



**HAL**  
open science

## Boisement des dépôts de boues draguées.

P. Huvenne, N. Lust, L. Speleers, B. de Vos

► **To cite this version:**

P. Huvenne, N. Lust, L. Speleers, B. de Vos. Boisement des dépôts de boues draguées.. Revue forestière française, 1997, 49 (2), pp.115-130. 10.4267/2042/5599 . hal-03443472

**HAL Id: hal-03443472**

**<https://hal.science/hal-03443472>**

Submitted on 23 Nov 2021

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# biologie et forêt

## BOISEMENT DES DÉPÔTS DE BOUES DRAGUÉES

P. HUVENNE - N. LUST - L. SPELEERS - B. DE VOS

Afin que nos voies navigables disposent d'un enfoncement suffisant, conforme aux conventions européennes, et afin de minimiser le danger d'inondation, un dragage permanent est indispensable. Selon une enquête de l'*International Association of Ports and Harbors* (IAPH, 1981), 350 millions de tonnes de dragages d'entretien et 230 millions de tonnes de dragages infrastructurels ont été effectués dans le monde entier pendant l'année 1979. Tack (1996) signale que, chaque année, on drague en Belgique 50 millions de mètres cubes. La plus grande partie est déversée dans la mer du Nord ou dans l'Escaut, mais chaque année la Région flamande est contrainte à recevoir 4 000 000 m<sup>3</sup> de boues draguées sur son territoire (Demoen, 1989).

En 1991, l'Université de Gand et les Entreprises Jan De Nul SA mettent un projet de recherche sur les rails. Son but est d'étudier les possibilités de revaloriser la vase draguée, puis déversée sur terre, par plantation et sylviculture. Pendant les quatre années qui se sont écoulées depuis, de remarquables progrès ont été enregistrés.

### PROBLÉMATIQUE

Lors de l'étude de la question concernant la vase draguée, trois problèmes se posent :

- trouver la superficie nécessaire à la décharge des vases draguées,
- développer une destination ultérieure judicieuse pour les boues draguées,
- assumer les risques liés à la pollution présente dans la vase.

### Le manque de décharges

En Flandre, à cause de la population dense, il est extrêmement difficile de trouver suffisamment de nouvelles décharges. Compte tenu de la hauteur de colmatage habituelle et des quantités annuelles

susmentionnées, il faut trouver chaque année une nouvelle superficie de 135 à 200 hectares (De Vos, 1994a). Des concepts qui garantissent une utilisation optimale des décharges existantes sont dès lors fort réclamés, afin de pouvoir limiter la superficie nécessaire pour en créer de nouvelles.

### **Destination ultérieure des décharges pour boues draguées**

Pour chacune des décharges, il faut trouver une destination ultérieure adéquate. Non seulement la décharge doit satisfaire à des conditions de sécurité et de rentabilité, mais encore son utilisation ultérieure doit être acceptable pour l'opinion publique. Dans de telles circonstances, la sylviculture ou le développement naturel sont de plus en plus pris en considération. Aussi, un des buts du projet était-il d'examiner si les dépôts peuvent être boisés, de quelles espèces, de quelle façon et quel en serait l'impact écologique. Ainsi, l'on tient compte de la nécessité d'extension forestière dans la Région flamande. Celle-ci figure, avec ses 8,3 % de superficie forestière (dans quelques provinces même moins de 5 %), parmi les régions les plus pauvres en forêts de l'Europe.

Les boues draguées de l'Escaut entraînent un autre problème : l'eau saumâtre salée provoque une haute salinité du limon. Aussi la salinité s'avère-t-elle un facteur décisif dans le choix des espèces d'arbre et de buisson à utiliser pour le boisement de ce limon d'eau saumâtre.

### **Risques de pollution**

En troisième lieu, la pollution des boues varie de légère à sévère, et émane aussi bien de polluants organiques qu'anorganiques. Ce phénomène est directement lié à la contamination des voies navigables : en aval d'un point d'évacuation, les valeurs de pollution extrême sont mesurées dans les lits fluviaux. Malgré les efforts remarquables de la Région flamande pour épurer les voies navigables, la pollution reste présente dans les lits fluviaux, et décidera certainement dans les 15 à 20 ans à venir de la problématique de dragage.

À cet égard, les chercheurs se voyaient confrontés à la question de savoir si la pollution présente dans le limon est absorbée par les arbres, si une telle pollution peut engendrer des effets toxiques et si l'on peut retrouver des évolutions dans ces processus. Inversement, la question était de savoir si les arbres peuvent influencer sur les polluants du terrain par voie de leur racinement et de leur impact sur les paramètres physico-chimiques du sol.

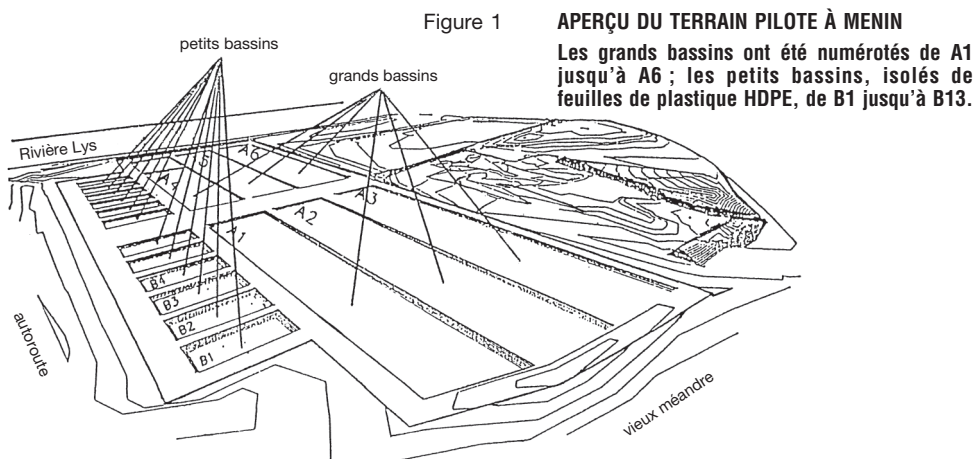
### **Les caractéristiques d'un terrain de boues draguées sont déterminées par la technique de dragage.**

Une décharge de boues draguées diffère d'autres terrains à boisier. Après aménagement, un dépôt forme un sol néogène, pratiquement anaérobie, avec de très forts gradients de texture. Souvent un tel dépôt est aussi constitué de couches successives. Ces caractéristiques sont une conséquence directe de la technique même de dragage.

Les outils à draguer ramènent les alluvions à la surface de façon mécanique (avec des grues ou des dragues à seaux) ou hydraulique (avec des dragues à succion qui aspirent le lit fluvial) et les rassemblent dans les dragueurs. Ceux-là abordent le débarcadère, où l'on décharge la cale généralement de façon hydraulique : les alluvions sont mélangées à une grande quantité d'eau supplémentaire (l'eau supplétive) et pompées par des tuyaux de refoulement conduisant les boues jusqu'au dépôt. Sous la bouche de la conduite de refoulement, les particules les plus lourdes (sableuses) se décantent les premières, les fractions plus fines se laissent porter par l'eau supplétive. À l'autre bout du dépôt, une cuve est installée qui permet à l'eau excédentaire de s'écouler. Le résultat de ce processus est un sol très hétérogène, sursaturé en eau, avec un gradient manifeste d'une partie sableuse vers une partie argileuse. À ce gradient de texture est lié un gradient de substances polluantes et nutritives.

## MÉTHODOLOGIE

Afin de pouvoir répondre aux questions susmentionnées, deux terrains ont été aménagés pour des expérimentations sylvicoles. À Menin, un terrain d'expérimentation plat a été aménagé pour des boues draguées de la Lys (figure 1, ci-dessous) avec 6 grands et 13 petits dépôts hydrauliquement colmatés. À Beveren, sur la rive gauche de l'Escaut (région portuaire anversoise), deux collines ont été aménagées pour de la vase d'eau saumâtre drainée.



Ces deux terrains ont été aménagés et adaptés spécialement pour la recherche. À Menin, les grands bassins ont été pourvus d'une grille, indiquée avec des bornes, ce qui rend possible des mesures répétitives au même endroit. Les petits bassins ont été isolés par des feuilles de plastique HDPE et munis d'un système de drainage pour recueillir l'eau qui s'infiltré. Ensuite, diverses expérimentations ont été lancées dans les différents bassins. Le tableau I (p. 118) donne un aperçu des divers bassins. Une station météorologique automatisée mesure les précipitations, l'ensoleillement, la direction et la vitesse du vent, la température de l'air et du sol et l'humidité atmosphérique.

À Beveren, deux collines différentes ont été aménagées. La première en forme de pyramide, la deuxième isolée au pied par des feuilles de plastique HDPE et munie d'un système de drainage déversant l'eau dans des tonneaux la recueillant. La zone des racines (60 cm) de cette deuxième colline a d'ailleurs été mélangée à du sable, à 50 % pour deux bandes, à 25 % pour deux autres. Ceci avait pour but l'amélioration de la texture du sol et l'étude de l'impact d'un tel mélange sur la salinité.

### Expérimentations de boisement

À Menin, de nombreuses nouvelles techniques pour boiser les dépôts de vase ont été testées (cf. tableau I, p. 118). L'on utilisait en particulier des espèces pilotes afin de pouvoir réaliser les boisements rapidement après colmatage. Les accotements mêmes ont été plantés d'espèces ayant une grande longévité, dans le but de rajeunir de façon naturelle le boisé pilote par ensemencement. À partir des accotements, des peupliers ont été plantés en introduisant des racines dans les dépôts nouvellement colmatés. De petites expérimentations, ayant pour but de semer des saules et des peupliers dans un dépôt non drainé, ont été lancées. Les saules étaient plantés en tant que plants classiques, les longs osiers ont été posés horizontalement dans le limon. Ces dernières expérimentations ont conduit au développement de ce qu'on appelle "la technique SALIMAT" (voir "Résultats et commentaires", p. 120) permettant de boiser un terrain de vase jusqu'ici encore inaccessible. En

Tableau I **Aperçu des expérimentations lancées sur les décharges à Menin**

Dépôt n°	Date dernier colmatage	Début de l'expérimentation	Description de l'expérimentation	Espèces
A1 . . . .	10-06-92	26-02-93	Expérimentation des plants avec racines	<i>Alnus glutinosa</i> , <i>Fraxinus excelsior</i> <i>Populus × trichocarpa × P. deltoides</i> cv. 'Boelare' et cv. 'Beaupré'
A2 . . . .	15-05-94	27-05-94	Expérimentation de clones dans SALIMAT	<i>Salix alba</i> , <i>S. rigida</i> , <i>S. purpurea</i> , <i>S. viminalis</i> , <i>S. triandra</i> , <i>S. fragilis</i> , <i>P. × T. × D.</i> 'Boelare'
			Comparaison de clones de saules	<i>Salix fragilis</i> , <i>S. alba</i> , <i>S. rigida</i>
A3 . . . .	9-04-92	20-04-92	Techniques de boisement	<i>S. triandra</i> var. 'Noir de Villaines', <i>S. triandra</i> 'Black German', <i>S. fragilis</i> var. 'Belgisch rood', <i>S. caprea</i> , <i>S. viminalis</i>
A4 . . . .	22-02-93	5-03-93	Boisement de Peuplier avec souche	<i>Populus × trichocarpa × P. deltoides</i> cv. divers
A5	24-06-94	10-04-95	Semis d'Aune glutineux	<i>Alnus glutinosa</i>
A6 . . . .	10-03-93	18-03-93	Boisement SALIMAT expérimental	<i>Salix fragilis</i> 'Belgisch rood', <i>S. triandra</i> 'Noir de Villaines'
B1-B12 .			Écosystème miniature SALIMAT	<i>Salix fragilis</i> 'Belgisch rood', <i>S. triandra</i> 'Noir de Villaines'
B13 . . .			Les expérimentations ne sont pas encore mises en marche	

1995 finalement, le semis d'aunes glutineux (*Alnus glutinosa*) dans la vase drainée a été expérimenté. Pendant toutes ces expérimentations, la survie et les pourcentages de réussite ont été étudiés en premier lieu, tout comme la hauteur dans le cas des clones de Peuplier plantés. La technique SALIMAT implique finalement l'observation de grand nombre de paramètres comme la hauteur, le développement de la biomasse, la production de litière, la croissance des racines, l'évolution en conséquence de la vase et l'état phytosanitaire.

À Beveren, les arbres et les buissons ont été introduits de façon classique sur les deux collines (seuls les clones de Peuplier sous la forme de plants). Le tableau II (p. 119) donne un aperçu des espèces utilisées. Lors des expérimentations sur la vase d'eau saumâtre, l'accent a été mis sur la recherche des espèces les mieux adaptées, qui pourraient entrer en ligne de compte pour d'éventuels projets à grande échelle. Tous les arbres plantés ont été mesurés deux fois. Les peupliers en diamètre (à 1,30 m) ; les autres espèces, en hauteur et longueur de l'élongation annuelle. À l'aide de ce dernier paramètre, les hauteurs de quatre années ont été calculées. On a étudié en outre la survie des arbrisseaux après cinq années, et l'état phytosanitaire du terrain qui a été régulièrement inspecté.

### Pollution par métaux lourds

La présence de polluants dans le limon — leur influence sur la croissance des arbres et vice versa — a constitué un des projets de recherche majeurs pendant les quatre années qui se sont écoulées depuis la mise sur les rails du projet. C'est aussi un des aspects qui suscite le plus de questions concernant le boisement de dépôts de boues draguées. La recherche s'est concentrée principalement sur la présence de métaux lourds. Des polluants organiques sont presque toujours décomposés à court ou plus long terme. Il existe même une possibilité réelle pour que ce processus soit accéléré par la présence d'un boisement. Les métaux lourds, par contre, ne sont pas décomposés, et sont au contraire absorbés par les plantes et les animaux.

## Biologie et forêt

Dans une première phase, la vase a été abondamment échantillonnée et analysée. Sur la base d'un sondage systématique, des échantillons de vase ont été pris à des endroits fixes, ceci tant à Menin qu'à Beveren. Ils ont été étudiés en terme de pH, texture, conductivité, teneur en charbon organique, éléments macro-nutritifs et oligo-éléments. Les analyses des éléments chimiques ont été réalisées après extraction à la torche à plasma (ICP-AES).

Outre le terrain même, les feuilles des arbres ont été échantillonnées à plusieurs reprises, chaque fois dans la deuxième moitié du mois d'août. Les éléments végétaux ont également été analysés à la torche à plasma (ICP-AES) après extraction. Ces analyses ont été suffisamment répétées par espèce ou par clone. La répétition annuelle de certaines de ces analyses a permis de définir une évolution et de la suivre.

Tableau II **Survie des espèces d'arbres, plantées à Beveren,  
en fonction de l'addition de sable**

Espèce	Planté	Vivant en 1993	Vivant en 1995	% vivant en 1993	% vivant en 1995
<b>0 % d'addition de sable</b>					
<i>Acer pseudoplatanus</i> . . .	166	64	56	39	34
<i>Alnus glutinosa</i> . . . . .	122	54	54	44	44
<i>Fraxinus excelsior</i> . . . . .	119	87	84	73	71
<i>Populus alba</i> . . . . .	116	57	49	49	42
<i>Populus 'Unal'</i> . . . . .	66	27	32	41	48
<i>Populus 'Beaupré'</i> . . . . .	63	36	22	57	35
<i>Populus 'Boelare'</i> . . . . .	20	5	0	25	0
<i>Populus 'Ghoy'</i> . . . . .	42	16	9	38	21
<i>Populus divers</i> . . . . .	25	1	0	4	0
<i>Prunus avium</i> . . . . .	43	0	0	0	0
<i>Quercus robur</i> . . . . .	146	26	26	18	18
<i>Quercus rubra</i> . . . . .	40	16	6	40	15
<i>Salix alba</i> . . . . .	75	1	0	1	0
<i>Salix repens</i> . . . . .	35	0	2	0	6
<i>Salix viminalis</i> . . . . .	38	12	6	32	16
<b>25 % d'addition de sable</b>					
<i>Quercus robur</i> . . . . .	42	37	37	88	88
<i>Acer pseudoplatanus</i> . . .	90	84	78	93	87
<i>Alnus glutinosa</i> . . . . .	81	55	51	68	63
<i>Populus 'Ghoy'</i> . . . . .	81	27	32	33	40
<i>Fraxinus excelsior</i> . . . . .	39	39	35	100	90
<i>Prunus avium</i> . . . . .	114	98	84	86	74
<i>Populus alba</i> . . . . .	115	36	28	31	24
<i>Populus 'Boelare'</i> . . . . .	111	105	93	95	84
<b>50 % d'addition de sable</b>					
<i>Quercus robur</i> . . . . .	37	37	29	100	78
<i>Acer pseudoplatanus</i> . . .	72	67	65	93	90
<i>Alnus glutinosa</i> . . . . .	65	53	55	82	85
<i>Populus 'Ghoy'</i> . . . . .	80	33	36	41	45
<i>Fraxinus excelsior</i> . . . . .	42	42	38	100	90
<i>Prunus avium</i> . . . . .	75	70	75	93	100
<i>Populus alba</i> . . . . .	72	30	37	42	51
<i>Populus 'Boelare'</i> . . . . .	79	78	79	99	100

## RÉSULTATS ET COMMENTAIRES

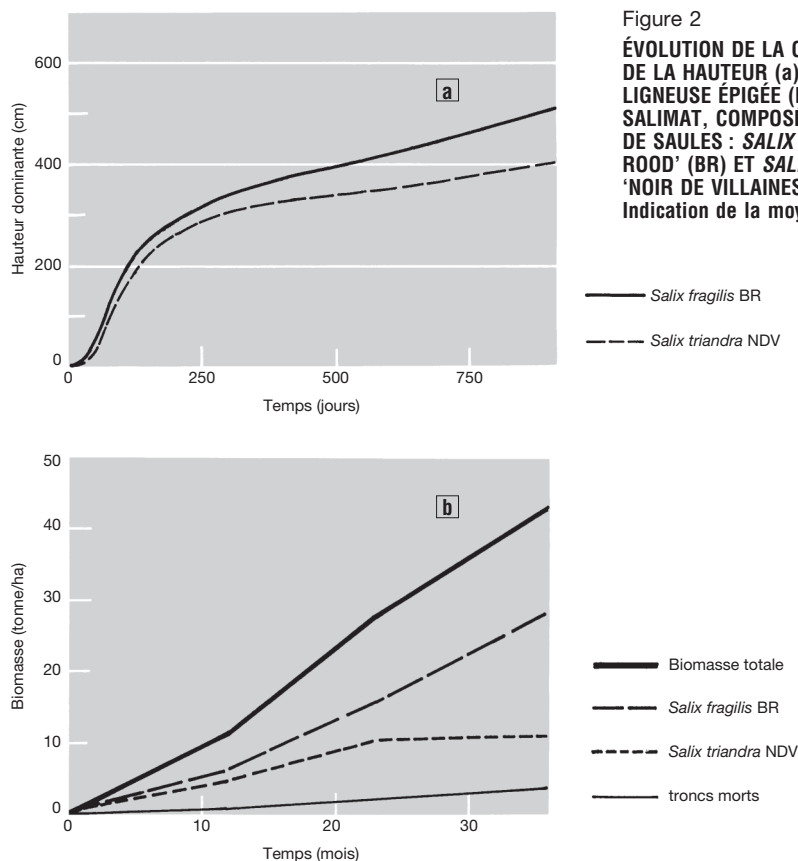
### Expérimentations de boisement

- Planter des boues draguées avec des espèces pilotes

À Menin, on a étudié principalement des espèces pilotes, tant Aune que Saule et que Peuplier.

En se basant sur les expérimentations avec des saules, B. De Vos (Laboratoire de sylviculture, RUG, en collaboration avec Jan De Nul NV) a réussi à développer une écotechnique spéciale, appelée SALIMAT, qui permet de boiser un dépôt de vase tout de suite après colmatage. À ce moment-là, le dépôt est une masse de vase boueuse, avec une très grande humidité, ce qui rend le terrain inaccessible. À l'aide de la technique de reproduction végétale employée, une saulaie très dense a été installée sur ce substrat.

En reliant de longs osiers (boutures d'un an) par de la ficelle, on en fabrique des tapis. Ceux-ci sont déroulés tout le long du dépôt, les osiers s'enfoncent un peu dans le limon sous leur propre poids. Dans ces conditions humides, ils forment presque toujours des racines adventives. À Menin, la technique SALIMAT a été testée fructueusement sur des boues draguées, mais elle convient également pour planter d'autres substrats humides et inaccessibles (boues qui subsistent après un processus d'épuration des eaux naturelles : recherches en Grande-Bretagne ; boues de curage : recherches à



Eksaarde ; boues d'égout). On étudie en ce moment les possibilités de peupler les accotements le long des autoroutes aux alentours de Paris à l'aide de la technique SALIMAT. Dans le cadre de l'épuration biologique des eaux naturelles, des perspectives s'ouvrent également. En 1994, la "Sveriges Lantbruksuniversitet" (Uppsala, Suède) s'est concentrée sur la recherche d'une forme d'épuration d'eau, au cours de laquelle la technique SALIMAT a permis de constituer des bassins d'épuration et de consolider les dépôts des boues subsistant après l'épuration des eaux.

Dépendant de la densité avec laquelle les osiers ont été plantés (la distance entre les osiers dans un tapis), de grandes différences dans le développement de la biomasse sont constatées. De toute façon, il est possible de parler d'une véritable explosion de la biomasse. La figure 2 (p. 120) représente la croissance de la hauteur et l'évolution de la biomasse ligneuse épigée (De Vos, 1996). Cette dernière a été mesurée en sciant en hiver, dans une zone circulaire à rayon de un mètre, tous les petits arbres et en les pesant par espèce. En moyenne, 15 tonnes de matière sèche de biomasse ligneuse ont été produites par hectare et par an. Il est remarquable qu'après trois ans la part de bois mort soit toujours minimale (9 %), malgré la diminution rapide du nombre d'arbres (mort naturelle).

Sur le graphique qui représente la croissance de la hauteur (p. 120), on peut très facilement distinguer deux sortes de saules, un clone d'un Saule amandier (*Salix triandra*) et un clone de Saule fragile (*Salix fragilis*) ; le Saule amandier en tant qu'espèce buissonnante reste plus petit que le Saule fragile, arbo-

Figure 3 **HAUTEUR DE 6 ESPÈCES D'ARBRES À BEVEREN**

Les hauteurs sont réparties, par année et par espèce, en quatre fractions englobant le même effectif. La ligne horizontale centrale est la médiane. Les deux autres lignes horizontales (quartiles supérieur et inférieur) englobent 50 % de l'effectif total. De part et d'autre de ces quartiles, se retrouve 25 % de l'effectif. Les valeurs extrêmes situées à plus de 1,5 interquartile par rapport aux quartiles supérieur ou inférieur sont marquées d'un O, celles situées à plus de 3 interquartiles d'un astérisque

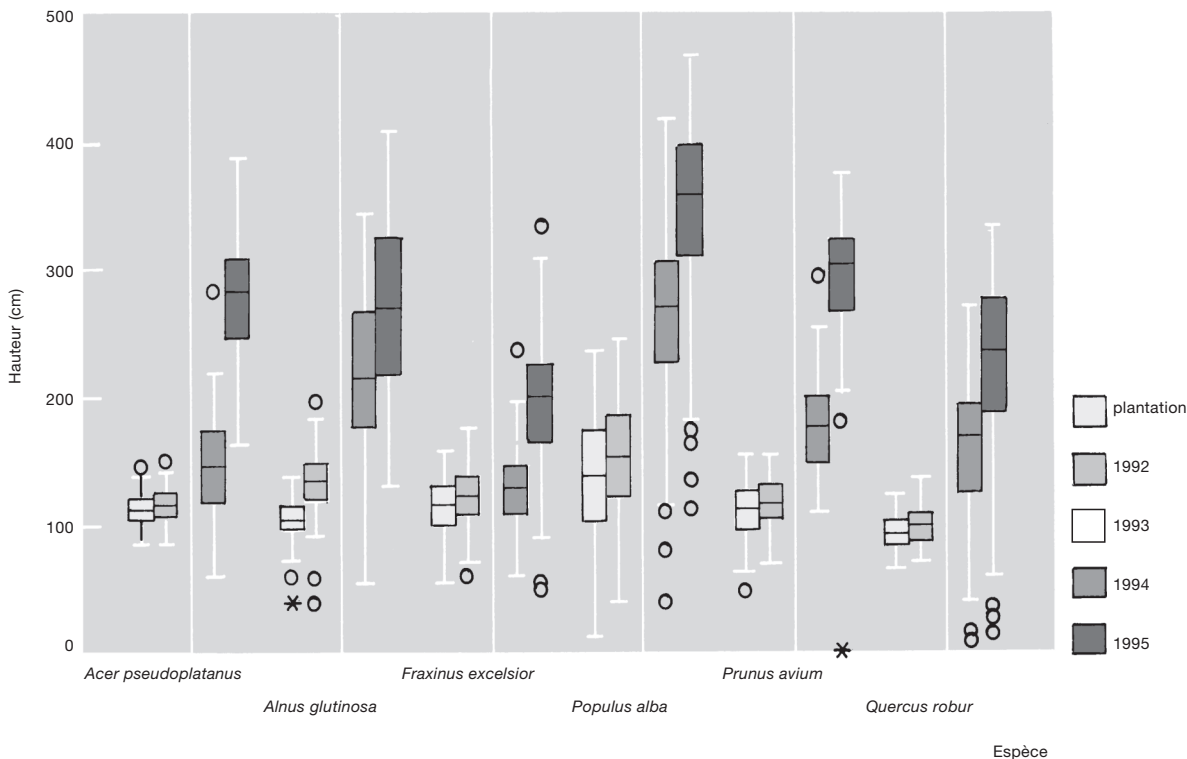
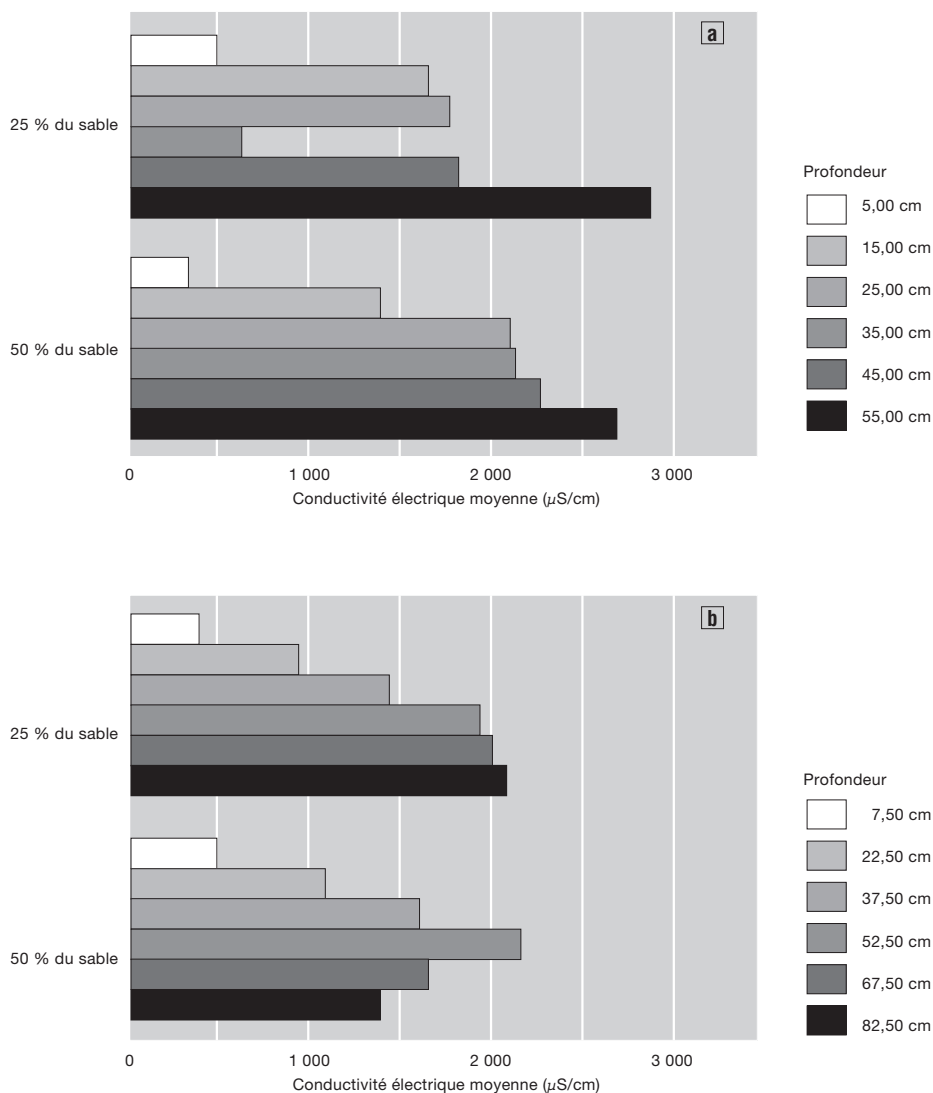




Figure 4  
**PROFIL DE LA CONDUCTIVITÉ ÉLECTRIQUE 734 JOURS (a, PRISE EN 1993)  
 ET 1 460 JOURS (b, PRISE EN 1995) APRÈS AMÉNAGEMENT DES COLLINES PILOTES À BEVEREN**



rescent. Notons la croissance rapide de la hauteur pendant la première période de végétation, durant laquelle on a mesuré des vitesses de croissance jusqu'à 3 cm par jour. Cinq mois après la mise en place des tapis, les osiers avaient atteint une hauteur de deux mètres et 10 tonnes de matière sèche de biomasse ligneuse avaient été produites à l'hectare.

Le Peuplier se développe également bien sur ces dépôts de boues draguées, riches en éléments chimiques. Contrairement au Saule, cette espèce peut souffrir au cours des premières années d'un

niveau des eaux élevé pendant longtemps. Ceci est la raison pour laquelle de nombreux peupliers ont dépéri et pourquoi le procédé consistant à jeter des racines dans le limon s'est avéré peu fructueux.

En 1995 a été lancée une expérimentation de semilles d'aunes, au cours de laquelle huit densités de semis différentes ont été appliquées. La première évaluation a été faite au mois de mai 1996 et démontre que le succès de l'ensemencement est pour la plus grande partie fonction de la concurrence herbacée et les rongements par lapins. Malgré cette forte concurrence, un grand nombre de semis sont encore en vie après une saison de croissance.

### • *Expérimentations de boisements sur vase d'eau saumâtre*

Les inventaires exhaustifs successifs et les courbes de croissance qui en dérivent (courbes se rapportant aux arbres plantés sur les collines de recherche à Beveren) confirment que les terrains de limon sont des terrains très riches qui permettent une croissance rapide. La figure 3 (p. 121) représente la croissance de la hauteur ; il est remarquable qu'en une période de quatre ans, l'Érable, l'Aune et le Peuplier blanc aient atteint des hauteurs de 3, même 4 mètres. Les chiffres de survie s'avèrent liés à l'addition de sable. Les parcelles, où l'on a ajouté du sable en le mélangeant au niveau de 50 %, présentent un taux de survie en moyenne de 11 % plus élevé que celles où 25 % de sable seulement ont été additionnés. Afin d'obtenir une bonne texture de glaise sablonneuse, une addition de 40 % s'avère finalement optimale.

L'importance de cette addition de sable est précisée par les analyses successives de la conductivité de la solution du terrain (conductivité électrique 1/5) en tant que mesure de salinité. Influencée par les précipitations atmosphériques filtrantes, la conductivité a baissé de 4 000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  maximum à moins de 2 000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . En fonction des quantités de sable ajoutées se développe un autre profil de conductivité. La figure 4 (p. 122) représente les deux profils type, résultant de moyennes effectuées sur 192 observations.

Les espèces réagissent de manière très différente aux hautes concentrations de sel. Un Chêne pédonculé ne convient pas à la plantation sur un dépôt de vase d'eau saumâtre. En outre, on a constaté que ces dernières années, les petits arbres affaiblis souffrent beaucoup d'attaques de mildiou. Ceci correspond aux résultats obtenus par Peeters (1995). Des frênes plantés sur un terrain de vase d'eau douce se portent très bien, et sont d'ailleurs considérés comme l'espèce la plus apte (De Vos, 1995b), mais cette espèce est désavantagée en cas de très haute salinité : les boutures d'un an meurent à chaque reprise, et la pousse latérale doit reprendre la fonction du bourgeon terminal ; les arbres, pourtant, ne meurent pas et les résultats de croissance de la dernière année indiquent que ce problème est résolu quand la salinité a baissé. Le Merisier présente un modèle similaire ; pour cette espèce, cependant, une haute mortalité a été notée (50 % sur les parcelles avec 50 % de sable, 75 % sur des parcelles avec 25 % de sable).

Sur la base de la vitalité et de la croissance, la conclusion suivante s'impose : le Peuplier blanc, l'Aune et l'Érable (à un degré moindre) sont les espèces qui conviennent le mieux pour boiser des terrains de vase d'eau saumâtre.

## Pollution par les métaux lourds

### • *Importance du choix des espèces d'arbre*

Il ressort des fréquentes analyses des échantillons de feuilles que l'absorption de métaux lourds varie fortement d'une **espèce** à l'autre et même entre les divers **clones** d'une même espèce.

Les différences entre espèces sont bien illustrées par les résultats de l'expérimentation en conteneur réalisée entre 1992 et 1995 (De Vos, 1995a). Cinq espèces d'arbre ont été plantées dans six substrats différents, composés de boues draguées de Beveren, mélangées à du sable, de la tourbe

ou de la vase obtenue après épuration d'eaux naturelles. Ces espèces sont le Chêne pédonculé, l'Aune glutineux, le Merisier, le Frêne et le Peuplier. En ce qui concerne l'absorption des éléments Pb <sup>(1)</sup>, Ni et Cr, aucune différence significative entre les espèces n'a été constatée. Ceci correspond aux résultats obtenus sur le terrain. Le Peuplier accumule beaucoup de Zn et de Cd. Le classement relatif des différents éléments est illustré par le tableau III (ci-dessous), tel qu'il a été rédigé à la fin de l'expérimentation en conteneur.

Tableau III **Classement relatif des groupes d'espèces différant de façon significative selon leur absorption de métaux lourds par les feuilles. Expérimentation en conteneur avec limon d'eau saumâtre 1992-1995**

Élément	Ordre relatif
Zn . . . . .	Peuplier >> Aulne, Merisier, Frêne
Cd . . . . .	Peuplier >> Chêne, Aulne, Frêne, Merisier
B . . . . .	Chêne, Peuplier > Aulne > Merisier > Frêne
Mn . . . . .	Chêne >> Aulne > Peuplier, Merisier, Frêne
Fe . . . . .	Frêne, Merisier, Aulne > Chêne > Peuplier
Al . . . . .	Aulne, Chêne > Merisier, Frêne > Peuplier
Cu . . . . .	Chêne, Merisier, Frêne, Aulne > Peuplier

Se basant sur la constatation que des différences significatives en degré d'absorption de métaux lourds peuvent exister entre des clones d'une même espèce, une grande expérimentation a été lancée en 1995. 115 clones différents de saules, que l'on pouvait éventuellement utiliser plus tard dans les recherches SALIMAT, ont été comparés entre eux. La première évaluation de cette expérimentation a eu lieu à la fin de la saison végétative (Huvenne et Lust, 1996). Actuellement, il est déjà clair que de grandes différences se manifestent au sein de ce groupe de clones *Salix* : des teneurs en Zn de 250 µg/g jusqu'à 1 400 µg/g ont été mesurées.

• *Corrélations avec des paramètres du sol physico-chimiques*

L'absorption de métaux lourds par l'écosystème n'est pas uniquement déterminée par l'espèce d'arbre, mais également par les paramètres du sol. La corrélation entre la perte pondérale lors d'une incinération à 550 °C et la concentration de cadmium est de 0,91 %. Vandecasteele (1996) confirme l'importance des paramètres du sol dans sa recherche de pollution organique sur les mêmes dépôts. Les teneurs en hydrocarbures sont fortement corrélées aux particules d'argile et à la teneur en carbone.

• *Absorption par les différents compartiments de l'écosystème*

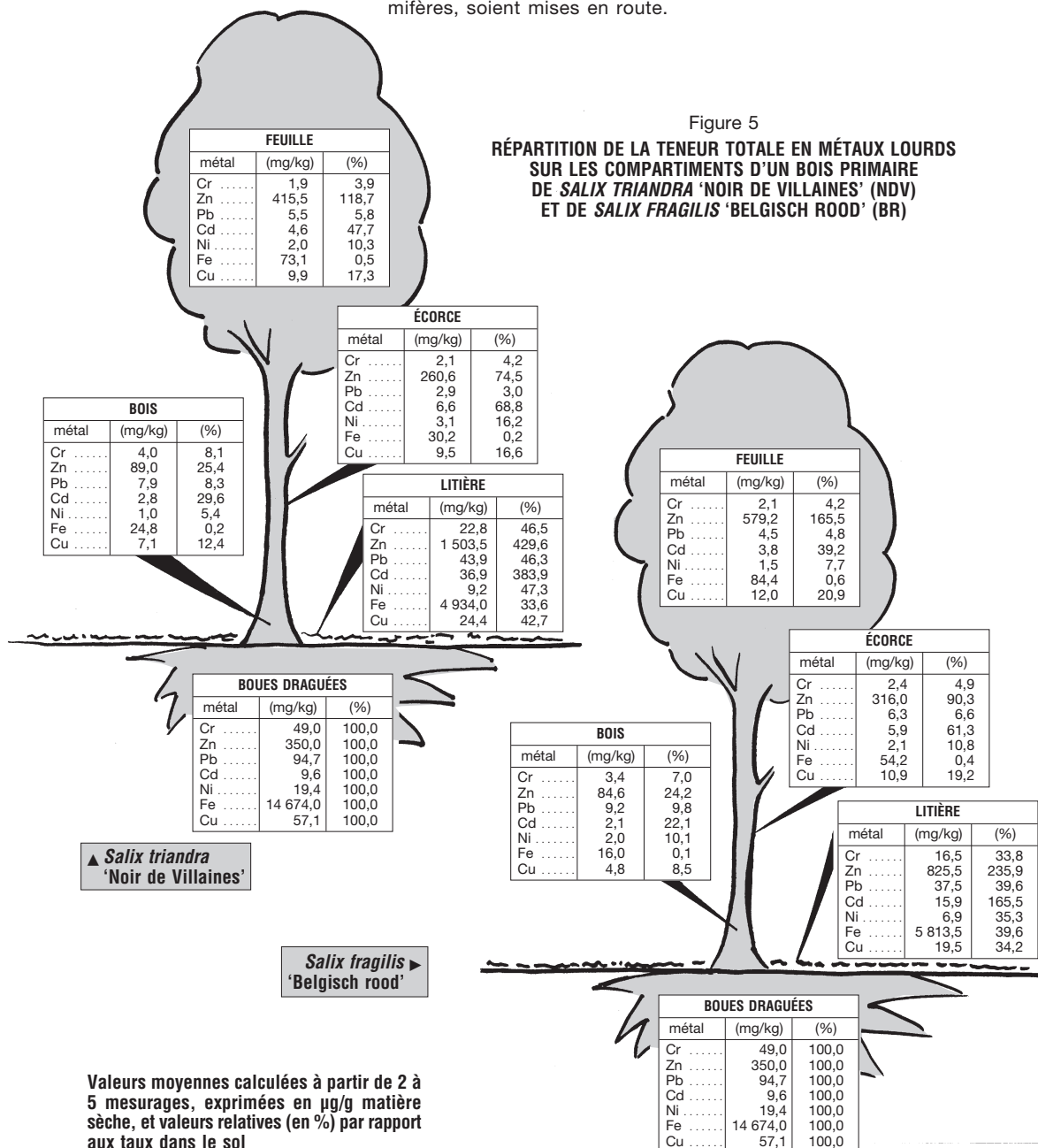
En 1993, l'absorption de métaux lourds par les différentes parties des arbres a été examinée. Ces chiffres ont été complétés en 1995 par des teneurs dans la vase et la litière de feuilles. Au total, on a pu analyser cinq compartiments pour deux clones de Saule : boisé, vase, litière de feuilles, écorce et feuilles. Dans chaque compartiment, la teneur totale moyenne a été quantifiée en mg/kg de matière sèche (De Vos, 1995).

Il ressort que les concentrations dans le bois sont minimales (figure 5, p. 125). Jusqu'à présent, l'utilisation du bois de ces arbres ne pose donc pas de problèmes. La concentration dans les feuilles et l'écorce est également beaucoup moins élevée que celle dans le matériel de départ, le limon. Seul l'élément zinc est accumulé modérément dans les feuilles du Saule fragile. Cependant, les éléments

(1) Pb = plomb ; Cr = chrome ; Ni = nickel ; Cd = cadmium ; Zn = zinc ; Cu = cuivre.

éventuellement toxiques, zinc et cadmium, sont bel et bien accumulés dans la litière. Pour le clone en question, la concentration est quatre fois plus élevée que celle initialement dans le sol. Il est donc clair que l'espèce d'arbre et le sol déterminent non seulement la grandeur des concentrations, mais également le compartiment de l'écosystème dans lequel elles ont été mesurées. Les résultats de cette recherche par compartiment ont mené à ce que des expérimentations, étudiant la production de litière et la concentration de métaux lourds dans de petits mammifères, soient mises en route.

Figure 5  
**RÉPARTITION DE LA TENEUR TOTALE EN MÉTAUX LOURDS  
 SUR LES COMPARTIMENTS D'UN BOIS PRIMAIRE  
 DE *SALIX TRIANDRA* 'NOIR DE VILLAINES' (NDV)  
 ET DE *SALIX FRAGILIS* 'BELGISCH ROOD' (BR)**



### Évolutions à long terme

Puisque le projet a été lancé il y a quatre ans seulement, il est impossible jusqu'à présent de se prononcer sur les résultats à long terme, bien que bon nombre d'auteurs en accentuent l'importance (Ross, 1994). Il existe pourtant déjà quelques indications qui montrent certaines évolutions. Comme toute autre information dans ce contexte, elles sont fortement liées aux éléments et aux espèces.

À Beveren, on a constaté que la teneur en cuivre dans les feuilles de presque toutes les espèces d'arbre a augmenté pendant les trois dernières années (figure 6, ci-dessous). Pour certaines espèces, cette teneur a plus que doublé. Bien que les concentrations ne soient pas alarmantes, il est recommandable de suivre cette évolution. Sur le même site, de nettes différences entre les espèces ont été constatées pour l'élément zinc. En ce qui concerne les peupliers, dont on avait déjà constaté qu'ils absorbent beaucoup de zinc (De Vos, 1994b et 1995a), les graphiques montrent une croissance rapide de la teneur en zinc dans les feuilles, tandis que celle-ci semble s'être stabilisée chez les autres espèces. Il est remarquable que des données du terrain concernant les évolutions dans le temps ne correspondent pas très bien aux résultats de l'expérimentation en conteneur mentionnée ci-dessus (De Vos, 1995a). Ceci attire l'attention sur le fait que les résultats obtenus par des expérimentations en pots, avec de petits volumes de limon, ne peuvent pas être repris tels quels pour traduire la situation sur le terrain.

Figure 6

#### LA CONCENTRATION EN CUIVRE DANS LES FEUILLES DE DIFFÉRENTES ESPÈCES D'ARBRE SUR DIFFÉRENTES PARCELLES PILOTES À BEVEREN (RIVE GAUCHE DE L'ESCAUT)



### Suivi biologique

Des analyses ont démontré que d'importantes différences existent entre les teneurs totales dans le sol et dans les fractions biodisponibles. Cette donnée était déjà connue auparavant (Bernhard *et al.*, 1986 in Tack, 1996) et a mené, entre autres, au développement d'essais chimiques en laboratoire ("extractions successives"), afin de pouvoir déterminer toutes les formes sous lesquelles sont liés les métaux lourds.

La quantité de métaux lourds absorbée par les plantes, dès lors dispersée dans l'écosystème en tant que fraction biodisponible, peut également être suivie par de simples analyses des feuilles. À mesure que les résultats d'analyses de divers boisements seront disponibles, il sera possible de formuler des interprétations plus précises en vue de diminuer la pression sur l'écosystème. De cette façon, un véritable suivi biologique pourra contrôler la présence de métaux lourds dans les boues draguées.

**CONCLUSIONS**

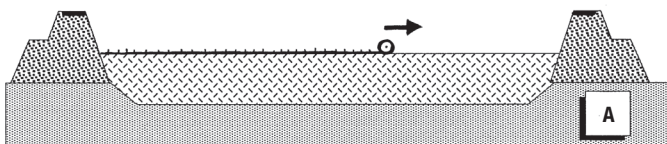
Le boisement de terrains de boues draguées, de plus en plus nécessaire, constitue un objectif rapidement réalisable, valable et bon marché, qui, à l'aide de techniques adaptées, pourra véritablement revaloriser les dépôts de vase. À cause de la haute valeur nutritive de bon nombre de décharges, des types forestiers rares se développent en Flandre, avec des résultats de croissance remarquables. De cette façon, on répond aussi partiellement à la nécessité d'extension forestière en Région flamande, pauvre en forêts.

Les techniques de boisement nouvellement développées ont mené à la révision des concepts d'aménagement de dépôts qui peuvent remédier au manque de place que connaît la Flandre. Le développement de la technique SALIMAT a conduit au concept de construction en étages successifs (figure 7, ci-dessous). Le principe est d'utiliser plusieurs fois le même dépôt de boues draguées : le boisement, en tant qu'emploi ultérieur du sol, est déjà mis en place après la première phase de

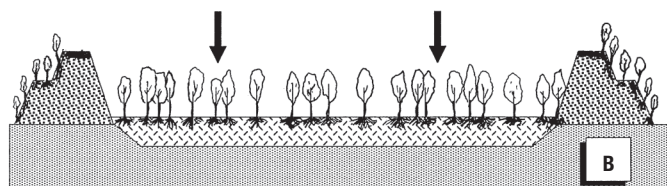
Figure 7

**SCHÉMATISATION DU MODÈLE DE CONSTRUCTION PAR ÉTAGES EN QUATRE PHASES**

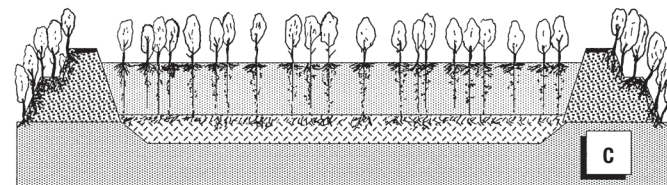
**A = Traitement d'une première couche de boues draguées**



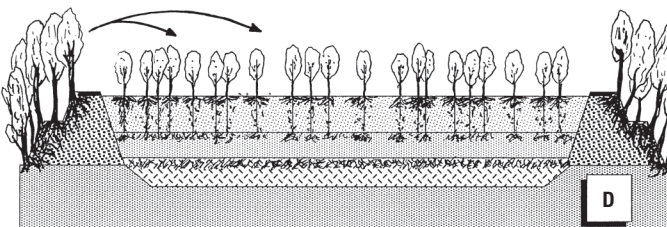
**B = Plantation des accotements droits et gauches ; la première couche de boues draguées s'est tassée (réduction d'épaisseur)**



**C = Colmatage d'une nouvelle couche**



**D = Fin du colmatage, ensemencement à partir du boisé de l'accotement et développement d'un écosystème forestier**

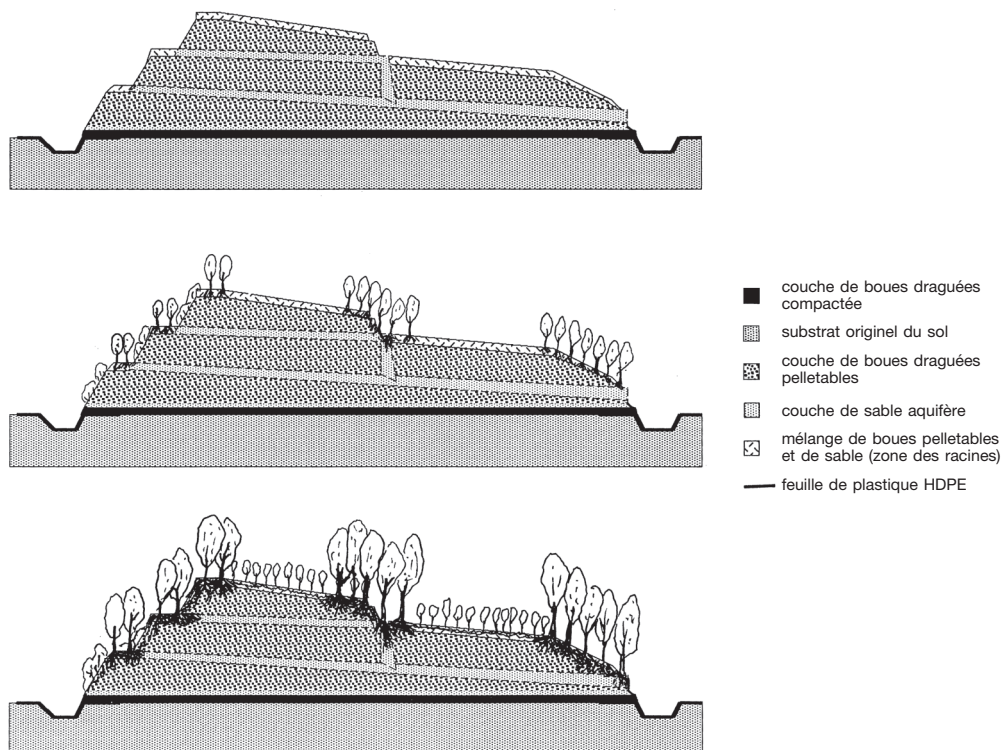


déversement, et aide à renforcer la décharge lors des phases de colmatage. En quatre à six ans, les Salimats peuvent atteindre le stade du perchis, après quoi le dépôt est de nouveau colmaté. Les racines les plus profondes des saules meurent alors, mais, à partir des petits troncs existants, se forment de nouvelles racines adventives, qui renforcent le terrain en le parcourant. La croissance reprend et, après quelques années, on peut éventuellement déverser une deuxième fois des boues. Ce principe s'accommode bien du caractère périodique des dragages d'entretien en Flandre.

Un autre concept est basé sur l'utilisation de vase drainée peltable pour aménager des collines dans le paysage (figure 8, ci-dessous). Une telle colline boisée peut former une zone tampon entre des régions spatialement non compatibles, comme des zones industrielles et agricoles. L'application de ce concept pourrait être une solution au problème de vase dans les zones portuaires. Aussi, les expérimentations sur de petites collines constituent-elles des projets pilotes pour de plus amples applications.

Le suivi des courants de polluants dans l'écosystème a démontré que, lors de la plantation des bonnes espèces et de l'application des bonnes techniques de développement forestier, l'accumulation des métaux lourds dans les composants les plus importants de l'écosystème est minimale.

Figure 8  
**CONCEPT D'AMÉNAGEMENT ET DE PLANTATION D'UNE COLLINE COMPOSÉE  
 DE LIMON D'EAU SAUMÂTRE PELLETABLE**



## Biologie et forêt

Cependant, des questions restent posées concernant les évolutions à long terme, l'exploitation des forêts à suivre, les types de forêts à aménager et les courants de polluants dans les différentes parties de l'écosystème. Dans tous ces domaines, une extension et une continuation des recherches actuelles sont indispensables.

La conclusion la plus importante est cependant que, parallèlement à ces recherches, il faudra remédier à la cause du problème : la pollution des eaux de surface. Il est primordial de multiplier les efforts afin d'épurer les eaux naturelles (et donc le limon) et de stabiliser la pollution existante avant qu'elle ne s'amplifie.

P. HUVENNE      N. LUST  
Ir.                    Prof. Dr. ir.  
Laboratoire de Sylviculture  
UNIVERSITÉ DE GAND  
Geraardsbergsesteenweg, 267  
B-9090 MELLE (BELGIQUE)

L. SPELEERS  
Ir., Administrateur délégué  
ENVIRONMENTAL RESEARCH CENTRE  
Hekkestraat 51  
B-9308 HOFSTADE (BELGIQUE)

B. De VOS  
ir., Assistant scientifique  
Institut de Sylviculture  
et de Gestion de Faune sauvage  
MINISTÈRE DE LA COMMUNAUTÉ FLAMANDE  
Gaverstraat 4  
B-9500 GERAARDSBERGEN (BELGIQUE)

## BIBLIOGRAPHIE

- DEMOEN (J.). — Naar een nieuwe aanpak van de berging van onderhoudsbaggerspecie van de bevaarbare waterlopen. — *Water*, n° 47, 1989, pp. 117-120.
- DE VOS (B.). — De aanpak van primaire natuurtechnische milieupbouw op baggerslibgronden. — *Groene band*, n° 93, 1994a, 39 p.
- DE VOS (B.). — Rapport Leie/Menen juli 1994, addendum bij rapport juni 1993. — Gent : Laboratorium voor Bosbouw ; Ondernemingen Jan De Nul, 1994b. — 70 p.
- DE VOS (B.). — De concentratie van zware metalen in het blad van eik, es, els, kers en populier gegroeid op zes mengsubstraten van brak baggerslib, containerproef 1992-1995. — Gent : Laboratorium voor Bosbouw ; Ondernemingen Jan De Nul, 1995a. — 58 p.
- DE VOS (B.). — Rapport Leie/Menen juli 1995, addendum bij rapport juni 1993, addendum bij rapport juli 1994. — Gent : Laboratorium voor Bosbouw ; Ondernemingen Jan De Nul, 1995b. — 72 p.
- DE VOS (B.). — SALIMAT : nieuwe bebossingstechniek voor natte slibs substraten. — *Silva Belgica*, vol. 103, n° 4, 1996, pp. 19-25.
- HUVENNE (P.), DE VOS (B.), LUST (N.). — Boomgroei en bebossing op geconsolideerd brakwaterslib. Proefproject op de linkerscheldeoever te Beveren. Eindrapport 1992-1995. — Gent : Laboratorium voor Bosbouw ; Ondernemingen Jan De Nul, 1996. — 123 p.
- HUVENNE (P.), LUST (N.). — Rapport Leie/Menen juli 1996, addendum bij rapport juni 1993, addendum bij rapport juli 1994, addendum bij rapport juli 1995. — Gent : Laboratorium voor Bosbouw ; Ondernemingen Jan De Nul, 1996. — 84 p.
- IAPH. — A survey of world practices in the ocean disposal of dredged material as related to the London Dumping Convention. Report of the Ad Hoc Dredging Committee. Port Authority of New York and New Jersey. — New York : Amer. Soc. Civil Engineers, 1981. [*fn* : Tack (1996)].



**P. HUVENNE - N. LUST - L. SPELEERS - B. DE VOS**

- PEETERS (J.P.). — Ruim twintig jaar beplantingsproef Broekpolder. — Wageningen : Instituut voor Bos - en Natuuronderzoek (IBN - DLO), 1994. — 155 p. (IBN - rapport 107).
- PEETERS (J.P.). — De Ontwikkeling van verschillende boomsoorten op opgespoten havenslib in de Johannapolder nabij Poortugaal (proefveld 15, onderzoek in de periode 1970 t/m 1989). — Wageningen : Instituut voor Bos - en Natuuronderzoek (IBN - DL), 1995. — 49 p. (IBN - rapport 124).
- ROSS (S.M.) Ed. — Toxic Metals in Soil - Plant Systems. — Chichester : John Wiley and Sons, 1994. — 469 p.
- TACK (F.). — Extraheerbaarheid en fractionatie van zware metalen in gecontamineerde sedimenten. Proefschrift voorgedragen tot het bekomen van de graad van doctor in de toegepaste biologische wetenschappen. — Gent : Universiteit Gent, 1996. — 163 - VII p.
- VANDECASTEELE (B.). — Effecten van *Lumbricus terrestris* en *Salix fragilis* op de verdeling van koolwaterstoffen in een baggerslibgrond. Scriptie. — Gent : Universiteit Gent - Faculteit Landbouwkundige en Toegepaste Biologische wetenschappen, 1996. — 73 p.
- VAN VLIET (L.H.H.). — Mogelijke gevolgen van anorganische en organische stoffen in baggerspeciedepots voor daar aanwezige of zich ontwikkelende bodem- en zoöfauna. — Arnhem : Rijksinstituut voor Natuurbeheer, 1985. — 152 p. (RIN - rapport).