Déshydratation des boues par lits de séchage plantés de roseaux

A. Lienard

▶ **To cite this version:**

A. Lienard. Déshydratation des boues par lits de séchage plantés de roseaux. Ingénieries eau-agriculture-territoires, 1999, 17, p. 33 - p. 45. hal-00462658

HAL Id: hal-00462658
https://hal.science/hal-00462658

Submitted on 10 Mar 2010

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.

Déshydratation des boues par lits de séchage plantés de roseaux*

Alain Liénard

En partenariat avec la SAUR, le Cemagref de Lyon a conduit, entre 1989 et 1992, une étude expérimentale sur l'intérêt d'utiliser des lits de séchage plantés de roseaux pour la déshydratation des boues biologiques issues des stations à boues activées en aération prolongée (voir encadré 1).

Trois lits expérimentaux, dotés de parois en béton, ayant une surface unitaire de 20 m², ont été construits sur le site de la station d'épuration de Bourg-Argental dans le département de la Loire. Les lits 1 et 2 étaient plantés de roseaux, le lit 3 pouvait être considéré comme un témoin non planté, bien qu'une flore spontanée s'y soit développée et qu'elle n'ait pas été ôtée.

Suite à cette expérimentation dont les résultats ont été jugés « assez intéressants » pour développer un système opérationnel, la SAUR a commercialisé le dispositif sous le nom de « Rhizophyte® » (Baptiste *et al.*, 1996, 1997).

La liste des installations construites en France entre 1991 et 1998 est présentée en annexe. On note qu'à l'exception de la station mise en place à Segré pour un industriel, les Rhizophytes® sont installés sur des stations d'épuration de collectivités inférieures à 3000 EH. Cette observation est conforme aux perspectives fondées lors de l'étude du procédé.

À cette série s'ajoute vraisemblablement moins d'une dizaine de sites équipés de lits de séchage de boues plantés de roseaux réalisés par d'autres constructeurs pour lesquels nous ne disposons pas encore d'informations.

À l'issue de l'étude réalisée à Bourg-Argental (Liénard *et al.*, 1990, 1995), le Cemagref n'a plus conduit de travaux dans ce domaine mais sa participation au groupe spécialisé de l'IAWQ (International Association for Water Quality) concernant « l'utilisation des végétaux aquatiques pour la maîtrise de la pollution » lui permet de rester en veille technologique et de communiquer avec des scientifiques étrangers toujours impliqués sur ce sujet. C'est notamment le cas au Danemark, où des contacts sont établis de longue date avec l'organisation danoise, semi-publique, Hedeselskabet (Nielsen, 1990, 1993, 1994).

Après une visite au Danemark en septembre 1997, cet article se propose donc d'apporter un éclairage actualisé sur l'utilisation de cette technique. Afin de ne pas alourdir l'exposé, on présentera uniquement les aspects les plus opérationnels issus des résultats expérimentaux obtenus par le Cemagref à Bourg-Argental sur les lits plantés puis, ils seront relativisés et critiqués au regard des informations collectées au Danemark au cours d'une période de recherche - développement, conduite par Hedeselskabet, de façon ininterrompue depuis 1988.

Mécanismes en jeu

Le roseau (*Phragmites australis*) est un des végétaux aquatiques les plus répandus, dans des milieux très divers, à la surface du globe. Il est doté d'un système racinaire très puissant en expansion constante même en hiver, constitué notamment de rhizomes (tiges souterraines) à partir des nœuds desquels se développent de nouvelles tiges entre avril et octobre, sous notre climat.

Conjointement avec l'accumulation progressive de la boue, le développement dense des roseaux crée un important réseau de ressuyage de l'eau interstitielle le long des tiges (même si ces dernières sont flétries, dès lors qu'elles dépassent de la surface), rhizomes et racines. Cette eau traverse la couche drainante de gravier et constitue les percolats qui sont recyclés en tête de station. La

* Cet article a fait l'objet d'une publication, par le même auteur, dans le numéro 1/99 de la revue *Techniques, Sciences, Méthodes*.

Alain Liénard
Cemagref
3 bis, quai Chauveau
CP 220
69336 Lyon
Cedex 09

Encadré 1

Épuration et production de boues

La dégradation biologique de la pollution organique, particulaire et dissoute des eaux usées, résulte de l'action de micro-organismes dont on favorise la croissance et la reproduction mais qu'il convient d'extraire régulièrement de la filière de traitement pour que son fonctionnement soit optimal (Duchène, 1997).

Dans une station d'épuration à boues activées en aération prolongée, la production de boues ainsi engendrée s'ajoutant à la fraction minérale non dégradable présente dans les eaux usées brutes, est estimée à 0.8 kg de MES (Matière En Suspension) par kg de DBO_5 éliminée.

Ces boues en excès doivent être évacuées vers une destination respectueuse de l'environnement. Toutefois pour en faciliter la manipulation, il convient de les épaissir en éliminant une part aussi importante que possible d'eau interstitielle par des moyens technico-économiquement adaptés au type et à la taille de la station (voir encadré 3).

couche drainante doit être mise en contact avec l'atmosphère via des cheminées d'aération afin que l'oxygène de l'air diffuse dans les interstices de ce milieu granulaire, colonisé par les racines et une biomasse abondante, notamment nitrifiante (voir figure 1).

Des études (Armstrong *et al.*, 1990 ; Brix et Schierup, 1990, notamment) ont montré que les roseaux (comme la plupart des végétaux aquatiques se développant dans des sols saturés) excrètent de l'oxygène au niveau de leurs racines pour absorber leurs éléments nutritifs sous une forme oxydée. Néanmoins, dans un milieu fortement chargé en matière organique fermentescible, les roseaux ne sauraient, par eux-mêmes, maintenir une présence d'oxygène suffisante pour éviter le développement de conditions anaérobies. Celles-ci exerceraient alors une toxicité compromettant le développement des plantes et par voie de conséquence, la pérennité du processus de ressuyage.

Les phases de repos entre 2 périodes d'apport sont essentielles à la fiabilité du système à la fois pour que :

– la siccité de la boue augmente, par simple ressuyage en hiver, auquel s'ajoute l'évapotranspiration dès lors que la partie aérienne des plantes se développe ;

– l'accroissement de la hauteur du stock de boue soit aussi limité que possible ;

– l'oxygène puisse aussi pénétrer depuis la surface, dans la masse de boue, via des espaces libres qui se créent, notamment autour des tiges, quand le produit se rétracte ;

– la minéralisation soit exclusivement aérobie, garantissant un stockage du produit sans dommage pour l'environnement et les roseaux eux-mêmes.

Résultats obtenus de l'expérimentation de Bourg-Argental : des atouts certains ...

Apports de boues peu concentrées directement depuis le bassin d'aération

Dès lors que le ressuyage de l'eau interstitielle de la boue reste efficace, il est possible, et même souhaitable, de pratiquer l'extraction directement depuis le bassin d'aération. Cela évite notamment la pratique, fort contestable, de la mise à l'arrêt de la recirculation depuis le décanteur secondaire, avant extraction, qui impose une longue période d'anoxie à la boue activée, avec un risque de dénitrification dans le clarificateur et des remontées de boues qui s'ensuivraient. De plus, cette importante masse de boue piégée dans l'ouvrage accroît considérablement la probabilité de pertes en cas de forts débits.

Il est aisé de mettre en place dans le bassin d'aération, à un point suffisamment distant de l'arrivée des eaux usées et de la recirculation, une pompe spécialement dédiée à l'extraction. Son fonctionnement est commandé, à deux ou trois reprises dans la journée, en fin de période d'aération. C'est ainsi le plus sûr moyen de disposer d'un produit homogène et parfaitement représentatif du taux de boue dans la station et de surcroît « frais », dans lequel les sels dissous sont bien oxydés.

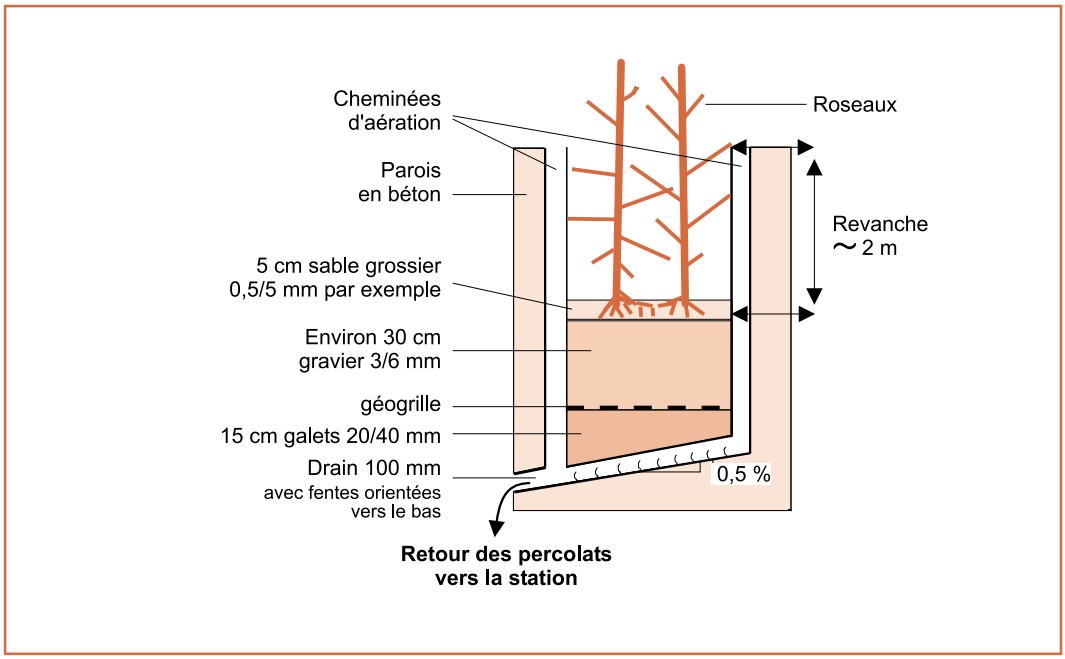


Figure 1. – Coupe schématique d'un lit de séchage planté de roseaux avec construction en béton.

Accessoirement, ceci constitue un moyen supplémentaire d'apporter de l'oxygène, sous forme de nitrates notamment, dans une importante masse de matière organique prompte à devenir anaérobie.

Moyennant un contrôle épisodique du taux de boue et le relevé des temps de fonctionnement réguliers, on peut disposer d'une estimation assez fiable des doses apportées (à condition toutefois de s'être au préalable affranchi de phénomènes de siphonnage naturel vers les lits hors des périodes de marche ou à l'inverse, de bouchage ou cavitation de la pompe lors de son fonctionnement).

À Bourg-Argental, la teneur en MES (voir encadré 2) des boues apportées entre 1990 et 1992 était en moyenne de 2.8 $g.l^{-1}$, avec des fluctuations comprises entre 1,1 et 5 $g.l^{-1}$. Parallèlement à ces concentrations de boue très faibles, on notait un fonctionnement de la station d'épuration caractérisé par une sous charge organique, couplée à une surcharge hydraulique et un développement de bactéries filamenteuses, mis en évidence dès l'origine de l'expérimentation (Indice de boue moyen - I_B d'environ 370 $ml.g^{-1}$, alors qu'il devrait être proche de 100 $ml.g^{-1}$ avec des boues normalement floculées). L'incidence de valeurs élevées de l'indice n'est pas connue, il est cependant vraisemblable qu'elles ne facilitent pas le ressuyage.

Les doses de boues apportées dans les lits étaient d'environ 75 g de $MES.m^{-2}.j^{-1}$ au cours de la 1ere année de plantation correspondant à la phase de reprise des jeunes plants de roseaux puis elles ont été portées à 110 - 130 g de $MES.m^{-2}.j^{-1}$ au cours des périodes d'essai suivantes sur les lits plantés. Sur le lit témoin non planté, il n'a guère été possible de dépasser 100 g de $MES.m^{-2}.j^{-1}$ en raison d'un moindre ressuyage des boues.

Des percolats de bonne qualité

Sur le plan de la matière organique (DCO, MES), comme le montre le tableau 1, les percolats sont peu chargés. Les eaux de retour d'autres systèmes de déshydratation mécanique (épaississeurs gravitaires, tables d'égouttage) présentent très souvent des concentrations en MES plus élevées pouvant varier entre 300 et 700 $mg.l^{-1}$.

En ce qui concerne l'azote, la figure 2 révèle des variations importantes des concentrations en sels dissous au cours d'une séquence d'alimentation s'étalant sur 24 heures (7 apports de 15 minutes

Encadré 2

Quelle différence fait-on entre MES et MS ?

Les MES (Matières En Suspension) caractérisent la fraction non dissoute ou particulaire d'un composé, séparée de l'eau interstitielle par filtration sur membrane de porosité définie ou par centrifugation pour les teneurs élevées telles les boues, avant séchage à 105 °C.

La MS (Matière Sèche) représente non seulement les MES mais comprend également la fraction dissoute de la matière organique et les sels minéraux dissous dans l'eau interstitielle. Elle s'obtient par séchage de l'ensemble de la prise d'essai représentative d'un composé sans séparation préalable du particulaire.

Appliquées à des boues concentrées, ces notions se confondent parfois car la fraction dissoute est souvent négligeable, l'influence des sels dissous s'y fait globalement moins sentir avec une teneur en eau plus faible et il est également plus simple de faire sécher une prise d'essai entière.

A Bourg-Argental, les boues alimentant les lits expérimentaux ont toujours été caractérisées par les MES, cependant la différence entre ces 2 paramètres était, là aussi peu marquée, en raison de la très faible minéralisation de l'eau usée alimentant la station (conductivité en moyenne de 250 µS.cm^{-1}) en raison d'importantes introductions d'eaux parasites dans le réseau, provenant de sols majoritairement cristallins.

espacés de 2,5 à 3 heures, représentant, au total, environ 20 m^3 de boue fraîche) et du ressuyage consécutif pendant environ 70 heures. On peut noter trois phases :

1. Au début de l'apport de boue fraîche, relargage de nitrates issus de l'oxydation des sels ammoniacaux retenus dans la couche drainante, pendant la phase de repos, et simultanément, augmentation rapide des sels ammoniacaux non transformés provenant de la minéralisation de la boue (l'azote apporté avec la boue fraîche, sous forme de flocs bactériens notamment, est en effet très majoritairement organique et particulaire à Bourg-Argenval. Les concentrations d'azote dissous étaient relativement faibles : 2 à 5 mg.l^{-1} N-NH_4^+ et 15 à 25 mg.l^{-1} de N-NO_3^-, à l'issue d'une période de fonctionnement de la turbine d'aération).

2. Au moment du ressuyage intense, à partir du 2^e apport, augmentation rapide et stabilisation des sels ammoniacaux issus de la minéralisation du stock de boue à une concentration relativement constante de 60 - 70 mg.l^{-1}, en dépit de variations de débits concomitantes aux apports et quasi disparition conjointe des nitrates.

3. Nitrification progressive de l'azote ammoniacal dans la couche drainante dès lors que son temps de passage est suffisant avec le ralentissement du ressuyage survenant peu de temps après l'arrêt des apports. Il a pu être établi qu'à la fin de la journée, 90 % de l'eau apportée est évacuée avec une hauteur de boue stockée dans le lit voisine de 75 cm.

En moyenne journalière, les retours en tête de percolats ne représentent pas plus de 10 % des charges d'azote traitées par la station et 5 à 6 % pour le phosphore. Ces flux sont bien souvent plus faibles que ceux résultant des filières de déshydratation, incluant les surverses d'épaississeur, de silo ou les eaux de retour des équipements mécaniques de déshydratation. La facilité avec laquelle peuvent être mises en œuvre des extractions quotidiennes constitue d'ailleurs un des atouts du procédé car la régularité des flux ne peut perturber les réglages de la station.

Tableau 1. — Concentrations en DCO et MES (en mg.l^{-1}) des percolats des 2 lits plantés d'octobre 1991 à décembre 1992.

	LIT 1		LIT 2	
	DCO	**MES**	**DCO**	**MES**
Moyenne	43,0	19,4	85,3	34,3
Écart type	22,2	19,7	33,0	15,6
Coeff. var.	0,52	1,01	0,39	0,45
Max.	102	82	174	84
Min.	20	6	30	14
Nbre. val.	26	16	39	29

Après passage dans la couche drainante bien aérée, les percolats ne sont pas septiques, ils sont donc moins susceptibles de déclencher ou activer un foisonnement de la boue dans la station (GIS Mousses, 1993 ; Cemagref, 1994).

... mais aussi quelques lacunes

Une incidence des temps de séchage insuffisamment mise en évidence ...

Après développement des roseaux (soit au plus tôt, au cours de l'année suivant celle de leur plantation), trois cycles d'alimentation ont réellement fait l'objet d'investigations prolongées sur de longues périodes :

1. **Une alimentation quotidienne** pendant 310 jours. Par extrapolation à partir des valeurs mesurées, le stock de boue s'accroît alors d'environ 1,9 m pour 100 kg de MES apportées.

À la dose moyenne de 140 g de MES.$m^{-2}.j^{-1}$ et compte tenu des faibles concentrations de la boue alimentant les lits, l'apport de boue équivaut à une hauteur d'eau de 45 mm par jour, la surface des lits est donc toujours couverte d'une couche de boue assez liquide. Celle-ci s'oppose à la diffusion de l'oxygène de la surface vers les couches plus profondes (en complément de celle pouvant diffuser via la couche drainante aérée) qui s'établit quand la boue sèche et se craquelle en surface.

2. **Un cycle de 14 jours** (1 à 2 jours d'alimentation comprenant 3 à 4 séquences d'alimentation chaque jour puis 12 à 13 jours de repos) testé pendant 460 jours à une dose moyenne de 107 g de MES.$m^{-2}.j^{-1}$. Rapportée à 100 kg de MES, l'élévation du niveau de boue correspondante n'est plus que de 0,8 m, soit un gain de plus de 55 % par rapport à une alimentation journalière. Un ressuyage plus important entre 2 apports explique vraisemblablement cette meilleure performance.

3. **Un cycle de 21 jours, augmenté ensuite à 28 jours** (alimentation sur 3 à 7 jours puis repos pendant 21 à 25 jours). Avec une dose moyenne peu différente de la précédente (125 g de MES. $m^{-2}.j^{-1}$), la déshydratation de la boue est encore améliorée et la boue ne s'élève plus que de 0,6 mètre.

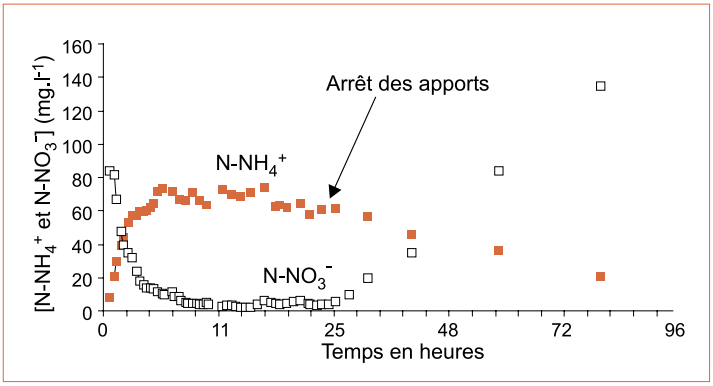


Figure 2. – Évolution des concentrations en sels ammoniacaux et nitrates dans les percolats du lit en mai 1992.

Au plan pratique, la mise en place d'un tel cycle suppose déjà de disposer de quatre lits alimentés en alternance et il n'a pas été possible, ni jugé utile, de continuer à expérimenter des périodes de repos plus longues.

... entraînant une siccité des boues vidangées relativement faible.

A l'issue de 2 vidanges réalisées respectivement, en juillet 1991 sur le lit 1 et en décembre 1992 sur l'ensemble des lits, à la fin de l'étude expérimentale, la teneur en matières sèches des boues stockées n'a guère excédé 11 % (voir encadré 3).

Ce taux de siccité relativement faible peut toutefois s'expliquer par une localisation des lits inadaptée mais imposée par le site (à l'ombre en décembre et janvier) et des conditions préalables peu favorables :

1. **Au cours de l'été 1991, sur le lit 1** : Cette vidange a suivi l'essai d'alimentation quotidienne relaté précédemment. En fin d'hiver, les nouvelles pousses ont peiné à émerger d'une couche de boues trop épaisse, ayant passé de 50 à 80 cm entre novembre et avril. En dépit d'un arrêt prolongé entre mi avril et début juillet, la déshydratation de la masse de boue n'a pu être assurée dans de bonnes conditions faute d'un développement suffisamment dense des roseaux.

2. **En décembre 1992** : La vidange a été opérée 3 jours après un apport de boue, dans des conditions météorologiques défavorables, la siccité moyenne relevée dans la partie centrale des lits était d'environ 10 % (compte tenu des effets de parois, des valeurs de 12, 5 % ont pu être observées sur les bords).

Expérience au Danemark

Un mode de construction des lits qui s'est profondément transformé avec le temps ...

Initiées en 1988, les recherches sur la déshydratation des boues par lits de séchage plantés de roseaux ont assez rapidement pris de l'ampleur et évolué dans un créneau d'utilisation orienté vers des stations d'épuration de grande taille. Les derniers contrats négociés en 1997 concernent notamment la construction, en 1998, de lits de séchage plantés de roseaux pour des stations d'environ 120 000 équivalents habitants qui traitent conjointement les eaux usées des agglomérations et une part variable de matières de vidange issues de l'assainissement non collectif environnant.

Les lits de séchage les plus anciens ont été construits en béton. À cause de son coût élevé, cette technique a été progressivement abandonnée et remplacée par une étanchéification par géomembrane. Dans un premier temps, cette dernière était apparente, puis il est rapidement apparu que les dégâts qu'elle risquait de subir, au moment de la vidange des lits, allaient entraîner des coûts de remise en ordre prohibitifs.

Dans les constructions récentes (1995 et 1996), après des essais sur une partie de l'installation de Rudkobing en 1992, composée de 8 lits, la mise en place de l'étanchéification a encore évolué.

Désormais, l'ensemble du site d'implantation des lits est décapé et la géomembrane est installée. Sont ensuite mises en place conjointement : la couche drainante composée de graviers de diverses granulométries et ses drains (espacés d'environ 2 mètres), connectés à des cheminées d'aération, ainsi que les canalisations d'amenée des boues fraîches (en général 4 par lits, débouchant en 4 points sous forme de canalisations métalliques à environ 2 mètres au-dessus de la couche drainante) et d'évacuation des percolats (voir figure 3).

Les digues en remblai, individualisant chaque lit, sont ensuite érigées en même temps que les cheminées d'aération du réseau de drainage qui débouchent sur la crête des deux digues se faisant face. Les digues opposées sont réservées à la cir-

Encadré 3

Aperçu des diverses techniques permettant d'accroître la teneur en matières sèches (ou siccité) des boues biologiques issues de l'épuration des eaux

L'épaississement gravitaire pendant une durée qui ne doit normalement pas excéder plus de 24 heures, est évidemment le procédé le plus simple mais il ne permet guère de dépasser une siccité de 3 à 5 %. On le réserve à l'épandage des boues dites liquides qui sont alors stockées dans un silo ou une lagune, pour une durée comprise entre 4 et 12 mois avant évacuation vers des terrains agricoles situés à proximité des stations d'épuration de petite taille auxquelles cette filière peut raisonnablement s'appliquer.

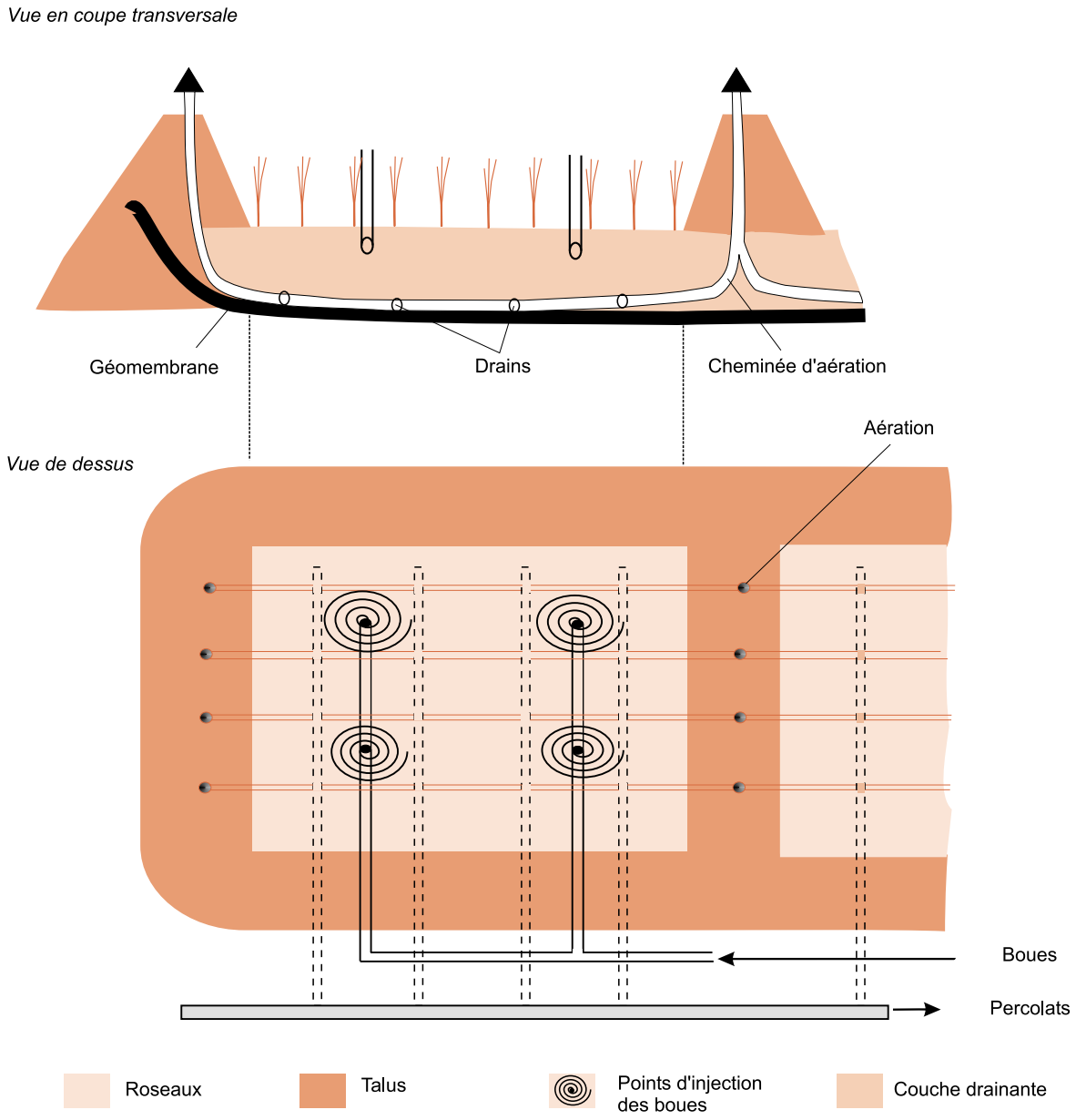
Une première sophistication consiste à adjoindre à l'épaississeur (voire à lui substituer) une table ou grille d'égouttage qui permet d'augmenter la siccité jusqu'à environ 8 %, réduisant en conséquence le volume de stockage et les coûts de transport pour l'évacuation.

Les techniques (centrifugeuses ou filtres à bandes) indispensables à l'obtention de boues pâteuses, caractérisées par une siccité de 15 à 25 %, sont actuellement peu adaptées à des stations de moins de 5000 EH, en raison de coûts d'investissement et d'exploitation trop élevés.

L'état de boues solides (plus de 30 % de matières sèches) ne peut être atteint qu'avec un filtre presse dans les grosses stations ou encore, paradoxalement, avec des lits de séchage sur les plus petites. Toutefois, cette dernière technique est pratiquement abandonnée en raison d'importantes contraintes d'exploitation occasionnées par le nécessaire enlèvement manuel des boues séchées préalablement à un apport de boues fraîches.

Les lits de séchage plantés de roseaux constituent un compromis aux plans techniques et économiques car ils allient déshydratation (jusqu'à environ 15 %), stockage prolongé (3 à 5 ans), contraintes d'exploitation simples et peu importantes pour un coût d'investissement (4 lits en béton) généralement considéré comme équivalent ou légèrement supérieur à celui de la filière liquide avec 6 à 8 mois de stockage.

Dans tous les cas, les surnageants, filtrats et percolats sont renvoyés en tête de station, ainsi que les eaux de lavage des équipements (toiles filtrantes, par exemple).



culation des engins, notamment ceux qui seront utilisés lors de la vidange. Les parois des digues, inclinées à environ 45°, sont engazonnées et protégées de l'érosion par un géotextile biodégradable.

Ce mode de construction s'adapte particulièrement bien aux contextes topographique et géologique du pays : le point culminant n'excède pas 180 mètres, le relief y est très légèrement vallonné, le sol en place est majoritairement constitué de sable et d'argile et sa manipulation par des engins de terrassement est de ce fait aisée.

Néanmoins sur l'ensemble du site, tout risque de pollution des sols sous-jacents est écarté et de surcroît la géomembrane ne sera jamais au contact des engins à chenilles qui seront employés pour la vidange des lits, même s'ils ont nécessairement à y pénétrer en raison de la taille unitaire de cha-

Figure 3. – Représentation schématique des lits de séchage nouvellement construits au Danemark.

cun d'eux (par exemple, 10 lits en forme de tronc de pyramide inversé d'environ 35 mètres de côté en crête, à Helsinge).

... en lien étroit avec l'évolution des cycles d'alimentation

Dès 1992, à Rudkobing, les cycles de ressuyage ont été allongés à 7 semaines, lorsque la quantité de boue stockée dans les lits est encore faible et que tout risque de carence hydrique des roseaux ne peut être écarté en saison estivale, notamment. Quand le stock de boue devient important, l'alimentation peut s'étaler sur 2 semaines à raison de plusieurs apports quotidiens par semaine et le ressuyage peut alors s'étendre sur 14 semaines. Le volume minimal de chaque apport est fixé pour obtenir une bonne répartition sur l'ensemble de la surface unitaire d'un lit.

Il a ainsi pu être montré que la siccité peut atteindre 30 % en été, grâce à l'action progressive de l'évapotranspiration, après une centaine de jours suivant la dernière alimentation. En hiver, il ne semble toutefois guère possible de dépasser des valeurs comprises entre 15 et 20 %.

Mode opératoire maintenant recommandé au Danemark

Globalement, le dimensionnement d'un site est calculé à partir d'un apport moyen nominal de 50 kg de $MS.m^{-2}.an^{-1}$ et comporte les phases suivantes :

1. **Une montée en charge initiale**, d'une durée de 24 à 30 mois respectivement, selon la date de plantation supposée optimale entre mai et octobre. Au cours de cette période, essentielle pour obtenir une plantation de roseaux robuste et dense, les apports de boue peuvent être minorés de moitié mais cependant surveillés pour éviter conjointement tout stress hydrique et maîtriser le développement de végétaux indésirables par des submersions temporaires.

2. **Une alimentation normale** pendant 4 à 8 ans, avec surcharge pendant la dernière année précédant une période de repos prolongée antérieure à la vidange (la surcharge est d'autant plus élevée que le nombre de lits est faible). Les doses maximales admissibles ne sont pas mentionnées mais il est vraisemblablement possible d'atteindre temporairement 250 g de MES par m^2 et par jour, soit approximativement un doublement de la charge nominale.

Il s'agit d'une phase essentielle au cours de laquelle il faut déterminer, dès le début, quels seront les lits vidangés en premier et ceux sur lesquels il faudra compter pour accepter le flux de boue excédentaire pendant la phase de reprise postérieure à la vidange.

3. **Une période de repos d'un an** au cours de laquelle la déshydratation est amplifiée par l'évapotranspiration des roseaux et des processus de minéralisation à l'intérieur du stock de boue.

4. **La vidange** à programmer entre mai et juillet de sorte que la repousse des roseaux puisse intervenir de façon conséquente avant l'hiver suivant.

5. **Une période de repousse** étalée sur 2 ans. La dose apportée la 2e année est cependant supposée plus importante (30 puis 40 kg de $MS.m^{-2}.an^{-1}$) que celle de la montée en charge initiale.

Actuellement, la durée de vie d'un site, sans remise en état conséquente, devrait s'étaler sur trois cycles tels que résumés précédemment, soit une trentaine d'années.

En guise de conclusion : un condensé de conseils opérationnels

La déshydratation des boues sur lits de séchage plantés de roseaux est encore un procédé jeune et non entièrement maîtrisé. Néanmoins, les connaissances acquises en France et au Danemark permettent d'en tracer les grandes lignes.

Le dimensionnement global de la surface utile de l'installation doit être calculé avec une charge nominale de 50 kg de $MS .m^{-2}.an^{-1}$, soit 140 g de $MES.m^{-2}.j^{-1}$, ce qui correspond approximativement à une production de boue équivalente à celle de 4 habitants pour une petite station à boue activée en aération prolongée. Comme tout système biologique, celui-ci est calculé au regard des conditions les plus limitantes qui coïncident bien sûr avec la saison hivernale.

Le dimensionnement d'un projet doit être basé sur la charge nominale de l'installation. Une sous charge temporaire peut être mise à profit pour faciliter la reprise des roseaux, sachant que les apports durant les 2 premières années suivant la plantation sont globalement divisés par deux.

Sur une installation existante à sa charge nominale, il convient donc de continuer à traiter une partie des boues avec la filière déjà en place.

En cas de variations de charges estivales, il peut être envisagé de dimensionner l'installation à 6 habitants par m^2 pendant la pointe, à condition que la charge en hiver n'excède pas 3 habitants par m^2.

Compte tenu des données mentionnées précédemment, le nombre strictement minimal de lits est égal à quatre. Toutefois, dans ces conditions il faut savoir que la siccité des boues stockées ne pourra vraisemblablement pas excéder 15 % et qu'une gestion à long terme du dispositif (vidange + repousse) ne peut être garantie lorsque la station reçoit sa charge nominale.

Huit lits et plus seraient bien entendu préférables pour alimenter l'installation avec plus de souplesse dans la gestion des périodes d'alimentation et de repos avant la vidange et la réalimentation à dose plus faible ensuite. Lorsque la réalisation est en béton, le coût d'investissement risque toutefois d'être prohibitif.

Par ailleurs, la faisabilité technico-économique du mode de construction danois tel que représenté par la figure 3, en déblai remblai, n'est pas prouvée dans le contexte français, de surcroît pour des stations de taille inférieure à 3000 - 5000 habitants qui semblent toujours être le créneau d'utilisation à privilégier en France.

Quel que soit le type de construction, la couche drainante doit être connectée à l'atmosphère par un réseau de cheminées d'aération suffisamment dense (espacement de 2 à 3 mètres), communiquant avec les drains, entaillés de fentes d'au moins 5 mm de largeur, orientées vers le bas, pour éviter toute stagnation d'eau résiduelle (voir figure 1).

La granulométrie des galets recouvrant les drains est indicative, on pourra la remplacer, selon les disponibilités locales par une granulométrie légèrement différente (15/30 ou 30/60 mm). Dans le même esprit, la couche supérieure peut très bien être du 4/8 mm, on évitera cependant de descendre en deçà de 2/5 mm. Dans tous les cas, il est important que ces matériaux soient propres et de préférence roulés. L'utilisation d'une géogrille, de maille adaptée à la granulométrie de la couche sus-jacente est optionnelle, c'est évidemment le moyen le moins consommateur d'espace pour réaliser la séparation de matériaux de granulométrie très différente et prévenir la migration des éléments les plus fins vers la couche drainante. Une couche de graviers intermédiaires d'une dizaine de centimètres peut lui être substituée, le cas échéant. La couche de sable grossier vise à mieux retenir la boue des premiers apports.

La hauteur totale des parois doit être calculée pour laisser une revanche initiale d'au moins 2 mètres au-dessus de la couche drainante.

La densité de plantation minimale est de 4 pieds au m^2 (1 pied tous les 50 cm dans les 2 directions).

Le nombre de points d'injection dans les lits est essentiellement guidé par le souci d'une répartition uniforme des apports.

Leur volume unitaire est lui-même gouverné par le débit de la pompe d'alimentation (permettant de dépasser la vitesse d'infiltration instantanée qui peut atteindre au moins 200 $mm.h^{-1}$, notamment au début des apports après une période de repos) et par la volonté de pratiquer des extractions aussi régulières et aussi fréquentes que possible dans la semaine (ou les 2 semaines) de la période d'alimentation. Le prélèvement des boues sera toujours réalisé à partir du bassin d'aération lorsque ce dernier est parfaitement homogène et bien aéré.

Selon le mode de construction, il faudra adapter le mode de vidange des boues déshydratées, de façon à ne pas mettre en péril l'intégrité de l'installation, son étanchéité et le retour des percolats en tête de station. Dans tous les cas, l'outil utilisé doit être de type tranchant (par exemple, benne preneuse sans dents, voir photo 1) pour sectionner franchement le système racinaire des plantes sans déstabiliser la couche drainante. Une dizaine de centimètres de boue résiduelle est volontairement laissée au fond des ouvrages pour faciliter la repousse.

La destination normale des boues est l'épandage sur terrains agricoles à des doses établies en fonction des textes réglementaires. En l'état actuel des connaissances, tout risque de repousse des sections de rhizomes, même broyées par les engins d'épandage, ne saurait être écarté. En conséquence, il faut demander une mesure dérogatoire au règlement sanitaire départemental, imposant norma-

lement l'enfouissement sous 24 heures, et laisser «griller» les morceaux de roseaux au soleil pendant au moins 3 jours avant travail du sol.

On voit qu'un champ d'investigation considérable est encore ouvert pour mieux cerner l'utilisation de ce procédé jeune mais suscitant un intérêt certain. Il s'agit en outre, d'un procédé de type extensif, pour lequel l'accumulation de données concernant ses seules mise en œuvre et conduite est extrêmement lente. Il convient donc d'essayer de tirer parti au mieux des informations qui peuvent être obtenues sur chacun des sites et de les rassembler pour faire progresser les connaissances. □

A. Liénard

▲ Photo 1– Enlèvement des boues par benne preneuse dans les lits de séchage expérimentaux de Bourg-Argental.

Résumé

La déshydratation des boues par lits de séchage plantés de roseaux est d'utilisation récente en France. Le dimensionnement de ces lits, établi sur une installation expérimentale avec des boues activées en aération prolongée, correspond à l'apport de 50 kg de MS m^{-2} an^{-1}, lorsque le développement des roseaux est optimal. Cette valeur est aussi retenue au Danemark où les installations sont cependant de capacité très sensiblement supérieure à celles construites en France. La conception des systèmes est aussi très différente en ce qui concerne le nombre de lits (au moins huit sur les installations récentes au Danemark) qui semble être un facteur essentiel pour accroître la siccité finale des boues et faciliter la gestion programmée des extractions.

Abstract

Sludge dewatering in reed beds has been recently used in France. For activated sludge in extended aeration the design of such reed beds is based on a surface loading of 50 kg DM m^{-2} y^{-1}, in France and Denmark as well when the growth of the reeds is well established. In Denmark, this type of dewatering process is used for much more larger cities than the ones in France. In each plant recently built in Denmark, the design is different and the number of beds is greater, at least eight. This distinctive feature seems to be of major interest to increase the dry matter content of the dewatered sludge and also to make easier the scheduled withdrawals of the beds separately.

Bibliographie

ARMSTRONG, W., ARMSTRONG, J., BECKETT, P.M. 1990. Measurement and modelling of oxygen release from roots of Phragmites Australis, i*n Constructed Wetlands in Water Pollution Control*, P.F. Cooper and B.C. Findlater (Eds). Pergamon Press, p 41-51.

BAPTISTE, Ph., 1996. Traitement des boues par le procédé Rhizophyte®, *Environnement et Technique,*n° 157, p 35-37.

BAPTISTE, Ph., NAULEAU, F., 1997. Traitement des boues des petites collectivités par le procédé Rhizophyte®, *L'Eau, l'Industrie, les Nuisances*, n° 204, p 55-60.

BOUTIN, C., DUCHÈNE, PH., LIÉNARD, A., 1998. Filières d'épuration adaptées aux petites collectivités, *Documentation technique FNDAE n° 22*, Cemagref Éditions, 96 p.

BRIX, H., SCHIERUP, H. H., 1990. Soil Oxygenation in constructed reed beds : The role of Macrophytes and Soil-atmosphere interface oxygen transport, *in Constructed Wetlands in Water Pollution Control* . P.F. Cooper and B.C. Findlater (Eds). Pergamon Press, p 43-66.

Cemagref (1994). Dysfonctionnements biologiques dans les stations d'épuration en boues activées, *in Actes du Colloque Pollutec 94*, Cemagref Éditions, 82 p.

DUCHÈNE, Ph. 1997. Optimisation du traitement d'eaux usées par temps de pluie, *Ingénieries EAT*, n° 10, Cemagref Éditions, p 35-42.

GIS Mousses 1993. Guide de lutte contre les mousses biologiques stables. Document Technique FNDAE, Numéro spécial, 72 p.

LIÉNARD, A., ESSER, D., DEGUIN, A., VIRLOGET, F., 1990. Sludge dewatering and drying in reed beds : An interesting solution ? General investigations and first trials in France, *in Constructed Wetlands in Water Pollution Control,* P.F. Cooper and B.C. Findlater (Eds). Pergamon Press, p 257-267.

LIÉNARD, A., DUCHÈNE, Ph. and GORINI, D. 1995. A study of activated sludge dewatering in experimental reed-planted or unplanted sludge drying beds. *Wat. Sci. Tech.*, 32 (3), p 251-261.

NIELSEN, S.M. (1990). Sludge dewatering and mineralisation in reed bed systems, *in Constructed Wetlands in Water Pollution Control*. P.F. Cooper and B.C. Findlater (Eds). Pergamon Press, p 245-255.

NIELSEN, S.M. 1993. Biological Sludge Drying in Constructed Wtelands, *in Constructed Wetlands for Water Quality Improvement*. G.A. Moshiri (Eds), p 549-558.

NIELSEN, S.M. 1994. Biological Sludge Drying in Reed Bed Systems - Six Years of Operations Experiences, Proceedings of the 4th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, Guangzhou, 6-10 novembre 1994, p 447-457.

Annexe

Liste des sites et caractéristiques principales des Rhizophytes®

Commune et département	Année de construction	EH* station	EH** lits	Surface des lits en m²	Nombre de lits	EH** par m²	Charge actuelle station	Date 1re alimentation
Lesperon (40)	1991	600	600	120	2	5,00	80 %	juin 91
Arthez de Béarn (64)	1994	2000	1000	200	2	5,00	10 %	juin 94
Eysus (64)	1994	800	800	176	2	4,55	60 %	nov. 94
Alba la Romaine (07)	1995	1500	1500	240	4	6,25	40 %	février 96
Ballots (53)	1995	1500	1500	300	3	5,00	50 %	juin 95
Grenade sur Adour (40)	1995	3000	3000	600	4	5,00	60 %	mars 96
Illats (33)	1995	1500	750	150	2	5,00	10 %	1996
Puichéric (11)	1995	1300	1300	308	4	4,22	80 %	sept. 95
Saint -Victurnien (87)	1995	1200	800	150	2	5,33	10 %	mai 96
Touvérac (16)	1995	1200	800	150	2	5,33	60 %	mai 95
Bordes (64)	1996	3600	3600	720	4	5,00	45 %	été 1997
Indret (44) industriel	1996	1000	1000	200	3	5,00	70 %	mai 97
La Baconnière (53)	1996	1200	1200	240	2	5,00	60 %	été 1997
La Tour de France (66)	1996	2000	2000	400	4	5,00	50 %	été 1997
Plouzévédé (29)	1996	1200	600	200	2	3,00	50 %	juin 96
Sainte Hermine (85)	1996	2250	1600	400	4	4,00	50 %	sept. 96
Segré (49) industriel	1996	6000	6000	1200	4	5,00	50 %	été 1997
Vers (46)	1996	900	900	169	2	5,33	30 %	avril 96

* Capacité nominale de la station en Équivalents Habitants.
** Capacité retenue pour le dimensionnement des lits en Équivalents Habitants.

Commune et département	Année de construction	EH* station	EH** lits	Surface des lits en m²	Nombre de lits	EH** par m²	Charge actuelle station	Date 1re alimentation
Thaire d'Aunis (17)	1997	1200	600	120	1	5,00	0 %	ultérieure
Beaulieu sur Layon (49)	1997	1200	1200	240	2	5,00	60 %	été 1997
Landrévarzec (29)	1997	2100	2100	500	4	4,20	90 %	avril 98
Poulaines (36)	1997	600	600	150	4	4,00	80 %	1997
Avord (18)	1998	3500	3500	850	4	4,12	63 %	avril 98
Campagne (40)	1998	550	550	110	2	5,00	?	été 1998
Corneilla (66)	1998	2000	2000	400	6	5,00	?	?
Espéraza (11)	1998	4500	4500	920	8	4,89	?	été 1999
Flassans sur Issole (83)	1998	3000	1500	294	3	5,10	?	été 1998
Ligny-le-Ribault (45)	1998	1000	1000	200	4	5,00	75 %	mai 1998
Maslacq (64)	1998	800	800	160	3	5,00	?	été 1998
Molineuf (41)	1998	1500	1000	200	2	5,00	?	avril 98
Montigné-le-Brillant (53)	1998	1400	1400	280	2	5,00	?	été 98
Moustey (40)	1998	600	600	120	2	5,00	?	été 1998
Nibelle Nesploy (SIAEP) (45)	1998	1500	1500	375	4	4,00	?	ultérieure
Pédernec (22)	1998	2000	1200	300	4	4,00	60 %	été 1998
Saint -Martin Lacaussade (33)	1998	1200	1200	240	3	5,00	?	été 1998
Vineuil (36)	1998	1000	1000	220	4	4,55	80 %	avril 98