49-57.
-  CHIFFOLEAU, J.F., sans date. *La contamination métallique*. Programme de recherche finalisée sur l'estuaire de la Seine. <http://seine-aval.crihan.fr/telechargement/fascicules/Ifr_Seine_aval_08.pdf> (page consultée le 29 juillet 2003).
-  COMMISSION EUROPEENNE, 2001. *La politique européenne des transports à l'horizon 2010 : l'heure des choix*. Actes de la Commission Européenne, journée débat du 27 novembre 2001. 155pp. <http://europa.eu.int/comm/energy_transport/lb-actes2001/actes_fr.pdf> (page consultée le 30 juillet 2003).
-  CONSEIL ECONOMIQUE ET SOCIAL DE LA REGION WALLONNE, 2002. *Valorisation et développement du transport par voies navigables*. Avis A.658 adopté par le bureau le 18 mars 2002. <<http://www.cesrw.be/activites/avis/a658.htm>> (page consultée le 9 septembre 2003).
-  CONTRAT D'AVENIR POUR LA WALLONIE - Bilan 2002. <http://gov.wallonie.be/hp/bilan_2002_030115ter.pdf> (page consultée le 4 septembre 2003).
-  DELHAYE, JP, CRUTZE, O, LAMBERT, C, SENGIER, M et ZEC, M, 1997. Etude de l'absorption des métaux lourds en fonction du pH. Recherche commanditée par Lhoist R&D.
-  EBBS, S.D. et KOCHIAN, L.V., 1997. Toxicity of zinc and copper to Brassica species : Implications for phytoremediation. *J. environ. Qual.* 26 : 3 pp. 776-781.
-  EBBS, S.D. LASAT, M.M., BRADY, D.J., CORNISH, J., GORDON, R. et KOCHIAN, L.V., 1997. Phytoextraction of cadmium and zinc from a contaminated soil. *J. environ. Qual.* 26 : 5 pp. 1424-1430.
-  GROSJEAN, N., 2001. *La Communication environnementale à destination du citoyen, rôles des éco-conseillers, relais et coordination*. Nouvelle législation et bonnes pratiques de prévention et de gestion du NIMBY. Colloque du 12 octobre 2001, Namur. <http://www.abece.be/coll_nimby.htm#1> (page consultée le 9 septembre 2003).
-  INSTITUT POUR LE TRANSPORT PAR BATELLERIE a.s.b.l., sans date.. *Types de bateaux en navigation intérieure*. <<http://www.itb-info.be/fr/batellerie/frameset.htm?bateaux.htm>> (page consultée le 4 septembre 2003).

- 📖 JACQUET, R., 2002. Traitement et valorisation des boues de dragage de catégorie B. U.L.B., S.I.A., Travail de fin d'étude.
- 📖 KUMAR, P.B.A.N., DUSHENKOV, S., SALT, D.E. et RASTIN, I., 1994. Crop brassicas and phytoremediation : a novel environment technology. *Cruciferae Newsletter* 16, pp 18-19.
- 📖 LASAT, M.M., 2000. Phytoextraction of metals from contaminated soil : a review of plant/soil/metal interaction and assessment of pertinent agronomic issues. *Journal of Hazardous Substance Research* vol. 2 5.1-5.25
- 📖 LEBEAU, T., sans date. *Contamination des sols par les métaux lourds : impact sur les productions agricoles*. Risques et mesures de prévention. IUT Colmar, Département Génie Biologique. Laboratoire Gestion des Risques et Environnement, UHA. <http://www.iutcolmar.uha.fr/jpo/conf_lebeau/diapos_fichiers/frame.htm> (page consultée le 18 juillet 2003).
- 📖 LE SOIR, 2003. Le Vraimont seul au monde. 6 septembre 2003.
- 📖 MEERTS P. et VAN ISAKER N., 1997. Heavy metal tolerance and accumulation in metallicolous and non-metallicolous populations of *Thlaspi caerulescens* from continental Europe. *Plant Ecology* 133 :221-231.
- 📖 MINISTÈRE DE LA RÉGION WALLONNE, 2002. Parlement wallon. Session 2002-2003. Budgets des recettes et des dépenses de la Région wallonne pour l'année budgétaire 2003. *Division organique 52 - Voies hydrauliques de la Région. Programme 52.02. : Maintenance et entretien des voies hydrauliques*. <<http://mrw.wallonie.be/sg/db/Daerden/DA%20DO%205202.htm>> (page consultée le 9 septembre 2003).
- 📖 M.E.T., 2000. Etude des sédiments des voies navigables. Etude des fonds aquatiques. Bassin de l'Escaut. Rapport : Terrain d'Obourg (n°26), Maisières (Mons). D213 Laboratoire de Recherches Hydrauliques. MOD. 024/3. Août 2000.
- 📖 M.E.T., 2000. Etude des sédiments des voies navigables. Etude des fonds aquatiques. Bassin de la Meuse. Rapport : Terrain de Grandchamps, Farciennes. D213 Laboratoire de Recherches Hydrauliques. MOD. 024/5. Septembre 2000.
- 📖 M.E.T., sans date. *La voie navigable : Entre mobilité et paralysie*. Folder.
- 📖 Programme 52.02. : Maintenance et entretien des voies hydrauliques.
- 📖 MISRA, S. et GEDAMU, L., 1989. Heavy metal tolerant transgenic *Brassica napus* L. and *Nicotiana tabacum* L. plants. *Theor. Appl. Genet.* 78, 161-168.
- 📖 NEDKOVSKA, M. et ATANASSOV, A.I., 1998. Metallothionein genes and expression for heavy metal resistance. *Biotechnology* 12, 11-16.

-  OFFICE DE PROMOTION DES VOIES NAVIGABLES, 2001. *Carte de la Wallonie*. Dernière modification : 2 avril 2001
<<http://www.opvn.be/trans%20fluvial%20somma.htm>> (page consultée le 9 septembre 2003).
-  ORBAN, M., 2001. Valorisation des boues de dragage : Test de phytotoxicité des sédiments de catégorie B d'un site de dépôt. U.L.B., S.I.A., Travail de fin d'étude.
-  PERRONO, P., 1999. *Les micropolluants métalliques des boues de stations d'épuration urbaine et l'épandage agricole*. Mém. D.U.E.S.S., D.E.P., Univ. Picardie, Amiens. <<http://www.u-picardie.fr/~beauchamp/duce/perrono/perrono.htm>> (page consultée le 9 septembre 2003).
-  SALT, D.E., BRAYLOCK, M. et al., 1995. Phytoremédiation : A novel strategy for the removal of toxic metals from the environment using plants. *Biotechnology* 13.
-  SCHNEIDER, G., sans date. *Le curage des sédiments des cours d'eau*. Le courrier de l'environnement de l'INRA. <www.inra.fr/Internet/Produits/dp/env/curage.htm> (page consultée le 7 février 2002).
-  TONNEAU, J., 2003. *D'un bout à l'autre de la chaîne*. Printemps des sciences 2003. Dernière modification : 26 mars 2003.
<www.ulg.ac.be/sciences/dp/tonneau.pdf> (page consultée le 9 septembre 2003).
-  ULG, 2003. *Glossaire des Transports*.
<http://www.lepur.geo.ulg.ac.be/Cpdt/Pages/Glossaire/Glossaire_transport_texte.html> (page consultée le 28 août 2003).
-  VOIES HYDRAULIQUES, 1999. Division des Etudes et des Programmes – I.G.21. *Le réseau des voies navigables*. <<http://voies-hydrauliques.wallonie.be/xls/vn/reseau.html>> (page consultée le 23 juillet 2003).

ANNEXES

Annexe 1 :

Analyses pondérales (poids frais et poids sec), pourcentage de matière sèche et pourcentage de cendres de l'essai n°1 à pH 7,5 et pH 5,5.

Annexe 2 :

Analyses pondérales (poids frais et poids sec), pourcentage de matière sèche et pourcentage de cendres de l'essai n°2 à pH 7,5 et pH 5,5.

Annexe 3 :

Analyses pondérales (poids frais et poids sec), pourcentage de matière sèche et pourcentage de cendres de l'essai n°3 à pH 7,5 et pH 5,5.

Annexe 4 :

Analyses pondérales (poids frais et poids sec) et moyenne pondérée du pourcentage de matière sèche des essais cumulés n°1, 2 et 3 à pH 7,5 et pH 5,5.

Annexe 5 :

Teneurs en E.T.M. (en ppm) des substrats liquides par type de boue et par essai en fonction du pH.

Annexe 6 :

Teneurs en E.T.M. (en ppm) des plantes par type de boue et par essai en fonction du pH.

Annexe 7 :

Coefficients de transfert total et de solubilisation à l'eau des différents E.T.M. par type de boue et par essai en fonction du pH.

Annexe 8 :

AGW du 10 juin 1999 modifiant l'AGW du 30 novembre 1995 relatif à la gestion des matières enlevées du lit des berges, des cours et plans d'eau du fait de travaux de dragage ou de curage.

ANNEXE 1

essai n°1		pH 7,5				pH 5,5			
		PF	PS	% M.S.	% cendres	PF	PS	% M.S.	% cendres
T	1	2.90	0.29	10.13	1.59	9.60	0.97	10.06	3.42
	2	3.90	0.44	11.33	2.17	8.50	0.93	10.98	3.60
	3	2.60	0.29	11.24	1.18	9.40	1.09	11.60	4.34
	4	2.80	0.33	11.88	1.63	8.50	0.91	10.73	3.55
	5	3.05	0.34	11.15	6.97	9.80	1.27	12.98	3.99
	moy		3.05	0.34	11.15	2.71	9.16	1.03	11.27
σ		0.50	0.06	0.63	2.41	0.62	0.15	1.10	0.38
A1	1	3.10	0.40	12.87	1.15	4.30	0.46	10.73	1.55
	2	5.30	0.78	14.68	2.04	4.20	0.40	9.61	1.52
	3	3.60	0.61	16.84	1.91	4.50	0.52	11.45	1.25
	4	2.70	0.36	13.18	1.51	5.00	0.51	10.20	1.77
	5	5.00	0.69	13.71	3.60	4.50	0.53	11.81	1.48
	moy		3.94	0.56	14.26	2.04	4.50	0.48	10.76
σ		1.15	0.18	1.60	0.94	0.31	0.05	0.90	0.19
A2	1	2.30	0.30	13.16	1.15	10.00	1.02	10.21	2.94
	2	4.00	0.46	11.60	1.49	7.70	0.93	12.11	5.18
	3	8.80	0.99	11.24	3.16	10.40	1.04	10.04	3.29
	4	5.80	0.61	10.57	1.80	7.10	0.65	9.22	1.56
	5	8.90	1.03	11.62	2.58	7.10	0.79	11.17	2.58
	moy		5.96	0.68	11.64	2.04	8.46	0.89	10.55
σ		2.91	0.32	0.95	0.82	1.61	0.16	1.11	1.33
B1	1	5.40	0.58	10.70	1.64	4.70	0.49	10.33	1.39
	2	4.20	0.42	10.09	1.52	4.40	0.52	11.89	1.37
	3	5.00	0.55	11.00	1.77	3.60	0.40	11.11	1.11
	4	5.00	0.49	9.86	1.75	5.00	0.59	11.82	1.57
	5	5.70	0.78	13.64	2.57	5.20	0.65	12.42	1.85
	moy		5.06	0.56	11.06	1.85	4.58	0.53	11.51
σ		0.56	0.13	1.51	0.41	0.63	0.09	0.81	0.27
B2	1	4.70	0.46	9.87	1.63	5.80	0.66	11.42	1.52
	2	3.90	0.36	9.19	1.10	3.60	0.45	12.46	2.51
	3	4.50	0.40	8.81	1.60	5.10	0.60	11.73	2.29
	4	3.70	0.36	9.71	1.22	5.70	0.67	11.68	3.54
	5	6.60	0.73	11.12	2.65	5.60	0.70	12.43	2.09
	moy		4.68	0.46	9.74	1.64	5.16	0.61	11.94
σ		1.15	0.16	0.88	0.61	0.91	0.10	0.47	0.74

ANNEXE 2

essai n°2		pH 7,5				pH 5,5			
		PF	PS	% M.S.	% cendres	PF	PS	% M.S.	% cendres
T	1	6.50	0.66	10.17	4.93	19.30	2.82	14.63	5.58
	2	12.40	1.21	9.73	7.55	13.60	2.10	15.46	6.69
	3	6.00	0.69	11.46	5.12	13.40	1.97	14.68	4.35
	4	10.40	1.27	12.23	8.02	9.30	1.29	13.91	4.40
	5	11.50	1.52	13.24	8.68	12.60	1.69	13.40	4.04
	moy		9.36	1.07	11.37	6.86	13.64	1.98	14.42
σ		2.93	0.38	1.45	1.72	3.61	0.57	0.79	1.11
A1	1	16.70	2.62	15.70	7.60	21.90	3.14	14.35	4.20
	2	14.70	1.97	13.41	8.35	13.90	1.94	13.93	4.31
	3	8.10	1.03	12.72	6.94	16.90	2.73	16.15	2.93
	4	12.50	1.68	13.45	5.96	19.80	3.92	19.80	2.35
	5	12.00	1.68	13.98	6.35	13.80	1.92	13.90	3.06
	moy		12.80	1.80	13.85	7.04	17.26	2.73	15.63
σ		3.23	0.58	1.13	0.96	3.58	0.85	2.51	0.85
A2	1	18.00	2.45	13.63	4.38	19.80	2.88	14.52	3.78
	2	14.60	2.04	14.00	5.20	13.70	1.91	13.93	3.29
	3	7.20	1.01	14.00	4.14	14.30	2.14	14.94	4.37
	4	16.00	3.03	18.96	3.30	10.80	1.61	14.91	4.13
	5	10.40	1.43	13.78	4.77	13.10	1.93	14.76	4.14
	moy		13.24	1.99	14.88	4.36	14.34	2.09	14.61
σ		4.38	0.80	2.29	0.71	3.33	0.48	0.42	0.42
B1	1	18.80	2.68	14.24	5.36	20.50	2.70	13.15	6.19
	2	11.30	1.71	15.14	3.37	7.90	0.83	10.57	2.26
	3	15.50	2.27	14.67	2.85	13.80	2.10	15.19	2.89
	4	15.00	2.21	14.71	2.76	9.40	1.36	14.42	3.65
	5	11.10	1.74	15.65	2.66	8.40	1.12	13.37	2.61
	moy		14.34	2.12	14.88	3.40	12.00	1.62	13.34
σ		3.22	0.40	0.53	1.13	5.29	0.76	1.75	1.58
B2	1	22.20	2.93	13.19	4.21	20.30	2.74	13.48	3.64
	2	12.90	1.90	14.69	3.86	11.40	1.46	12.84	3.01
	3	19.00	2.60	13.66	3.80	19.00	2.67	14.04	3.75
	4	13.90	1.94	13.99	4.14	10.90	1.58	14.48	3.66
	5	12.20	1.68	13.77	3.28	9.20	1.13	12.26	4.33
	moy		16.04	2.21	13.86	3.86	14.16	1.91	13.42
σ		4.36	0.53	0.55	0.37	5.10	0.74	0.90	0.47

ANNEXE 3

essai n°3		pH 7,5				pH 5,5			
		PF	PS	% M.S.	% cendres	PF	PS	% M.S.	% cendres
T	1	35.10	4.71	13.41	4.48	37.80	5.01	13.26	6.78
	2	32.00	3.80	11.87	3.03	36.20	4.49	12.41	6.53
	3	29.70	4.03	13.58	3.32	36.60	4.29	11.71	5.70
	4	29.20	3.86	13.21	3.24	35.50	4.84	13.63	4.11
	5	36.60	5.41	14.77	6.74	37.40	5.70	15.25	4.34
	moy		32.52	4.36	13.37	4.16	36.70	4.87	13.25
σ		3.26	0.69	1.03	1.55	0.92	0.55	1.34	1.23
A1	1	29.00	4.11	14.17	3.73	32.40	4.16	12.83	3.26
	2	22.90	2.93	12.78	4.24	31.30	4.10	13.11	3.19
	3	25.70	3.54	13.79	4.38	30.90	3.79	12.27	3.29
	4	21.80	2.84	13.03	3.63	31.50	4.11	13.06	3.90
	5	30.90	4.23	13.70	6.09	34.60	4.29	12.41	3.91
	moy		26.06	3.53	13.49	4.41	32.14	4.09	12.73
σ		3.88	0.65	0.57	0.99	1.48	0.18	0.38	0.36
A2	1	26.60	3.59	13.50	8.48	20.00	2.33	11.65	4.28
	2	22.70	2.84	12.50	8.10	19.80	2.72	13.72	4.22
	3	23.70	2.73	11.53	8.10	30.50	3.68	12.06	4.31
	4	22.40	2.78	12.41	8.06	29.00	3.59	12.36	4.27
	5	25.60	3.27	12.78	8.19	28.10	3.85	13.69	4.65
	moy		24.20	3.04	12.54	8.18	25.48	3.23	12.70
σ		1.83	0.37	0.71	0.17	5.17	0.67	0.95	0.17
B1	1	18.60	1.95	10.50	7.80	15.50	1.74	11.25	2.83
	2	25.20	3.05	12.09	8.18	15.80	1.69	10.69	2.88
	3	23.80	2.89	12.13	8.04	14.80	1.40	9.49	3.12
	4	26.90	3.31	12.31	6.20	23.90	3.17	13.28	3.98
	5	22.70	2.71	11.96	5.16	15.90	1.73	10.88	2.88
	moy		23.44	2.78	11.80	7.08	17.18	1.95	11.12
σ		3.13	0.51	0.74	1.33	3.78	0.70	1.38	0.49
B2	1	27.90	3.36	12.04	4.78	34.40	4.21	12.25	3.30
	2	35.30	4.13	11.71	5.22	31.70	3.57	11.27	3.10
	3	30.00	3.68	12.27	5.17	34.00	4.12	12.12	3.17
	4	31.10	3.87	12.45	6.34	35.00	4.58	13.10	3.27
	5	43.40	5.15	11.87	5.13	41.30	5.65	13.67	3.17
	moy		33.54	4.04	12.07	5.33	35.28	4.43	12.48
σ		6.14	0.68	0.30	0.59	3.59	0.77	0.93	0.08

ANNEXE 4

essai 1+2+3		pH 7,5			pH 5,5		
		PF	PS	% M.S.	PF	PS	% M.S.
T	1	44.50	5.66	12.72	66.70	8.80	13.19
	2	48.30	5.45	11.28	58.30	7.53	12.91
	3	38.30	5.01	13.09	59.40	7.34	12.36
	4	42.40	5.46	12.88	53.30	7.04	13.21
	5	51.15	7.27	14.21	59.80	8.66	14.49
moy		44.93	5.77	12.83	59.50	7.88	13.23
σ		5.01	0.87	1.05	4.79	0.80	0.78
A1	1	48.80	7.13	14.61	58.60	7.76	13.24
	2	42.90	5.68	13.23	49.40	6.45	13.05
	3	37.40	5.18	13.85	52.30	7.04	13.45
	4	37.00	4.88	13.18	56.30	8.54	15.17
	5	47.90	6.60	13.77	52.90	6.74	12.74
moy		42.80	5.89	13.73	53.90	7.31	13.53
σ		5.59	0.95	0.58	3.59	0.85	0.95
A2	1	46.90	6.35	13.53	49.80	6.23	12.50
	2	41.30	5.35	12.94	41.20	5.56	13.49
	3	39.70	4.73	11.91	55.20	6.86	12.43
	4	44.20	6.43	14.54	46.90	5.85	12.47
	5	44.90	5.74	12.78	48.30	6.57	13.61
moy		43.40	5.72	13.14	48.28	6.21	12.90
σ		2.88	0.71	0.97	5.06	0.53	0.59
B1	1	42.80	5.21	12.17	40.70	4.93	12.10
	2	40.70	5.18	12.73	28.10	3.05	10.84
	3	44.30	5.71	12.89	32.20	3.90	12.11
	4	46.90	6.01	12.81	38.30	5.12	13.37
	5	39.50	5.23	13.24	29.50	3.50	11.86
moy		42.84	5.47	12.77	33.76	4.10	12.06
σ		2.93	0.37	0.39	5.51	0.90	0.90
B2	1	54.80	6.75	12.32	60.50	7.61	12.58
	2	52.10	6.39	12.26	46.70	5.48	11.74
	3	53.50	6.67	12.47	58.10	7.39	12.72
	4	48.70	6.18	12.68	51.60	6.83	13.23
	5	62.20	7.57	12.17	56.10	7.47	13.32
moy		54.26	6.71	12.38	54.60	6.96	12.72
σ		4.99	0.53	0.20	5.49	0.87	0.63

ANNEXE 5

		Cu (ppm)	Zn (ppm)	Pb (ppm)	Cd (ppm)	Ni (ppm)	Cr (ppm)
pH 7,5	T	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
		n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
		n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
		n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
		n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	A1	n.d.	0.67	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
		n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
		n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
		n.d.	0.44	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
		n.d.	0.51	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	A2	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
		n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
		n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
		n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
		n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	B1	n.d.	0.89	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
		n.d.	1.21	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
		n.d.	2.30	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
		n.d.	2.22	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
		n.d.	2.14	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
B2	n.d.	0.50	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	
	n.d.	0.58	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	
	n.d.	0.69	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	
	n.d.	0.79	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	
	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	
pH 5,5	T	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.04
		n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.03
		n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.04
		n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.03
		n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.01
	A1	n.d.	0.47	n.d.	n.d.	n.d.	0.05
		n.d.	0.38	n.d.	n.d.	n.d.	0.06
		n.d.	0.63	n.d.	n.d.	n.d.	0.07
		n.d.	1.14	n.d.	n.d.	n.d.	0.06
		n.d.	0.17	n.d.	n.d.	n.d.	0.08
	A2	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.09
		n.d.	0.09	n.d.	n.d.	n.d.	0.05
		n.d.	0.09	n.d.	n.d.	n.d.	0.08
		n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.06
		n.d.	0.06	n.d.	n.d.	n.d.	0.05
	B1	n.d.	3.14	n.d.	n.d.	n.d.	0.07
		n.d.	2.62	n.d.	n.d.	n.d.	0.07
		n.d.	2.68	n.d.	n.d.	n.d.	0.08
		n.d.	3.06	n.d.	n.d.	n.d.	0.08
		n.d.	3.18	n.d.	n.d.	n.d.	0.07
B2	n.d.	1.15	n.d.	n.d.	n.d.	0.09	
	n.d.	1.09	n.d.	n.d.	n.d.	0.09	
	n.d.	0.90	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	
	n.d.	1.33	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	
	n.d.	0.61	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	

ANNEXE 6a

		essai n°1						essai n°2							
		Cu (ppm)	Zn (ppm)	Pb (ppm)	Cd (ppm)	Ni (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Pb (ppm)	Cd (ppm)	Ni (ppm)	Cr (ppm)		
pH 7,5	T	1	47	1662	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	44	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	
		2	53	1242	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	38	4	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	
		3	55	1730	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	62	164	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	
		4	54	1294	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	36	32	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	
		5	24	287	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	39	70	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	
	A1	1	52	751	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	47	143	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	
		2	x	x	x	x	x	x	49	71	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	
		3	62	501	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	53	251	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	
		4	71	603	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	38	104	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	
		5	49	317	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	39	50	104	n.d.	n.d.	n.d.	
	A2	1	75	988	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	37	106	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	
		2	64	898	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	34	162	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	
		3	39	502	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	32	41	192	n.d.	n.d.	n.d.	
		4	n.d.	906	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	40	184	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	
		5	39	434	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	29	31	155	n.d.	n.d.	n.d.	
	B1	1	45	1905	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	48	27	879	107	n.d.	n.d.	n.d.
		2	24	1313	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	27	805	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	
		3	11	1764	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	25	568	12	n.d.	n.d.	n.d.	
		4	25	1238	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	25	710	105	n.d.	n.d.	n.d.	
		5	24	879	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	11	30	653	125	n.d.	n.d.	n.d.
	B2	1	34	665	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	24	262	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	
		2	41	769	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	27	349	n.d.	n.d.	7	n.d.	
		3	45	743	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	29	209	n.d.	n.d.	5	n.d.	
		4	20	825	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	56	239	n.d.	n.d.	13	1	
		5	24	346	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	7	34	396	n.d.	n.d.	7	n.d.
pH 5,5	T	1	18	632	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	28	155	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	
		2	17	648	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	20	96	n.d.	n.d.	6	4	
		3	17	337	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	26	197	n.d.	n.d.	6	n.d.	
		4	16	572	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	50	339	n.d.	n.d.	11	n.d.	
		5	11	284	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	24	151	n.d.	n.d.	5	n.d.	
	A1	1	32	571	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	17	130	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	
		2	45	366	n.d.	n.d.	77	n.d.	27	150	n.d.	n.d.	9	12	
		3	53	458	n.d.	n.d.	18	n.d.	33	197	n.d.	n.d.	29	18	
		4	41	326	n.d.	n.d.	17	1	48	289	n.d.	n.d.	26	2	
		5	50	209	n.d.	n.d.	9	n.d.	32	184	n.d.	n.d.	18	n.d.	
	A2	1	30	767	n.d.	2	25	37	27	223	n.d.	n.d.	13	n.d.	
		2	38	1117	n.d.	4	18	13	22	218	n.d.	n.d.	7	n.d.	
		3	36	668	n.d.	1	16	18	27	167	n.d.	n.d.	15	n.d.	
		4	35	953	n.d.	n.d.	4	n.d.	28	233	n.d.	n.d.	16	n.d.	
		5	25	838	n.d.	n.d.	9	n.d.	24	198	n.d.	n.d.	10	n.d.	
	B1	1	34	917	n.d.	n.d.	6	n.d.	29	952	35	n.d.	10	n.d.	
		2	88	932	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	39	1429	67	n.d.	19	n.d.	
		3	84	1073	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	27	697	73	n.d.	13	n.d.	
		4	54	1087	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	30	810	38	n.d.	15	n.d.	
		5	46	608	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	36	1004	159	n.d.	3	47	
	B2	1	50	431	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	20	342	n.d.	n.d.	n.d.	7	
		2	63	588	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	17	356	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	
		3	59	515	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	19	377	n.d.	n.d.	n.d.	4	
		4	40	477	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	16	340	n.d.	n.d.	n.d.	34	
		5	33	296	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	17	573	n.d.	n.d.	n.d.	16	

ANNEXE 6b

		essai n°3						
		Cu (ppm)	Zn (ppm)	Pb (ppm)	Cd (ppm)	Ni (ppm)	Cr (ppm)	
pH 7,5	T	1	21	92	n.d.	n.d.	n.d.	5
		2	34	124	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
		3	20	49	n.d.	n.d.	n.d.	4
		4	22	36	n.d.	n.d.	n.d.	5
		5	13	34	n.d.	n.d.	n.d.	9
	A1	1	22	186	n.d.	n.d.	n.d.	25
		2	16	104	n.d.	n.d.	n.d.	2
		3	24	163	n.d.	n.d.	n.d.	14
		4	21	150	n.d.	n.d.	n.d.	26
		5	15	108	n.d.	n.d.	n.d.	29
	A2	1	12	96	n.d.	n.d.	n.d.	17
		2	14	131	n.d.	n.d.	n.d.	16
		3	13	150	n.d.	n.d.	n.d.	25
		4	11	165	n.d.	n.d.	n.d.	22
		5	9	142	n.d.	n.d.	n.d.	14
	B1	1	19	1083	n.d.	n.d.	n.d.	25
		2	10	922	n.d.	n.d.	n.d.	9
		3	12	766	n.d.	n.d.	n.d.	10
		4	11	1587	n.d.	n.d.	n.d.	21
		5	14	2372	n.d.	n.d.	n.d.	22
	B2	1	9	258	n.d.	n.d.	n.d.	19
		2	6	260	n.d.	n.d.	n.d.	8
		3	10	259	n.d.	n.d.	n.d.	15
		4	9	250	n.d.	n.d.	n.d.	21
		5	17	255	n.d.	n.d.	n.d.	18
pH 5,5	T	1	5	44	n.d.	n.d.	n.d.	13
		2	2	38	n.d.	n.d.	n.d.	15
		3	8	76	n.d.	n.d.	n.d.	25
		4	n.d.	29	n.d.	n.d.	n.d.	15
		5	5	56	n.d.	n.d.	n.d.	18
	A1	1	5	169	n.d.	n.d.	n.d.	17
		2	7	170	n.d.	n.d.	n.d.	31
		3	5	186	n.d.	n.d.	n.d.	16
		4	38	254	26	n.d.	14	5
		5	28	165	n.d.	n.d.	7	n.d.
	A2	1	25	226	4	n.d.	5	n
		2	25	232	11	n.d.	9	5
		3	24	146	4	n.d.	4	2
		4	24	156	n.d.	n.d.	4	5
		5	20	139	n.d.	n.d.	1	n.d.
	B1	1	36	2073	22	n.d.	3	n.d.
		2	35	1949	2	n.d.	5	8
		3	39	1684	13	n.d.	1	8
		4	26	834	24	n.d.	n.d.	7
		5	32	1659	59	n.d.	2	16
	B2	1	21	332	n.d.	n.d.	n.d.	6
		2	26	389	n.d.	n.d.	n.d.	7
		3	29	363	n.d.	n.d.	n.d.	9
		4	17	266	n.d.	n.d.	n.d.	3
		5	21	281	n.d.	n.d.	n.d.	5

ANNEXE 7b

		Cu		Zn		Pb		Cd		Ni		Cr			
		CT	CS _{eau}	CT	CS _{eau}	CT	CS _{eau}	CT	CS _{eau}	CT	CS _{eau}	CT	CS _{eau}		
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)		
essai n°2	pH 7,5	A1	1	2.18	2.18	0.56	1.55	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
			2	1.69	1.69	0.21	0.26	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
			3	0.96	0.96	0.38	0.44	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
			4	1.11	1.11	0.26	0.91	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
			5	1.46	1.46	0.26	1.01	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	A2	1	1.85	1.85	0.54	0.54	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	
		2	1.40	1.40	0.69	0.69	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	
		3	0.84	0.84	0.40	0.40	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	
		4	2.48	2.48	1.16	1.16	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	
		5	0.92	0.92	0.46	0.46	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	
	B1	1	0.80	0.80	0.92	1.27	0.25	0.25	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	
		2	0.51	0.51	0.54	1.01	0.00	0.00	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	
		3	0.63	0.63	0.51	1.41	0.02	0.02	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	
		4	0.61	0.61	0.61	1.49	0.21	0.21	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	
		5	0.59	0.59	0.44	1.28	0.19	0.19	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	
	B2	1	0.86	0.86	0.52	0.86	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.06	0.06	0.03	0.03	
		2	0.63	0.63	0.45	0.84	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.53	0.53	0.02	0.02	
		3	0.92	0.92	0.37	0.83	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.47	0.47	0.03	0.03	
		4	1.34	1.34	0.31	0.85	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.96	0.96	0.03	0.03	
		5	0.71	0.71	0.45	0.47	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.47	0.47	0.00	0.00	
pH 5,5	A1	1	0.92	0.92	0.61	1.30	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.06	0.06	0.05	1.89	
		2	0.91	0.91	0.43	1.00	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.62	0.62	0.77	2.79	
		3	1.57	1.57	0.80	1.74	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	2.85	2.85	1.68	4.08	
		4	3.28	3.28	1.68	3.37	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	3.67	3.67	0.27	2.18	
		5	1.07	1.07	0.53	0.78	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1.21	1.21	0.03	2.74	
	A2	1	1.58	1.58	1.33	1.41	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	2.86	2.86	n.d.	2.16	
		2	0.85	0.85	0.86	1.05	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1.03	1.03	n.d.	1.25	
		3	1.19	1.19	0.74	0.93	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	2.42	2.42	n.d.	2.06	
		4	0.92	0.92	0.78	0.85	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1.98	1.98	n.d.	1.45	
		5	0.96	0.96	0.80	0.93	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1.51	1.51	n.d.	1.25	
	B1	1	0.88	0.88	1.01	2.24	0.08	0.08	n.d.	n.d.	1.28	1.28	0.02	1.01	
		2	0.37	0.37	0.47	1.49	0.05	0.05	n.d.	n.d.	0.72	0.72	0.01	0.93	
		3	0.64	0.64	0.57	1.62	0.14	0.14	n.d.	n.d.	1.20	1.20	0.01	1.03	
		4	0.46	0.46	0.43	1.63	0.05	0.05	n.d.	n.d.	0.94	0.94	0.01	1.02	
		5	0.45	0.45	0.44	1.69	0.16	0.16	n.d.	n.d.	0.17	0.17	0.70	1.70	
	B2	1	0.68	0.68	0.63	1.41	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.41	2.26	
		2	0.30	0.30	0.35	1.09	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.02	2.03	
		3	0.61	0.61	0.68	1.29	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.21	0.97	
		4	0.31	0.31	0.36	1.26	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1.15	1.91	
		5	0.24	0.24	0.44	0.85	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.38	1.14	

ANNEXE 7c

		Cu		Zn		Pb		Cd		Ni		Cr				
		CT (%)	CS _{eau} (%)													
essai n°2	pH 7,5	A1	1	1.60	1.60	1.13	2.13	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	3.53	3.53	
			2	0.83	0.83	0.45	0.50	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.23	0.23
			3	1.46	1.46	0.86	0.91	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1.67	1.67
			4	1.04	1.04	0.63	1.28	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	2.52	2.52
			5	1.10	1.10	0.68	1.44	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	4.16	4.16
	A2	1	0.87	0.87	0.72	0.72	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1.49	1.49	
		2	0.81	0.81	0.78	0.78	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1.13	1.13	
		3	0.75	0.75	0.85	0.85	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1.69	1.69	
		4	0.62	0.62	0.95	0.95	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1.55	1.55	
		5	0.60	0.60	0.96	0.96	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1.19	1.19	
	B1	1	0.41	0.41	0.83	1.18	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.66	0.66	
		2	0.35	0.35	1.10	1.58	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.35	0.35	
		3	0.38	0.38	0.87	1.77	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.40	0.40	
		4	0.39	0.39	2.06	2.93	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.92	0.92	
		5	0.43	0.43	2.52	3.36	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.81	0.81	
	B2	1	0.38	0.38	0.59	0.93	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1.37	1.37	
		2	0.32	0.32	0.73	1.12	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.71	0.71	
		3	0.46	0.46	0.64	1.11	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1.19	1.19	
		4	0.45	0.45	0.65	1.19	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1.70	1.70	
		5	1.06	1.06	0.89	0.91	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1.96	1.96	
pH 5,5	A1	1	0.37	0.37	1.04	1.73	0.02	0.02	n.d.	n.d.	0.07	0.07	2.48	4.31		
		2	0.50	0.50	1.04	1.60	0.02	0.02	n.d.	n.d.	0.07	0.07	4.36	6.38		
		3	0.31	0.31	1.05	1.99	0.02	0.02	n.d.	n.d.	0.07	0.07	2.09	4.50		
		4	2.75	2.75	1.55	3.24	0.91	0.91	n.d.	n.d.	2.09	2.09	0.67	2.58		
		5	2.08	2.08	1.05	1.31	0.00	0.00	n.d.	n.d.	1.03	1.03	0.07	2.79		
	A2	1	1.21	1.21	1.10	1.17	0.06	0.06	n.d.	n.d.	0.89	0.89	0.03	2.19		
		2	1.39	1.39	1.31	1.50	0.19	0.19	n.d.	n.d.	1.79	1.79	0.37	1.62		
		3	1.78	1.78	1.11	1.30	0.09	0.09	n.d.	n.d.	1.20	1.20	0.14	2.21		
		4	1.75	1.75	1.16	1.24	0.01	0.01	n.d.	n.d.	1.21	1.21	0.49	1.94		
		5	1.60	1.60	1.11	1.24	0.01	0.01	n.d.	n.d.	0.40	0.40	0.05	1.29		
	B1	1	0.70	0.70	1.42	2.65	0.03	0.03	n.d.	n.d.	0.22	0.22	0.00	1.00		
		2	0.66	0.66	1.29	2.32	0.00	0.00	n.d.	n.d.	0.35	0.35	0.17	1.10		
		3	0.62	0.62	0.93	1.98	0.02	0.02	n.d.	n.d.	0.06	0.06	0.15	1.17		
		4	0.94	0.94	1.04	2.24	0.07	0.07	n.d.	n.d.	0.07	0.07	0.31	1.32		
		5	0.62	0.62	1.13	2.37	0.09	0.09	n.d.	n.d.	0.13	0.13	0.37	1.37		
	B2	1	1.07	1.07	0.95	1.73	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.54	2.39		
		2	1.14	1.14	0.94	1.68	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.57	2.59		
		3	1.46	1.46	1.01	1.62	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.78	1.54		
		4	0.93	0.93	0.82	1.72	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.32	1.08		
		5	1.47	1.47	1.07	1.49	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.59	1.35		

F. 99 — 2943

[C - 99/27671]

10 JUIN 1999. — Arrêté du Gouvernement wallon modifiant l'arrêté du Gouvernement wallon du 30 novembre 1995 relatif à la gestion des matières enlevées du lit et des berges des cours et plans d'eau du fait de travaux de dragage ou de curage

Le Gouvernement wallon,

Vu la directive 75/442/CEE du Conseil des Communautés européennes du 15 juillet 1975 relative aux déchets, modifiée par les directives 91/156/CEE du 18 mars 1991 et 91/692/CEE du 23 décembre 1991, et par la décision 96/350/CE de la Commission du 24 mai 1996;

Vu le décret du 27 juin 1996 relatif aux déchets, tel que modifié par le décret-programme du 19 décembre 1996 portant diverses mesures en matière de finances, emploi, environnement, travaux subsidiés, logement et action sociale, par le décret du 27 novembre 1997 modifiant le Code wallon de l'Aménagement du Territoire, de l'Urbanisme et du Patrimoine, par le décret-programme du 17 décembre 1997 portant diverses mesures en matière d'impôts, taxes et redevances, de logement, de recherche, d'environnement, de pouvoirs locaux et des transports, et partiellement annulé par l'arrêt de la Cour d'arbitrage n° 81/97 du 17 décembre 1997;

Vu l'arrêté du Gouvernement wallon du 30 novembre 1995 relatif à la gestion des matières enlevées du lit et des berges des cours et plans d'eau du fait de travaux de dragage ou de curage;

Vu l'avis de l'Inspecteur des Finances donné, le 23 avril 1999;

Vu l'accord du Ministre du Budget, donné le 29 avril 1999;

Vu l'avis de la Commission des déchets;

Vu l'avis du Conseil supérieur des Villes, Communes et Provinces de la Région wallonne;

Vu l'avis du Conseil d'Etat donné en application de l'article 84, alinéa 1^{er}, 2° des lois coordonnées sur le Conseil d'Etat;

Vu l'urgence, motivée par la circonstance qu'il est nécessaire, dans l'intérêt du développement économique de la Région, de procéder dans les meilleurs délais au dragage de certaines parties de cours d'eau (notamment la partie du canal Charleroi-Bruxelles comprise entre le plan incliné de Ronquières et la Région flamande) dont l'entretien normal n'a pu être assuré du fait de certaines dispositions de la législation en vigueur;

Sur la proposition du Ministre de l'Environnement, des Ressources naturelles et de l'Agriculture,

Arrête :

Article 1^{er}. Le Chapitre I^{er} de l'arrêté du Gouvernement wallon du 30 novembre 1995 relatif à la gestion des matières enlevées du lit et des berges des cours et plans d'eau du fait de travaux de dragage ou de curage est remplacé par les dispositions suivantes :

« CHAPITRE Ier. — *Définitions et principes généraux*

Article 1^{er}. Au sens du présent arrêté, on entend par :

1° décret : le décret du 27 juin 1996 relatif aux déchets;

2° déchet : tout déchet tel que défini par l'article 2, 1° du décret;

3° déchet exogène : déchet solide macroscopiquement discernable tel qu'encombrant, bois, ferraille, plastique;

4° cours d'eau : les fleuves, rivières, ruisseaux et canaux navigables et non navigables, ainsi que les eaux des ports et des chenaux d'accès;

5° cours d'eau non navigables : les rivières et ruisseaux non classés par le Gouvernement parmi les voies navigables;

6° plans d'eau : les lacs naturels ou artificiels et les étangs;

7° ouvrages annexes : les fossés, contre fossés, siphons, pertuis et autres ouvrages hydrauliques nécessaires à la gestion des cours ou plans d'eau;

8° travaux de dragage ou de curage : les opérations d'enlèvement de matières, sédiments ou objets du lit et des berges des cours et plans d'eau;

9° installation : toute installation au sens de l'article 2, 17° du décret;

10° Office : l'Office wallon des déchets;

11° fonctionnaire technique : le Directeur général de la Direction générale des Ressources naturelles et de l'Environnement du Ministère de la Région wallonne ou son délégué;

12° fonctionnaire chargé de la surveillance : les fonctionnaires et agents visés à l'article 1^{er} de l'arrêté de l'Exécutif régional wallon du 23 décembre 1992 portant désignation des agents compétents pour rechercher et constater les infractions en matière de protection de l'environnement;

13° gestionnaire : la personne morale de droit public ou la personne de droit privé responsable de la gestion du cours ou du plan d'eau;

14° Ministre : le Ministre qui a l'Environnement dans ses attributions.

Art. 2. Les matières enlevées du lit, des berges et des ouvrages annexes des cours et plans d'eau du fait de travaux de dragage ou de curage sont gérées conformément aux dispositions du présent arrêté.

Art. 3. Préalablement aux travaux de dragage ou de curage d'un cours d'eau ou de ses ouvrages annexes, le gestionnaire :

1° fait effectuer sur les matières à enlever, par un laboratoire agréé en vertu de l'article 40 du décret, un échantillonnage et une analyse conformément aux dispositions de l'annexe 1;

2° adresse au fonctionnaire technique un dossier comprenant :

a) un plan de situation au 1/10.000e des tronçons de cours d'eau sur lesquels les travaux sont projetés;

b) la programmation des travaux à effectuer;

c) le plan d'échantillonnage et les résultats de l'analyse visée au 1°;

d) le rapport visé au point 2.2. de l'annexe 1;

e) ses conclusions quant à la catégorie à laquelle appartiennent les matières à extraire;

f) le ou les modes de destination projetés des matières à extraire.

Le gestionnaire n'est tenu aux obligations visées à l'alinéa précédent que dans les cas où l'article 4, § 2, du présent arrêté ne trouve pas à s'appliquer.

Art. 4. § 1^{er}. Hormis les déchets exogènes, les matières enlevées du lit et des berges des cours et plans d'eau ou de leurs ouvrages annexes du fait de travaux de dragage ou de curage sont réparties en deux catégories, dénommées catégorie A et catégorie B, selon les critères repris à l'annexe 1.

Toute matière présentant un dépassement des normes fixées à l'annexe 1 attribuable exclusivement au fonds géochimique naturel de tout ou partie du bassin versant appartient cependant à la catégorie A.

§ 2. Ne sont pas soumises aux dispositions de l'annexe 1 et sont considérées comme appartenant d'office à la catégorie A, les matières enlevées du lit, des berges et des ouvrages annexes des plans d'eau et des cours d'eau, lorsqu'aucun déversement direct ou indirect d'eaux usées en provenance d'installations relevant des secteurs visés à l'annexe 2 du présent arrêté n'est effectué directement ou en amont du lieu où les travaux sont projetés.

La limite de l'amont à prendre en compte pour l'application de l'alinéa qui précède est constituée, le cas échéant, par le point le plus proche où une analyse antérieure a démontré que les matières appartenaient à la catégorie A, et ce pour autant qu'aucun déversement d'eaux usées en provenance des secteurs visés à l'annexe 2 ne soit intervenu postérieurement à cette analyse.

Art. 5. Il est interdit de se défaire des matières visées à l'article 4 si ce n'est en respectant les modes de gestion énumérés ci-après :

1° les matières appartenant à la catégorie A sont :

- a) soit utilisées conformément aux dispositions prises en application de l'article 3 du décret;
- b) soit orientées vers une installation de regroupement, en vue de leur utilisation, valorisation ou élimination ultérieure;
- c) soit éliminées en centre d'enfouissement technique.

Les matières appartenant à la catégorie A enlevées d'un plan d'eau ou d'un cours d'eau non-navigable peuvent cependant être gérées conformément au chapitre IV de la loi du 28 décembre 1967 sur les cours d'eau non-navigables.

Les matières appartenant à la catégorie A non obstat des dépassements de normes dus exclusivement au fonds géochimique naturel ne peuvent être valorisées que dans la zone présentant le même fonds géochimique naturel, lorsque la valorisation implique le dépôt sur ou l'incorporation au sol.

2° les matières appartenant à la catégorie B sont :

- a) soit orientées vers une installation de prétraitement afin d'y être traitées en vue de répondre aux critères leur permettant d'être classées en catégorie A;
- b) soit orientées vers une installation de regroupement en vue de leur valorisation ou élimination ultérieure;
- c) soit éliminées en centre d'enfouissement technique pour matières enlevées du lit et des berges des cours et plans d'eau, tel que visé à l'article 20, § 2, alinéa 3 du décret.

3° les déchets exogènes collectés à l'occasion de travaux de dragage ou de curage sont gérés conformément au décret et à ses arrêtés d'exécution.

Les déchets résultant de l'entretien des bassins d'orage, à l'exception des déchets exogènes, sont gérés comme les matières visées à l'article 4 § 2. ».

Art. 2. A l'article 7 du même arrêté sont ajoutés un second et un troisième alinéa libellés comme suit :

« Le gestionnaire des cours et plans d'eau et des déchets visés à l'article 4 et à l'article 5, alinéa 1^{er}, 2° peut indistinctement utiliser les installations de regroupement exploitées par le Ministère de la Région wallonne ou le Ministère de l'Équipement et des Transports, moyennant rétribution et conclusion d'une convention qui règle notamment les modalités d'accès à l'installation et les modalités de contrôle de la conformité des matières admissibles.

La rétribution visée à l'alinéa précédent ne peut excéder le coût réel de gestion de l'installation considérée. L'Office peut requérir de l'exploitant toute information ou tout document probant à ce sujet. »

Art. 3. A la suite de l'article 8 du même arrêté est ajouté un second alinéa libellé comme suit :

« Le délai pour lequel l'autorisation est accordée ne peut excéder vingt ans, sans préjudice du renouvellement de l'autorisation. »

Art. 4. L'article 9 du même arrêté est abrogé.

Art. 5. L'article 10 du même arrêté est abrogé.

Art. 6. L'article 11 du même arrêté est remplacé par la disposition suivante :

« Au cas où un centre de regroupement est autorisé à accueillir des matières appartenant à la catégorie A d'une part et des matières appartenant à la catégorie B d'autre part, les zones de stockage de ces deux catégories de matières sont physiquement séparées. »

Art. 7. Les articles 12 à 14 du même arrêté sont remplacés par les dispositions qui suivent :

« Art. 12. Les articles 14 alinéa 2, 14/3, 14/10, 14/11 et 14/12 ne sont pas applicables aux installations de regroupement des matières de la catégorie A.

Sur avis conforme de l'Office, l'autorité compétente peut déroger, aux articles 14/2, 14/5 à 14/8, 14/13, 14/15, 14/18 second alinéa et 14/20.

Art. 13. Quatre bornes, positionnées selon les 3 axes de coordonnées Lambert par un géomètre-expert assermenté, dépassant d'au moins 20 centimètres le niveau du sol et d'une section de 15 x 15 cm sont disposées sur le site de façon à permettre un relevé topographique par photogrammétrie aérienne. Ces coordonnées sont traduites en coordonnées latitude-longitude.

Le procès-verbal relatif au positionnement de ces bornes est transmis à l'Office et au fonctionnaire chargé de la surveillance.

L'exploitant ne peut modifier la position de ces bornes sans en avertir préalablement le fonctionnaire technique et le fonctionnaire chargé de la surveillance par lettre recommandée à la poste.

Art. 14. L'aménagement de l'installation de regroupement et de chacune de ses aires de stockage est réalisé de façon à réduire au maximum le risque de contamination des nappes souterraines captées ou captables.

Le fond et les flancs des aires de stockage sont rendus imperméables à l'aide d'un complexe d'étanchéité complété d'un dispositif assurant un drainage efficace des eaux ayant été en contact avec les matières.

Art. 14/1. Le rejet des percolats et des eaux ayant été en contact avec les matières respecte les normes énoncées dans l'autorisation de rejet.

Au besoin, un traitement de ces eaux est mis en œuvre.

Art. 14/2. Un système de drains périphériques aménagés progressivement autour de chaque aire de stockage récolte les eaux ruisselant à l'extérieur du centre de regroupement ou des aires de stockage vides de façon à éviter leur contamination au contact des matières. Ce système de récolte ne peut en aucun cas perturber le drainage des parcelles voisines. Il est régulièrement curé et nettoyé de façon à ce que son efficacité ne puisse à aucun moment être compromise. Les eaux ainsi récoltées sont rejetées hors du site.

Art. 14/3. S'il échet, afin de permettre le prélèvement d'échantillons d'eaux souterraines, des puits piézométriques atteignant la nappe souterraine, lorsqu'elle existe, sont aménagés en nombre suffisant autour de l'installation.

Les puits piézométriques sont cadenassés. Les clés sont conservées dans l'installation et tenues à la disposition de l'Office et du fonctionnaire chargé de la surveillance.

Art. 14/4. Le centre de regroupement n'est accessible qu'aux personnes autorisées. A cet effet, l'accès est rendu difficile à l'incursion humaine sur tout le périmètre et non seulement sur la partie en exploitation. A défaut d'obstacle naturel jugé suffisant par le fonctionnaire technique, le site est entouré d'une clôture d'une hauteur d'au moins 2 mètres surmontée d'un fil de fer barbelé.

Les entrées et sorties du site sont équipées de portes interdisant l'accès pendant les heures de fermeture du centre de regroupement. Ces portes ne sont maintenues ouvertes que durant la présence de l'exploitant ou de son délégué.

Art. 14/5. Les voiries intérieures sont aménagées de manière à ce que les roues des véhicules soient exemptes de boues et de déchets lors de leur sortie de l'installation.

Des panneaux de signalisation sont placés le long des voies de circulation intérieures afin de guider les véhicules entrant dans l'installation vers les zones de déversement, et les véhicules sortant.

Art. 14/6. L'installation de regroupement dispose d'engins adaptés à sa taille.

Le régalage des matières, le recouvrement intermédiaire, les terrassements d'exploitation et l'entretien des fossés éventuels sont assurés par un engin approprié.

Art. 14/7. L'installation de regroupement dispose d'un complexe de service et de contrôle à proximité immédiate de l'entrée de l'installation.

Ce complexe est équipé en eau, électricité et téléphone et comprend au moins un local destiné à abriter un bureau, un réfectoire et des sanitaires avec douche pour le personnel.

Art. 14/8. A proximité de l'entrée, est prévu au moins un pont-basculé étalonné et pourvu d'un système automatique d'enregistrement, ou tout autre dispositif équivalent. Le pont-basculé et l'étalonnage sont contrôlés selon la législation en vigueur. L'agencement des lieux est réalisé de manière à ce que les véhicules entrant et sortant doivent obligatoirement passer sur le pont-basculé ou le dispositif équivalent qui en tient lieu, maintenu en fonctionnement permanent pendant les heures d'ouverture.

Art. 14/9. A l'entrée de l'installation de regroupement est disposé un panneau d'au moins 1 m² de superficie, sur lequel figurent, de façon claire, visible et permanente, au moins les indications suivantes :

- 1° la mention "entrée interdite" en lettres majuscules de 10 centimètres de haut;
- 2° l'identification et l'adresse de l'installation;
- 3° l'adresse et le numéro de téléphone de l'exploitant ou de son délégué;
- 4° l'adresse et le numéro de téléphone du fonctionnaire chargé de la surveillance;
- 5° les heures normales d'ouverture pour l'acceptation des matières;
- 6° la mention précisant le numéro de téléphone du service à appeler en cas d'incendie ou d'accident;
- 7° la mention spécifiant le type de matières admissibles.

Art. 14/10. § 1^{er}. Avant la mise en activité de l'installation et par la suite deux fois par an, des échantillons d'eau sont prélevés dans les puits piézométriques visés à l'article 15 en présence de l'exploitant par un laboratoire agréé en vertu de l'article 19 du décret du 30 avril 1990 sur la protection et l'exploitation des eaux souterraines et des eaux potabilisables et en présence du fonctionnaire chargé de la surveillance.

Les prélèvements d'échantillons sont poursuivis pendant au moins un an après l'évacuation totale des matières.

§ 2. La prise de tout échantillon est précédée d'un pompage d'un débit suffisant d'une durée d'une heure au moins de la nappe qui permet d'arriver à une stabilisation de la conductivité mesurée.

§ 3. Les prélèvements sont analysés par le laboratoire agréé visé au § 1^{er}.

Les analyses réalisées par le laboratoire agréé portent sur les paramètres suivants : niveau statique, température in situ, pH in situ, conductivité in situ, COT, As, Cd, Cr, Cu, Co, Hg, Ni, Pb, Zn, F-, CN- et hydrocarbures apolaires. Le laboratoire agréé procède, en outre à une évaluation qualitative des composés organiques présents à l'aide d'un chromatographe en phase gazeuse couplé à un spectromètre de masse ou d'un dispositif équivalent.

§ 4. La technique de prélèvement et d'analyse sont conçues de manière à tenir compte des phénomènes de ségrégation des contaminants dans la nappe.

§ 5. L'autorisation peut prévoir un mécanisme de réduction progressive des obligations stipulées aux §§ 1^{er} à 3.

Art. 14/11. Une fois l'an à compter de la mise en activité de l'installation, les percolats se trouvant en amont immédiat de la station d'épuration sont analysés par un laboratoire agréé en vertu de l'article 19 du décret du 30 avril 1990 sur la protection et l'exploitation des eaux souterraines et des eaux potabilisables.

Les analyses réalisées par le laboratoire agréé portent sur les paramètres suivants : température in situ, pH in situ, conductivité in situ, COT, As, Cd, Cr, Cu, Co, Hg, Ni, Pb, Zn, F-, CN- et hydrocarbures apolaires.

Art. 14/12. Les dates et heures de prélèvements sont communiquées au moins cinq jours ouvrables à l'avance par l'exploitant par message télécopié :

- 1° au fonctionnaire technique;
- 2° au fonctionnaire chargé de la surveillance;
- 3° au fonctionnaire dirigeant la Direction des eaux souterraines de la Direction générale des Ressources naturelles et de l'Environnement;
- 4° aux autorités communales sur le territoire desquelles est située l'installation.

Les résultats sont communiqués par l'exploitant aux personnes visées à l'alinéa 1^{er}, au plus tard quarante jours après les prélèvements

Les analyses sont poursuivies jusqu'à la fin de la période suivant la désaffectation du site, pendant laquelle l'exploitant reste tenu d'assurer la surveillance et le contrôle de l'installation. Cette période s'étend sur trois ans au minimum.

Art. 14/13. Pendant les heures de déchargement, deux personnes au moins se trouvent sur le site de l'installation pour assurer les formalités administratives, le contrôle de la conformité des matières, l'orientation des transporteurs et la conduite des engins.

Art. 14/14. L'exploitant tient un registre d'entrée.

Ce registre est constitué d'un volume relié, dont les pages sont numérotées de façon continue, paraphées et datées par le fonctionnaire chargé de la surveillance, par série de 200 pages.

L'exploitant y consigne jour après jour :

- 1° le nombre de bordereaux de transport, avec l'indication de refus. Les bordereaux constituent des annexes au registre;
- 2° les relevés effectués par les instruments de mesures imposés dans l'acte d'autorisation;
- 3° la mention de tout événement inhabituel et/ou susceptible de mettre en cause la protection de l'environnement.

Les protocoles relatifs aux analyses et contrôles prescrits sont annexés au registre.

L'exploitant est tenu de conserver les bordereaux repris en annexe dans son registre pendant les cinq années qui suivent leur rédaction.

Art. 14/15. Sauf le cas de déchargement exceptionnel, tout véhicule amenant des matières dans l'installation de regroupement est muni d'un bordereau de transport.

En cas de déchargement exceptionnel, un bordereau de transport est établi lors de l'entrée de l'installation de regroupement.

Au moment du déchargement, les informations suivantes sont consignées sur le bordereau de transport, par un système informatique :

- 1° le poids, le volume, la tare et l'origine, et le cas échéant, le numéro du bon de pesage;
- 2° la signature du transporteur et le numéro de sa carte d'identité;
- 3° le nom et la signature de la personne chargée par l'exploitant de vérifier la conformité des matières;
- 4° l'identification de l'exploitant;
- 5° la date et l'heure du déchargement;
- 6° un code correspondant au plan d'exploitation qui désigne le lieu de déversement;
- 7° le cas échéant, les raisons du refus d'acceptation des matières et la mention "refus".

Un exemplaire du bordereau est conservé au bureau de l'installation de regroupement et est annexé au registre visé à l'article 14/14; les autres exemplaires sont remis au transporteur.

Art. 14/16. La durée de stockage des matières dans l'installation de regroupement ne peut excéder trois ans.

Art. 14/17. L'exploitant tient un registre de sortie.

Ce registre est constitué d'un volume relié, dont les pages sont numérotées de façon continue, paraphées et datées par le fonctionnaire chargé de la surveillance, par série de 200 pages.

L'exploitant y consigne jour après jour :

- 1° le poids et le volume des matières évacuées;
- 2° la provenance initiale des matières;
- 3° la destination finale de celles-ci.

Art. 14/18. Les matières ne peuvent présenter un taux de siccité inférieur à 10 %.

Elles sont déchargées sur les aires de stockage et régaliées dans les plus brefs délais.

Art. 14/19. Lorsque les matières dégagent des odeurs incommodantes, le fonctionnaire chargé de la surveillance peut imposer :

- 1° le recouvrement des matières par une couche de couverture intermédiaire ou par des produits spécialisés.
- 2° la mise en place d'un dispositif d'abattement ou d'absorption des odeurs à l'aide de produits et de techniques dont l'innocuité et l'efficacité doivent être prouvées par l'exploitant.

Les affaissements, crevasses, failles ou endroits où les déchets apparaissent dans une éventuelle couche de couverture intermédiaire sont comblés dès constatation.

Art. 14/20. Dans les soixante jours de la notification de l'autorisation, l'exploitant transmet en trois exemplaires à l'Office, un plan d'exploitation conforme aux dispositions de l'acte d'autorisation.

Ce plan de travail comprend au moins :

- 1° l'ordre de remplissage et d'évacuation des matières de chaque aire de stockage dans le temps et l'espace;
- 2° l'épaisseur de la couche de matières avant l'évacuation de ceux-ci;
- 3° le plan de gestion des eaux comportant le schéma, l'organisation et l'exécution des mesures en la matière.

Après avoir été visé par l'Office dans un délai de trente jours, le plan d'exploitation est retourné à l'exploitant. L'exploitant est tenu de s'y conformer et le tient à jour au fur et à mesure de l'avancement des travaux de remplissage et d'évacuation des matières des aires de stockage.

Le plan est disponible en permanence dans l'installation et est accessible au fonctionnaire chargé de la surveillance.

Art. 14/21. Dans les trois mois qui précèdent la fin définitive de l'exploitation de l'installation de regroupement, l'exploitant soumet à l'Office, en quatre exemplaires, un projet de réaménagement global du site, en ce compris le réaménagement végétal.

L'administration apporte les modifications qu'elle estime nécessaires au projet et l'approuve dans les nonante jours de sa réception.

Elle prescrit le délai endéans lequel les travaux de remise en état devront être exécutés. »

Art. 8. L'article 16 du même arrêté est remplacé par la disposition suivante :

« La demande d'autorisation contient les indications et documents suivants :

- 1° l'objet précis de la demande, en ce compris la description des matières concernées et les capacités nominales du centre de regroupement;
- 2° l'identité, le domicile, le siège social et administratif du demandeur;
- 3° les documents probants quant à la nature des droits du demandeur sur le terrain, les immeubles et l'équipement;
- 4° la description du site pour lequel l'autorisation est demandée, comprenant :
 - la ou les catégories de matières auquel le site est destiné;
 - une description technique et un relevé des procédés à mettre en œuvre;
 - une étude circonstanciée permettant de déterminer tout risque de contamination du sol et des eaux de surface et souterraines;
 - les quantités approximatives et les conditions de stockage des matières à réutiliser;
 - un diagramme du flux de matières mentionnant notamment la provenance prévisible des matières regroupées;
 - un plan de situation de l'installation à l'échelle 1/10 000;
 - un extrait de la matrice cadastrale des parcelles ou parties de parcelles comprises dans un rayon de 100 mètres autour des parcelles sur lesquelles le centre est situé;
 - un plan dressé à l'échelle 1/200 au moins indiquant la disposition des unités de l'installation;
 - les profils en travers;
- 5° les mesures en vue d'atténuer les inconvénients que pourrait engendrer l'installation pour le voisinage en matière de rejets atmosphériques, de rejets dans les eaux, de bruit, de vibrations et de circulation routière;
- 6° les dispositions pour l'évacuation régulière des matières vers les installations de valorisation ou d'élimination;
- 7° les dispositions en matière de sécurité comprenant les mesures à prendre pour que la valorisation des matières soit assurée lorsque l'installation est hors service;
- 8° le délai prévu pour la mise en activité;
- 9° l'identité et les qualifications des personnes que le demandeur désigne pour assurer le respect des législations relatives à l'environnement et des conditions d'exploiter prévues par l'autorisation;
- 10° le régime horaire de fonctionnement de l'installation;
- 11° les itinéraires habituels d'acheminement des matières vers l'installation et à la sortie de celle-ci;
- 12° la copie des contrats d'assurance couvrant la responsabilité civile relative à l'installation, sauf lorsque la demande émane du Ministère wallon de l'Équipement et des Transports ou du Ministère de la Région wallonne;
- 13° les dérogations sollicitées sur base de l'article 14 alinéa 2, ainsi que la justification de leur demande;
- 14° un inventaire du dossier. »

Art. 9. Dans les articles 6, 8, 17 et 23 du même arrêté, le mot "centre" est remplacé par le mot installation ».

Art. 10. Dans l'intitulé du chapitre III du même arrêté ainsi que dans les articles 18, 19 §1^{er} alinéa premier, 20, 21, 22 et 24, le mot « décharge » est remplacé par les mots « centre d'enfouissement technique ».

Art. 11. L'article 25 du même arrêté est abrogé.

Art. 12. A l'article 26 du même arrêté, les mots " et d'agrément " et " du 5 juillet 1985 relatif aux déchets" sont supprimés.

Art. 13. L'article 28 du même arrêté est remplacé par la disposition suivante :

« Les sites affectés à la gestion des matières issues des cours d'eau navigables du fait de travaux de dragage ou de curage avant l'entrée en vigueur du présent arrêté peuvent continuer à être exploités en tant qu'installations de regroupement, pour autant que l'exploitant introduise auprès de la Députation permanente une demande de régularisation dans les douze mois suivant l'entrée en vigueur du présent arrêté.

Outre les documents et indications pertinents requis en vertu de l'article 16, la demande contient selon le cas :

- 1° la durée résiduelle de l'exploitation en projet;
- 2° les mesures préconisées pour la remise en état du site et, d'une façon générale, toutes les mesures propres à limiter les effets négatifs sur le sol, la flore, la faune, l'air ou les eaux ainsi que sur l'environnement et la santé de l'homme;
- 3° les dérogations sollicitées en vertu de l'article 14 aux conditions d'exploitation qui seraient irréalisables au regard des caractéristiques particulières du site.

Le fonctionnaire technique vérifie si la demande est complète et notifie sa décision quant à la recevabilité du dossier.

Sur base d'un rapport du fonctionnaire technique et dans les cent quatre-vingt cinq jours de la notification de la décision visée à l'alinéa précédent déclarant la demande recevable, la Députation permanente statue et fixe le délai dans lequel il devra être satisfait aux obligations prescrites. Ce délai ne peut dépasser deux ans à dater de la décision. »

Art. 14. L'annexe du même arrêté est remplacée par les dispositions qui suivent :

« ANNEXE 1

Normes d'échantillonnage et d'analyse et procédures de classification des matières enlevées du lit, des berges et ouvrages annexes des cours d'eau et plans d'eau du fait de travaux de dragage ou de curage.

1. Principes généraux

Pour classer les matières parmi les catégories A et B, la procédure et les paramètres prévus dans la présente annexe sont utilisés.

Lorsque les caractéristiques des matières d'une zone où des travaux doivent être effectués ont déjà été déterminées lors de travaux antérieurs conformément à la présente annexe, le fonctionnaire technique peut autoriser une procédure d'échantillonnage simplifiée.

2. Prélèvement des échantillons

2.1. Nombre d'échantillons représentatifs

Le nombre minimal d'échantillons représentatifs à prélever est fixé en fonction du volume de matière à extraire par curage ou par dragage, suivant le tableau 1 ci-après :

Tableau 1 : Nombre minimal d'échantillons représentatifs à prélever selon le volume à extraire

Volume en m ³	Nombre d'échantillons représentatifs
inférieur à 25.000 m ³	au minimum 1 échantillon et un échantillon par 5000 m ³
supérieur à 25.000 m ³	au minimum 3 échantillons et 1 échantillon par 10.000 m ³

Les zones de prélèvement sont définies pour tenir compte de l'étendue et de l'épaisseur de la couche de matière à extraire du plan d'eau ou du tronçon de cours d'eau. Pour assurer une bonne représentativité de l'échantillonnage, il y a lieu d'intégrer lors de la définition de la zone et des points de prélèvement correspondants, des éléments tels que :

- l'existence de zones de captage;
- les conditions locales d'écoulement;
- les apports diffus ou concentrés, directs ou indirects provoqués par les eaux de ruissellement ou les effluents quelle qu'en soit la nature ou l'origine;
- toutes les informations recueillies lors de caractérisations antérieures.

2.2. Prélèvement de l'échantillon

L'échantillon représentatif d'une zone de prélèvements est le résultat du mélange pondéré de minimum 4 prélèvements individuels réalisés sur toute l'épaisseur des matières à évacuer et répartis judicieusement dans la zone.

Chaque prélèvement individuel est répertorié et fait l'objet d'une description macroscopique indiquant notamment :

- la couleur, l'odeur (sulfure d'hydrogène, hydrocarbures,...);
- la texture et la consistance de la matière;
- l'homogénéité ou la stratification du sédiment;
- la présence d'éléments grossiers (blocs, graviers,...);
- la présence de composants caractéristiques : organismes vivants, végétaux frais ou en décomposition, coquillages, débris divers,...

Le rapport renseignera également la situation, la profondeur et l'épaisseur de chaque prélèvement individuel.

Le volume final de l'échantillon représentatif sera fonction de la granulométrie du matériau. Il devra contenir au minimum 15 dm³ de matières fines (dimension des grains inférieurs à 2 mm).

Lorsque les caractéristiques du sédiment le permettent, les prélèvements s'effectuent à l'aide d'échantillonneurs à pénétration verticale en respectant les recommandations de la norme ISO-4364 (1977) relative à l'échantillonnage des matériaux du lit.

En présence de sédiments cohésifs ou de matières grossières (graviers, cailloux ou blocs), l'usage d'un appareil de carottage ou d'une benne preneuse est souhaitable; de même en zone émergée l'usage d'une tarière est autorisé.

Si la prise d'échantillon est perturbée par la présence de matériaux grossiers (roches, blocs, graviers,...), des dispositions seront prises en accord avec le fonctionnaire technique pour effectuer un échantillonnage assurant le prélèvement de la fraction fine.

2.3. Transport et conservation

Les récipients destinés au stockage des échantillons doivent présenter une ouverture largement dimensionnées et permettre une manipulation aisée. En aucune manière, les différents composants du mélange ne peuvent être altérés par la nature du récipient.

Le récipient doit être fermé hermétiquement et conservé à l'abri de la lumière, dans un endroit frais (idéalement 2 à 4 °C). L'analyse doit obligatoirement commencer dans les plus brefs délais après le prélèvement.

3. Traitement de l'échantillon brut

Dès la réception au laboratoire, l'échantillon prélevé sera pesé, homogénéisé et séparé en deux fractions identiques, représentatives et suffisantes aux déterminations analytiques ultérieures.

L'un des aliquotes sera destiné aux analyses nécessitant l'utilisation d'un matériau brut non séché. L'autre sera pesé puis déposé dans un récipient adéquat, hors d'atteinte des vapeurs ou poussières du laboratoire et, séché en étuve ventilée réglée à une température de 60°C maximum jusqu'à masse constante.

Chaque aliquote sera conservée en évitant soigneusement toute altération susceptible de nuire aux déterminations analytiques ultérieures.

Un échantillon témoin du matériau séché sera conservé pendant une période minimale de 6 mois.

En tout état de cause, les échantillons soumis aux analyses doivent être représentatifs du déchet dans la filière de gestion.

4. Procédure de contrôle : préparation et analyses

4.1. Préparation

Un aliquote de la matière sèche sera désagrégé dans un mortier en porcelaine tout en conservant les éléments grossiers (graviers, cailloux, concrétions, débris organiques,...). Le produit ainsi obtenu sera passé au tamis de 2 mm. Seule la fraction passante sera analysée. Certaines analyses chimiques exigent un matériau plus finement broyé passant au tamis de 0,5 mm; on utilisera dès lors un broyeur approprié.

4.2. Analyse

Le laboratoire détermine ensuite sur les fractions appropriées les paramètres et dosages suivants :

a) la matière sèche à 105 °C +/- 2 °C, la teneur en matières organiques, le pH et la conductivité électrique de la solution aqueuse 1/10 à 20 °C, la teneur en matières insolubles dans les acides, le refus au tamis de 2 mm;

b) éléments et composés inorganiques : As, Cr, Cd, Co, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, F-, CN- totaux.

c) composés organiques : hydrocarbures aliphatiques (C10 B C40), hydrocarbures aromatiques monocycliques, solvants halogénés, hydrocarbures aromatiques polycycliques (P.A.H.'s de Borneff), polychlorobiphényles (PCB's de Ballschmieter) et pesticides organochlorés.

Le dosage de ces composés organiques n'est exécuté que si leur présence est mise en évidence par un balayage en chromatographie en phase gazeuse couplée à un spectromètre de masse (GC/MS).

Une détermination complémentaire d'éléments ou de composés inorganiques ou de composés organiques, peut être demandée par le fonctionnaire technique en fonction soit de conditions locales particulières, soit de leur présence signalée dans la colonne d'eau.

4.3. Interprétation

La classification des matières à extraire est établie de la manière suivante.

1° Lorsque les travaux visent à extraire moins de 25.000 m³ de matières

a) les matières à extraire sont considérées comme appartenant à la catégorie A lorsqu'il n'y a dépassement des normes fixées aux tableaux 2 et 3 pour aucun des éléments ou composés repris dans ces tableaux.

Tableau 2 : Teneurs maximales admissibles en éléments et composés inorganiques

(en mg par kg de matières sèches)

As	Cd	Cr	Cu	Co	Hg	Ni	Pb	Zn	F-	CN-
50	6	200	150	25	1,5	75	250	1200	250	5

Tableau 3 : Teneurs maximales admissibles pour les composés organiques

(en mg par kg de matières sèches)

Hydrocarbures apolaires	1500
Hydrocarbures aliphatiques (C10 B C40)	50
Hydrocarbures aromatiques monocycliques (1)	10
Solvants halogénés (2)	1
Hydrocarbures aromatiques polycycliques (P.A.H.'s de Borneff) (3)	9
Polychlorobiphényles (P.C.B.'s de Ballschmieter) (4)	0,25
Pesticides organochlorés totaux (5)	0,25

(1) Benzène, toluène, éthylbenzène, m-xylène, p-xylène, o-xylène, styrène

(2) Chlorure de méthylène, trans-1,2-dichloroéthylène, 1,1-dichloroéthane, cis-1,2-dichloroéthylène, chloroforme, 1,1,1-trichloroéthane, 1,2-dichloroéthane, tétrachlorure de carbone, 1,2-dichloropropane, trichloroéthylène, bromodichlorométhane, cis-1,3 dichloropropylène, trans-1,3-dichloropropylène, 1,1,2-trichloroéthane, dibromochlorométhane, tétrachloroéthylène, chlorobenzène, bromoforme

(3) Par P.A.H.'s on entend la recherche des composés suivants :

acénaphthène, acénaphthylène, anthracène, benzo (a) anthracène, dibenzo (a, h) anthracène, chrysène, fluoranthène (*), benzo (b) fluoranthène (*), benzo (k) fluoranthène (*), fluorène, naphtalène, phénanthrène, pyrène, benzo (a) pyrène (*), indéno 1, 2, 3 (c, d) pyrène (*) et benzo (g, h, i) pérylène (*).

La décision porte sur la somme des 6 composés de Borneff (*).

(4) Par P.C.B.'s on entend la somme des P.C.B. 28, 52, 101, 118, 138, 153 et 180.

(5) Par pesticides organochlorés on entend la somme des H.C.B., c'est-à-dire hexachlorobenzène, aldrine, dieldrine, endrine, isodrine, lindane, heptachlorépoxyde, 4,4 DDE, 2,4 DDT et 4,4 DDT.

b) lorsqu'au moins un des éléments ou composés dépasse la teneur fixée aux tableaux 4 et 5, les matières appartiennent à la catégorie B.

Tableau 4. Teneurs de sécurité pour les éléments et composés inorganiques (en mg/kg de matière sèche)

As	Cd	Cr	Cu	Co	Hg	Ni	Pb	Zn	F-	CN-
100	30	460	420	100	15	300	1500	2400	500	25

Tableau 5. Teneurs de sécurité pour les composés organiques (en mg/kg de matières sèches)

Hydrocarbures apolaires	4500
Hydrocarbures aliphatiques (C10 B C40)	100
Hydrocarbures aromatiques monocycliques	75
Solvants halogénés	5
Hydrocarbures aromatiques polycycliques (P.A.H.'s de Borneff)	45
Polychlorobiphényles (P.C.B's de Ballschmieter)	0.75
Pesticides organochlorés totaux	0.50

c) Lorsqu'au moins un des éléments ou composés dépasse la teneur fixée aux tableaux 2 et 3, mais présente une concentration inférieure à la teneur de sécurité définie aux tableaux 4 et 5, un test d'éluion est entrepris sur un aliquote de chacun des échantillons représentatifs issus du plan d'eau ou du tronçon de cours d'eau sur lequel les travaux sont projetés.

Test d'éluion

Le test d'éluion a pour but de fournir une information qualitative sur la composition des eaux d'infiltration et la nature des substances potentiellement dangereuses en mouvement.

Le laboratoire exécute le test d'éluion selon la méthode DIN 38414-S4 complétée ou simplifiée par l'Office wallon des Déchets à l'annexe III de la circulaire administrative du 23.12.1992 et telle que décrite dans le cas des échantillons solides ou pâteux.

Trois éluions successives seront menées sur le même aliquote et, sauf pour le pH et la conductivité, on additionnera les résultats observés au terme de chaque éluion.

Les éluats feront systématiquement l'objet des analyses suivantes :

a) caractéristiques générales : pH, conductivité;

b) éléments et composés inorganiques : As, Cd, Cr, Cu, Co, Hg, Ni, Pb, Zn, F-, CN-.

Seuls les composés organiques dont la teneur maximale définie au tableau 3 a été franchie lors de l'analyse préliminaire de chaque échantillon représentatif feront l'objet d'une détermination analytique sur les éluats.

La concentration massique des substances lixiviées rapportée au kilogramme de matière sèche présente dans l'échantillon, sert de base à une nouvelle classification des matières.

Dans le cas des métaux lourds, il y a lieu également d'indiquer le degré de lixiviation, c'est-à-dire le rapport en % de la partie lixiviée d'une substance à la teneur globale de cette substance dans l'échantillon sec.

Les concentrations massiques maximales admissibles sont reprises au tableau 6.

Tableau 6 : concentrations massiques maximales admissibles dans les sédiments

en mg par kg de matières sèches (*)

As tot	0,50
Cd	0,10
Co	0,50
Crtot	0,50
CrVI	0,10
Cu	2,00
Hg	0,02
Ni	0,50
Pb	0,50
Zn	2,00
F-	20
CN-	0,10

Hydrocarbures apolaires	10
Hydrocarbures aliphatiques (C10 B C40)	(**)
Hydrocarbures aromatiques monocycliques (individuel)	0.0002
Solvants halogénés (individuel)	0.0005
P.A.H's de Borneff (individuel)	0,002
P.C.B's de Ballschmieter (individuel)	0,002
Pesticides organochlorés (individuel)	0,002

(*) Ces concentrations sont calculées à partir des concentrations mesurées en mg/l dans les trois éluats successifs.

(**) Limite de quantification avec la méthode analytique reprise au tableau 7

Lorsque, pour chacun des aliquotes issus des échantillons représentatifs, la concentration massique de chaque élément ou composé est inférieure à la concentration massique maximale admissible définie au tableau 6, l'ensemble des matières à extraire du plan d'eau ou du tronçon de cours d'eau sur lequel les travaux sont projetés appartient à la catégorie A.

Si par contre, pour un ou plusieurs échantillons représentatifs, au moins un élément ou composé dépasse la concentration massique maximale admissible, les matières à extraire de la ou des zones de prélèvement correspondantes appartiennent à la catégorie B. Toutefois, les matières à extraire des zones de prélèvement dont les échantillons représentatifs satisfont aux normes fixées au tableau 6 peuvent être gérées comme des matières appartenant à la catégorie A, moyennant séparation mécanique.

2° Lorsque les travaux visent à extraire plus de 25.000 m³ de matières

a) Lorsque chacun des échantillons représentatifs satisfait aux critères fixés par les tableaux 2 et 3, l'ensemble des matières à extraire du plan d'eau ou du tronçon de cours d'eau sur lequel les travaux sont projetés appartient à la catégorie A.

b) Lorsqu'un ou plusieurs échantillons représentatifs présentent pour au moins l'un des éléments ou composés un dépassement des teneurs fixées aux tableaux 2 et 3 mais que les concentrations restent inférieures aux teneurs de sécurité fixées par les tableaux 4 et 5, on calcule sur l'ensemble des échantillons représentatifs la moyenne arithmétique de la teneur de chacun de ces éléments ou composés et leur écart-type par rapport à la moyenne.

b.1) Si la somme de la moyenne et de l'écart-type de la teneur de ces éléments ou composés est inférieure à la teneur fixée aux tableaux 2 et 3, l'ensemble des matières à extraire appartient à la catégorie A.

b.2) Si la somme de la moyenne et de l'écart-type de la teneur de ces éléments ou composés est supérieure à la teneur fixée aux tableaux 4 et 5, l'ensemble des matières à extraire appartient à la catégorie B.

b.3) Si cette somme est supérieure à la teneur fixée aux tableaux 2 et 3 tout en restant inférieure à la teneur de sécurité fixée aux tableaux 4 et 5, on effectue, sur un aliquote issu du ou des échantillons représentatifs qui présentaient un ou plusieurs dépassements des teneurs fixées aux tableaux 2 et 3, un test d'éluion suivant les prescriptions du point 1^o ci-avant. La concentration massique des éléments ou composés visés au point b) est déterminée à partir des éluats.

c.1) Si pour chacun des aliquotes la concentration massique de ces éléments ou composés est inférieure à la concentration massique maximale admissible fixée au tableau 6, l'ensemble des matières à extraire appartient à la catégorie A.

c.2) Dans le cas contraire, on effectue le test d'éluion sur l'ensemble des échantillons représentatifs et on calcule, sur l'ensemble des aliquotes, la moyenne arithmétique de la concentration massique des éléments ou composés qui présentaient un dépassement de la concentration massique maximale admissible, et leur écart-type par rapport à cette moyenne. Lorsque la somme de la moyenne et de l'écart-type de la concentration massique de chacun de ces éléments ou composés reste inférieure à la concentration massique maximale admissible fixée au tableau 6, l'ensemble des matières appartient à la catégorie A. Dans le cas contraire, l'ensemble des matières à extraire appartient à la catégorie B. Toutefois, les matières correspondant aux zones de prélèvement dont sont issues les aliquotes qui ont satisfait aux normes fixées au tableau 6 peuvent être seules gérées comme des matières appartenant à la catégorie a, moyennant séparation mécanique.

5. Méthodes analytiques

Tableau 7 : Méthodes analytiques recommandées

Paramètre	Analyse des sédiments	Analyse des éluats
Minéralisation par digestion acide de boue, sédiment ou sol	EPA 3050 B-3051-3052, ISO 38414 - S17	EPA 3050B-3051-3052
PH	DIN 38414 Part 5 ISO/DIS 10390	DIN 38404 Part 5 ISO 10523
As	EPA 7060 -7061, ISO 11885	EPA 7060-7061, EN ISO 11989, ISO 11885
Cd	ISO 8288, ISO 11885	ISO 8288, ISO 11885
Cr tot	ISO 9174, ISO 11885	ISO 9174, ISO 11885
CR VI	ISO 11083	ISO 11083

Paramètre	Analyse des sédiments	Analyse des éluats
Cu	ISO 8288, ISO 11885	ISO 8288, ISO 11885
Co	EPA 7200-7201, ISO 8288, ISO 11885	EPA 7200-7201, ISO 8288, ISO 11885
Hg	ISO 5666/1, NBN EN 1483	ISO 5666/1, NBN EN 1483
Ni	ISO 8288, ISO 11885	ISO 8288, ISO 11885
Pb	ISO 8288, ISO 11885	ISO 8288, ISO 11885
Zn	ISO 8288, ISO 11885	ISO 8288, ISO 11885
F-	ISO 10359	ISO 10359
CN-	EPA 9010, ISO 6703-1	EPA 9010, ISO 6703-1
Hydrocarbures apolaires	ISO TR 11046 (méthode B)	ISO TR 11046 (méthode B) NVN 6678
Hydrocarbures aliphatiques (C10 B C40)	ISO TR 11046 (méthode B adaptée)	ISO TR 11046 (méthode B adaptée)
Hydrocarbures aromatiques monocycliques	EPA 602/8020	EPA 602/8020
Solvants halogénés	EPA 601/8010	EPA 601/8010
P.A.H's	EPA 610/8310, EPA 625/8270	EPA 610/8310, EPA 625/8270
P.C.B's	EPA 505, EPA 608/8080	EPA 505, EPA 608/8080
Pesticides organochlorés	EPA 505, EPA 508, EPA 608/8080	EPA 505, EPA 508, EPA 608/8080

ANNEXE 2

Sont à prendre en compte pour l'application de l'article 4, § 2, al. 1., les déversements d'eaux usées en provenance des secteurs ci-après :

1. Secteurs visés par les arrêtés royaux ci-après, déterminant les conditions sectorielles de déversement d'eaux usées dans les eaux de surface et dans les égouts publics,

Arrêté royal	Secteur
A.R. 29/12/88	Asbeste-ciment
A.R. 02/08/85	Charbonnages et activités de valorisation du charbon
A.R. 02/10/85	Industrie du chlore
A.R. 03/02/85	Cokeries
A.R. 04/08/86	Fabrication des engrais
A.R. 12/09/85	Ennoblement du textile
A.R. 07/10/86	Hexachlorocyclohexane
A.R. 22/08/88	Hydrocarbures chlorés
A.R. 04/09/85	Industrie graphique
A.R. 19/02/87	Industrie pharmaceutique
A.R. 02/10/85	Laboratoires
A.R. 11/07/89	Traitement de surface des métaux

Arrêté royal	Secteur
A.R. 27/11/85	Métaux non-ferreux
A.R. 28/06/89	Méthylcellulose
A.R. 04/08/86	Nettoyage des fûts
A.R. 02/08/85	Nettoyage des véhicules et des bateaux fluviaux
A.R. 08/07/87	PCB et PCT
A.R. 30/03/87	Pétrochimie et chimie organique en dérivant
A.R. 03/02/88	Raffineries de pétrole
A.R. 29/10/85	Sidérurgie à chaud
A.R. 03/02/88	Tanneries, mégisseries et pelleteries
A.R. 04/08/86	Vernis, peintures, encres d'imprimerie et pigments
A.R. 04/09/85	Viscose

2. Secteurs industriels dont les eaux usées contiennent les substances dangereuses suivantes au sens de la directive 76/464/CEE et de la directive 86/280/CEE et ses modifications successives, tels que visés ans les arrêtés de l'Exécutif régional wallon du 11 février 1993 :

- DDT, pentachlorophénol, aldrine, dieldrine, endrine et isodrine
 - tétrachlorure de carbone, chloroforme, 1,2-dichloroéthane, trichloréthylène, perchloréthylène, trichlorobenzène, hexachlorobenzène et hexachlorobutadiène

Le gestionnaire peut obtenir les informations relatives aux autorisations de déversements en provenance des secteurs visés par la présente annexe auprès de la Direction générale des Ressources naturelles et de l'Environnement du Ministère de la Région wallonne, Division de l'Eau, Direction des Eaux de surface. »

Art. 15. A l'article 7 alinéa 3, 2° de l'arrêté de l'Exécutif régional wallon du 31 octobre 1991 portant exécution du décret du 11 septembre 1985 organisant l'évaluation des incidences sur l'environnement en Région wallonne, les mots « et des installations de regroupement des matières enlevées du lit, des berges et des ouvrages annexes des cours et plans d'eau du fait de travaux de dragage ou de curage » sont insérés entre le mot « contrôlées » et les mots « en vertu ».

Art. 16. Le Ministre qui a l'environnement dans ses attributions est chargé de l'exécution du présent arrêté.

Namur, le 10 juin 1999.

Le Ministre-Président du Gouvernement wallon,
 chargé de l'Economie, du Commerce extérieur, des P.M.E., du Tourisme et du Patrimoine,
 R. COLLIGNON

Le Ministre de l'Environnement, des Ressources naturelles et de l'Agriculture,
 G. LUTGEN

—