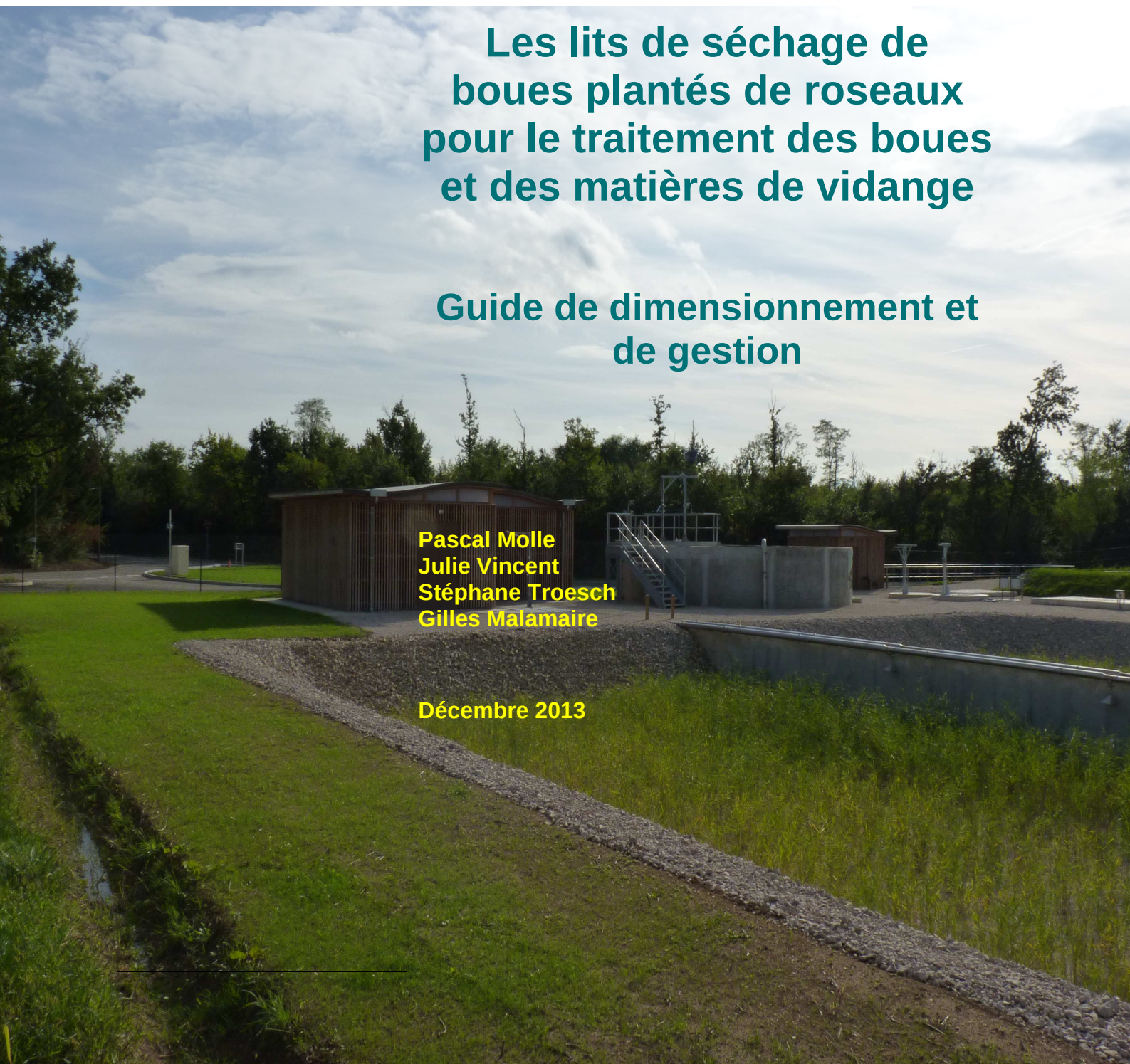


2011 – Ecotechnologies et pollutions- Action 30

Les lits de séchage de boues plantés de roseaux pour le traitement des boues et des matières de vidange

Guide de dimensionnement et de gestion



Pascal Molle
Julie Vincent
Stéphane Troesch
Gilles Malamaire

Décembre 2013

- **AUTEURS**

Pascal Molle, Ingénieur de recherche (Irstea), pascal.molle@irstea.fr, coordonnateur de la thématique de recherche

Julie Vincent, Ancienne doctorante Irstea, Post doctorante à l'Ecole polytechnique de Montréal

Stéphane Troesch, Ancien doctorant Irstea, Chargé de commercialisation et R&D (Epur Nature), stephane.troesch@epurnature.fr

Gilles Malamaire, chargé de projet (ARPE PACA), g.malamaire@arpe-paca.org

- **CORRESPONDANTS**

Onema : Céline Lacour, Chargée de mission sur l'eau et les aménagements urbains (Onema), celine.lacour@onema.fr

Irstea : Pascal Molle, Ingénieur de recherche (Irstea), pascal.molle@irstea.fr

Droits d'usage : accès libre

Niveau géographique : national

Couverture géographique : Nationale]

Niveau de lecture : professionnels, experts

- **RESUME**

Français :

La technique des lits de séchage de boues plantés de roseaux (LSPR) est pratiquée en France depuis le début des années 90, sur la base de recherches menées par Irstea (à l'époque Cemagref) en collaboration avec la société SAUR. Initiés antérieurement dans d'autres pays (Allemagne, Danemark ...), le procédé souffre en France d'une méconnaissance, non seulement des règles de dimensionnement mais aussi de gestion des ouvrages permettant l'obtention de siccités satisfaisantes au curage. Ce guide fait suite à plusieurs programmes de recherches menés ces dernières années (2007-2012) pour mieux définir les règles de dimensionnement et de gestion des ouvrages aussi bien pour le traitement des boues activées que les matières de vidange de fosses toutes eaux.

Ce guide est à destination des bureaux d'étude, constructeurs et maîtres d'ouvrage ainsi que des décideurs. Il présente les principes de fonctionnement des LSPR, les stratégies de traitement ainsi que le dimensionnement et la gestion des ouvrages pour arriver à garantir des niveaux de siccité d'au minimum 25 % pour les boues activées et 30 % pour les matières de vidange. Ce procédé de traitement des boues permet une réduction de l'ordre de 50 % des matières sèches ainsi qu'une diminution des contraintes d'exploitation de la partie traitement de boues.

Mots clefs : Lits de séchage de boues plantés de roseaux, dimensionnement, gestion, guide, boues activées, matières de vidange.

English:

Sludge drying reed beds (SDRB) are used in France since the early 90s, based on research conducted by Irstea (formerly Cemagref) in collaboration with SAUR company. Previously initiated in other countries (Germany, Denmark ...), the process suffers from a misunderstanding in France, not only related to design rules but also operation and management, to obtain satisfactory dry matter contents in the final deposit product. This guideline summarizes several research programs carried out during recent years (2007-2012) to better define the design rules and operation and management for the treatment of activated sludge and septage as well.

This guideline addresses to designers, builders and owners. It presents the processes implied in SDRB, treatment strategies as well as the design and management rules to guarantee final dry matter content of 25 % and 30 % minimum for activated sludge and septage respectively. SDRBs allow a sludge reduction of about 50 % of dry matter as well as a decrease of operation task in sludge treatment lines.

Keywords: Sludge drying reed beds, design, operation, guideline, activated sludge, septage.

- **PREAMBULE**

La technique des lits de séchage de boues plantés de roseaux (LSPR) est pratiquée en France depuis le début des années 90, sur la base de recherches menées par Irstea (à l'époque Cemagref) en collaboration avec la société SAUR. Initiés antérieurement dans d'autres pays (Allemagne, Danemark ...), le procédé souffre en France d'une méconnaissance, non seulement des règles de dimensionnement mais aussi de gestion des ouvrages permettant l'obtention de siccités satisfaisantes au curage. Ainsi, au Danemark par exemple (référence mondiale en termes de LSPR), où le climat est moins favorable qu'en France, des siccités supérieures à 30 % sont garanties. En conséquence de quoi, le développement de la filière n'est pas à la hauteur de son potentiel. Face à ce constat, il est apparu nécessaire de conduire de nouvelles recherches afin de préciser les conditions permettant de garantir des siccités acceptables et de transférer la filière aux matières de vidange des fosses toutes eaux de l'assainissement non collectif dont les flux augmentent avec la mise en place des services publics de l'assainissement non collectif (SPANC).

Ce document se veut une synthèse de l'ensemble des connaissances acquises sur la problématique des LSPR. Il a pour objectif de guider les maîtres d'œuvres, les collectivités et les décideurs dans la mise en place et la gestion de telles filières d'assainissement pour le traitement des boues activées et des matières de vidange. Les recommandations et suggestions contenues dans ce document sont susceptibles d'évoluer en fonction des avancées techniques, des retours d'expériences et des recherches relatives au traitement des boues par ce type de système. Ce document ne veut pas freiner l'évolution technique qui pourrait être faite avec l'expérience sur ce type d'ouvrage, mais donner les clefs de compréhension pour pouvoir juger de leur pertinence. Ce document a par conséquent vocation à être mis à jour dans le temps avec l'évolution des connaissances.

- **GLOSSAIRE DES ABBREVIATIONS**

ACV	Analyse du Cycle de Vie
ANC	Assainissement non collectif
BA	Bous activées
CB	Casier béton
CU	Coefficient d'uniformité (d_{60}/d_{10})
DB	Déblais Remblais
DCO	Demande chimique en oxygène
DOM	Départements d'Outre Mer
d_x	Diamètre du tamis qui laisse passer x % en masse du matériau
EH	Equivalent habitant
EPNAC	Groupe national sur l'Evaluation des Procédés Nouveaux d'Assainissement des petites et moyennes Collectivités (http://epnac@irstea.fr)
ERU	Eaux résiduaires urbaines
ET	Evapotranspiration réelle (mm)
ET_0	Evapotranspiration de référence (mm)
FPR	Filtres plantés de roseaux
HAP	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques
ISB	Indicateur de stabilité biologique
K_c	Coefficient cultural (ad)
K_s	Coefficient de stress (ad)
LSPR	Lits de séchage de boues plantés de roseaux
Mat Vol	Matières volatiles (% / MS)
MES	Matières en suspension
MO	Matière Organique
MS	Matières sèches
MV	Matières de vidange
NK	Azote kjeldahl
PCB	Polychlorobiphényles
pF	Point de flétrissement
RFU	Réserve facilement utilisable
SPANC	services publics de l'assainissement non collectif
STEU	Station de traitement des eaux usées

- **SOMMAIRE**

1	Introduction	9
1.1	Objectif du guide.....	9
1.2	Historique du développement des LSPR	10
1.3	Intérêt des LSPR	11
2	Principe de fonctionnement des LSPR	13
2.1	Généralités	13
2.2	Filtration	15
2.3	Déshydratation.....	16
2.3.1	Drainage	16
2.3.2	Évapotranspiration	17
2.4	Minéralisation.....	20
2.5	Rôle des végétaux.....	21
3	Traitement des boues activées et des matières de vidange sur LSPR	23
3.1	Stratégies de traitement	23
3.1.1	Cas des boues activées	23
3.1.2	Cas des matières de vidange.....	23
3.2	Caractérisation des boues	25
3.2.1	Cas des boues activées	25
3.2.2	Cas des matières de vidange.....	27
4	Dimensionnement	29
4.1	Production annuelle de boue	30
4.1.1	Cas des boues activées	30
4.1.2	Cas des matières de vidange.....	31
4.2	Charges surfaciques de dimensionnement et nombre de lits	31
4.2.1	Cas des boues activées	32
4.2.2	Cas des matières de vidange.....	33
4.3	Nombre d'unités.....	35
5	Conception	37
5.1	Stratégies de traitement	37
5.1.1	Cas des boues activées	37
5.1.2	Cas des matières de vidange.....	38
5.2	Configuration des lits	43
5.2.1	Choix du mode constructif	43
5.2.2	Hauteur de revanche.....	44
5.2.3	Géométrie des lits	45
5.3	Matériaux & massif filtrant	45
5.4	Système d'alimentation & drainage-aération	47
5.4.1	Dispositif d'alimentation	47
5.4.2	Dispositif de drainage et d'aération	47
5.5	Plantation des végétaux	48

5.6	Métrologie pour la gestion	49
5.6.1	Cahier de suivi.....	49
5.6.2	Mesure du débit de drainage	49
5.6.3	Hauteur du dépôt de boue	50
5.6.4	Déshydratation du dépôt de boue.....	51
6	Gestion.....	53
6.1	Différentes phases de fonctionnement des lits	53
6.1.1	Période d'acclimatation (SANS apport de boue)	53
6.1.2	Période de démarrage	54
6.1.3	Fonctionnement nominal	55
6.1.4	Phase de curage.....	57
6.2	Cycles d'alimentation – repos.....	60
6.2.1	Période de démarrage	60
6.2.2	Fonctionnement nominal	60
6.3	Problèmes de fonctionnement.....	61
7	Valorisation agricole de la boue	63
7.1	Qualité du produit final	63
7.1.1	Stabilité & Valeur agronomique.....	63
7.1.2	Mesures réglementaires	64
7.2	Protocole de prélèvement	68
7.2.1	Déterminer le nombre d'échantillons moyens nécessaires	68
7.2.2	Déterminer le nombre de carottages nécessaires.....	69
7.2.3	Définir les emplacements où il est préférable de prélever	69
7.2.4	Réaliser des carottages représentatifs.....	69
7.2.5	Confectionner des échantillons moyens.....	69
7.3	Déroulement des phases de Curage & Epandage	70
7.3.1	Phase de curage.....	70
7.3.2	Phase d'épandage.....	71
7.3.3	Intérêt d'une siccité accrue.....	73
8	Conclusion.....	75
9	Bibliographie	76
10	Table des illustrations	79
11	Remerciements	81

1 Introduction

1.1 Objectif du guide

Les LSPR [lits de séchage de boues plantés de roseaux] sont des systèmes relativement jeunes (une vingtaine d'années) d'une apparente simplicité de fonctionnement. Toutefois, les phénomènes hydrauliques et biologiques garants de leurs performances (c.-à-d. déshydratation et minéralisation) sont impactés par des paramètres extérieurs maîtrisables liés au dimensionnement et à la gestion du système mais également d'autres non maîtrisables, tels que le climat ou les caractéristiques des boues traitées. En France, les retours d'expériences obtenus sur 120 stations traitant des boues activées (*Lesavre et Iwema, 2002*) révèlent systématiquement des performances moindres par rapport à celles attendues. Une des causes principales de ce constat est un manque de connaissance du fonctionnement du procédé, aussi bien sur les mécanismes impliqués et leurs interactions, qu'en termes d'exploitation. Cette méconnaissance du procédé a mené à de nombreuses dérives (non respect des règles de dimensionnement, mauvaise gestion, etc.) nuisibles aux performances des LSPR. Aussi, Irstea (anciennement Cemagref) a démarré en 2005 de nouvelles recherches pour améliorer les règles de conception et de gestion des LSPR pour le traitement des boues activées et, plus récemment, des matières de vidange (MV). En effet, avec la mise en place des SPANC (Service Public d'Assainissement Non Collectif), le traitement de ces dernières suscite un intérêt croissant. Ce guide, en s'appuyant sur la synthèse de ces 6 dernières années de recherche, s'adresse aux concepteurs et exploitants, afin de les assister, lors des étapes de dimensionnement, de construction, de mise en route, et d'exploitation, pour garantir des performances de traitement, ainsi qu'aux maîtres d'ouvrage et décideurs désireux de bien comprendre le procédé et les conditions de mise en oeuvre. Notons que ce guide s'appuie sur les documents suivants :

- La thèse de S. Troesch (2009)¹ qui consiste à définir les meilleures conditions de gestion pour la **phase de démarrage** des LSPR à partir d'expérimentations menées sur des installations pilotes de taille semi-industrielle (16 unités pilote de 2 m²) et taille réelle (8 lits de 470 m²) de la station de traitement des eaux usées (STEU) d'Andancette (13 000 EH, Drôme (26)) ;
- La thèse de J. Vincent (2011)² qui se focalise sur la phase de **fonctionnement nominal** des LSPR (quelle charge, quelles propriétés du dépôt, quelle fréquence, l'impact du type de boue). Pour répondre à ces questions, l'étude des 16 pilotes s'est poursuivie ;
- Les études de F. Thirion (Irstea Montoldre) et du groupe de travail EPNAC (Evaluation des Procédés Nouveau d'Assainissement des petites et moyennes Collectivités) concernant la **problématique du curage et de l'épandage** ;
- Les **retours d'expérience** collectés par l'unité « Assainissement et Milieu Aquatique » de l'ARPE PACA (Agence Régionale Pour l'Environnement Provence Alpes Côte d'Azur) sur 16 LSPR depuis 4 ans.

¹ Cette thèse s'est inscrite dans un contrat CIFRE entre la SINT, Irstea et l'Université de Savoie, plusieurs partenaires ont également participé à son financement (l'ADEME, l'Agence de l'eau RMC, Véolia et le SIAPA (Syndicat Intercommunal du Pays d'Albon))

² Cette seconde thèse a été financée par Irstea et l'Onema sur les mêmes installations.

Ce guide vise à présenter, dans un premier temps, les mécanismes impliqués dans le fonctionnement des LSPR, pour une meilleure compréhension du système. Puis, dans un second temps, il se focalise sur les recommandations opérationnelles relatives au dimensionnement, à la conception et enfin à la gestion des LSPR. En fin de document, seront également présentées les modalités techniques liées aux phases de curage et d'épandage.

1.2 Historique du développement des LSPR

Initialement, la déshydratation des boues, par le biais d'un procédé rustique, utilisait des lits de séchage non plantés dont l'utilisation ne répond pas aux contraintes d'exploitation d'une épuration par boues activées (*Liénard et al., 2006*) :

- Problèmes de séchage en hiver ;
- Evacuation systématique des boues déshydratées entre chaque apport, pour éviter le colmatage.

Par conséquent, l'exploitation fastidieuse qu'il nécessite et l'importance des flux de transport qu'il engendre rendent ce procédé peu viable.

Pour pallier le problème du colmatage, inhérent aux techniques de traitement des eaux par filtration sur supports fins, une équipe de chercheurs allemands a planté des roseaux sur les lits (*Bittmann et Seidel, 1967 ; Kickuth, 1969*). Le réseau de tiges, rhizomes et racines, développé par le végétal au sein de la boue, améliore le drainage et l'aération du dépôt de boue. Les performances s'en sont trouvées améliorées et la gestion facilitée grâce à une évacuation des boues, déshydratées et stabilisées, moins fréquente. La filière - lits de séchage plantés de roseaux - pour le traitement des boues de l'assainissement collectif a ainsi vu le jour en Allemagne (*Hofmann, 1990*), au Danemark (*Nielsen, 1990*) et aux Etats-Unis (*Kim et Cardenas, 1990*), dans les années 80.

En France, l'origine des LSPR remonte aux années 90. Irstea, à la demande de la société SAUR, a initié des études sur trois pilotes de 20 m² (*Liénard et al. (1990)*) à Bourg Argental, permettant de poser les premières bases de dimensionnement. Depuis, la filière s'est développée. Aujourd'hui, on estime à plus de 400 le nombre de stations de capacités variant de 700 à 27 000 EH. Pour Steen Nielsen (expert danois), cette filière présente un intérêt plus net pour les grosses STEU (> 20 000 EH, cf. *Chapitre 1.3*).

Par ailleurs, dans le contexte de la mise en place des SPANC, la filière LSPR semble également prometteuse pour le traitement des matières de vidange. Aussi, les thèses (Troesch, 2009 et Vincent, 2011) conduites à Irstea se sont penchées sur la faisabilité du traitement de ces déchets de l'assainissement non collectif et l'optimisation du traitement des boues activées issues de l'assainissement collectif. Pour chacun des deux types de boues, les 6 années de recherches ont porté sur l'étude de :

- La stratégie de traitement selon le type de boue (cf. *Chapitre 3.1*),
- Les matériaux utilisés pour la composition du massif filtrant, notamment la couche de filtration superficielle (cf. *Chapitre 5.3*),
- La charge à appliquer (au démarrage et au nominal) selon le type de boue traité,
- Le nombre de lits à mettre en place selon le type de boue et la charge à traiter.

On notera que ce système a également fait ses preuves pour le traitement de différents types de boues comme les boues issues de digesteur anaérobie (*Nielsen, 2003*), de dragage de canaux/rivière (*De Maeseneer, 1997*), de décanteur digesteur (*Zwara et Obarska-Pempkowiak, 2000*), de décanteur primaire (*Torrens et al., 2006*), ou encore des boues issues de latrines et fosses septiques dans les pays en voie de développement (*Kengne et al., 2008*).

Toutefois, même si au niveau international les LSPR sont développés pour des boues industrielles (issues du traitement d'eau potable, d'industrie agro-alimentaire, distilleries ...), ce guide ne les concerne pas directement. Pour cela, déterminer les caractéristiques des boues et une étude préalable de faisabilité sont nécessaires pour adapter le dimensionnement et la gestion des lits.

1.3 Intérêt des LSPR

En France, les lits de séchage plantés de roseaux sont jusqu'à présent développés principalement pour des petites et moyennes collectivités (jusqu'à 27 000 EH). Il est fort probable que cela soit dû au procédé cousin de filtres plantés de roseaux (FPR) appliqués pour des STEU de moins de 5000 EH pour le traitement des eaux. Le caractère gourmand des LSPR en emprise foncière est un inconvénient pour le mettre en œuvre sur de grosses collectivités, d'un point de vue économique cette justification n'est cependant pas forcément adaptée sur l'âge de vie d'une station. En effet, on notera que :

- le coût lié à la compartimentation des lits (nécessaire pour une souplesse de gestion) devient d'autant plus important que la capacité de traitement est faible. Cela revient à privilégier un plus petit nombre de lits et une moindre charge surfacique de dimensionnement pour de petites unités.
- Si les coûts d'investissement peuvent paraître parfois élevés au regard d'autres procédés de traitement des boues, la facilité de gestion permet des économies importantes sur l'âge de vie de la station (la consommation en énergie est environ 10 et 20 fois moins importante par rapport aux technologies de filtre presse et de centrifugation respectivement d'après une étude interne Danoise de la société Orbicon). De même, à titre d'exemple, l'exploitant de la station d'Andancette (13 000 EH, Drôme) estime gagner un mi-temps d'exploitation, grâce aux LSPR, par rapport à un système classique de traitement des boues. Cet argument trouve sa justification par la contrainte que pose la gestion des bennes de boues avec des procédés traitant les boues en continu.

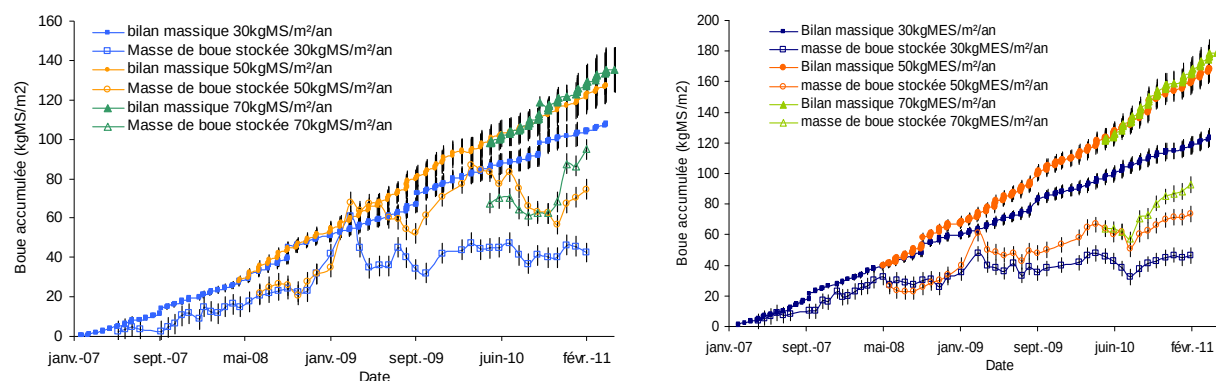
En conséquence de quoi, ce procédé apparaît également avantageux pour de grosses collectivités, sous réserve d'une disponibilité foncière, raison pour laquelle il est développé au Danemark pour des grosses collectivités (cf. Figure 1).



Figure 1 : STEU de Kolding (Danemark) traitant 2000 T/an de MS (125 000 EH). Crédit photo Orbicon/Steen Nielsen

Le développement des LSPR est permis sous réserve d'une maîtrise du procédé permettant de garantir des niveaux de siccité accrus. Cela pose la question de la nécessité de travailler avec des constructeurs et gestionnaire spécialisés qui garantissent la siccité au curage. Compte tenu de l'importance du dimensionnement, de la réalisation et de la gestion, dans l'obtention de bons niveaux de siccité, il peut être pertinent de proposer la gestion au constructeur, au moins jusqu'au premier cycle de curage, afin que les responsabilités en termes de résultats puissent être clairement établies.

De même, les premières études sur l'analyse du cycle de vie (Boutin et al., 2011) montrent que sur la plupart des catégories d'impact "globales" de l'ACV, les impacts de la filière LSPR sont nettement plus faibles que pour le conditionnement physico-chimique, notamment grâce à la réduction du volume de boues à traiter (moins de transport), et le fait que les LSPR ne nécessitent pas de réactifs chimiques et peu d'électricité. En effet, la filière LSPR permet une réduction de la matière sèche produite par le traitement biologique de l'ordre de 40 - 50 % (cf. Figure 2). Cette réduction de la production de boues est bien évidemment dépendante des conditions de dimensionnement et de gestion des ouvrages. La suite du document s'attachera à décrire les modalités permettant d'atteindre ces niveaux de traitement.



Bilan massique : masse de boues retenue par les lits (différence entre les applications et la partie drainée)

Masse de boue stockée : mesure de la masse de boue accumulée en surface des lits en fin de période de repos

Figure 2: réduction de la production de boue par minéralisation pour les BA (gauche) et les MV (droite) et pour différentes charges appliquées.

2 Principe de fonctionnement des LSPR

2.1 Généralités

Le traitement des boues sur LSPR repose sur un *traitement aérobie* de la boue dont les principaux objectifs sont la *déshydratation* et la *minéralisation* de la boue ; mécanismes responsables de la réduction de son volume et de sa stabilisation.

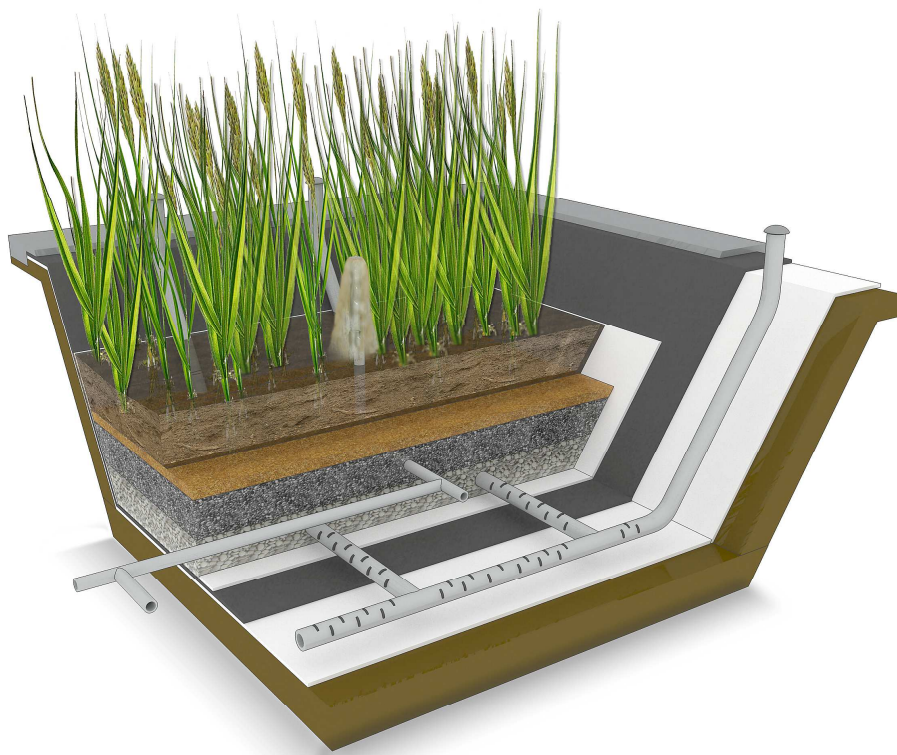


Figure 3 : Représentation schématique d'un lit de séchage de boues planté

Les LSPR reposent sur la mise en place d'un massif filtrant reconstitué, de granulométrie croissante de la surface vers la profondeur du filtre (cf. Figure 3). Des drains situés à la base du lit permettent d'assurer à la fois le drainage et l'aération du lit par le fond. Les roseaux sont plantés à la surface du lit, au sein de la couche superficielle de filtration, le rôle de cette dernière étant de filtrer les premières alimentations en boues. Lors des alimentations, les boues sont apportées par bâchées à la surface du lit en service, où elles subissent différentes étapes de traitement et de transformation (cf. Figure 4) :

- le lit joue un rôle de rétention physique des matières en suspension (MES) contenues dans la boue. Ce mécanisme est responsable de la formation du *dépôt de boue*, à la surface du lit,
- sous l'action des forces de gravité, l'eau libre contenue dans la boue est *drainée* vers le fond du lit, où un réseau de drains permet son évacuation. Ce mécanisme participe à la réduction du volume et au séchage des boues stockées sur le lit,

- la matière organique du dépôt de boue est *minéralisée* par l'action bactérienne et faunistique aérobie. Ce mécanisme est crucial pour la réduction et la stabilisation du dépôt de boue,
- le dépôt de boue subit un séchage « naturel » dû à l'activité végétale, via l'*évapotranspiration* des roseaux, permettant d'améliorer la déshydratation atteinte par simple drainage de l'eau libre (de l'ordre de 10 à 15 %) et ainsi d'atteindre des siccités supérieures à 25 %.

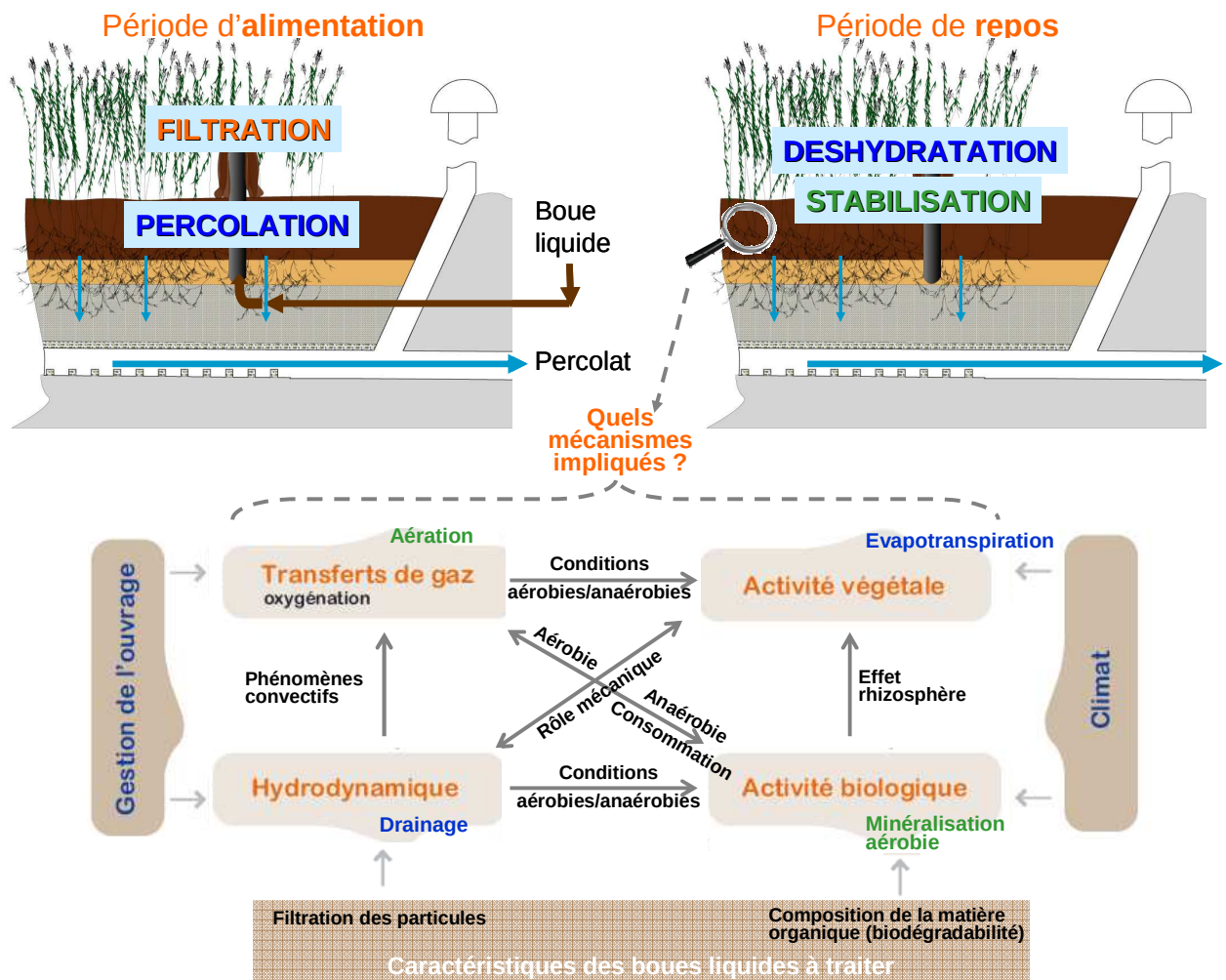


Figure 4: processus impliqués dans les LSPR (adapté de Molle, 2012)

La conception et la gestion des LSPR doivent, par conséquent, permettre de garantir constamment :

- une *croissance optimale* des roseaux, pour leur rôle physique sur le drainage et leur rôle biologique sur la déshydratation,
- une *bonne aération* du massif filtrant et du dépôt de boue, synonyme d'un fonctionnement aérobie nécessaire à la survie des roseaux et à la minéralisation de la matière organique.

Outre les aspects de conception et de dimensionnement, la gestion des lits est un point clé garant des bonnes performances de traitement. Compte tenu des fortes charges organiques appliquées lors des alimentations, la mise en place de périodes de repos est indispensable à la minéralisation aérobie de la boue. La gestion du système consiste donc à adapter (en fonction de la saison des charges appliquées et de l'âge du système) le ratio entre le nombre de jours d'alimentation et le nombre de jours de repos (défini sous le terme de fréquence

d'alimentation, cf. Chapitre 6.2). La nécessité d'un traitement continu des boues impose, par conséquent, la mise en place de plusieurs lits en parallèle, permettant une rotation entre chacun. Ainsi, chaque lit est soumis à deux périodes successives :

- une *période d'alimentation*, au cours de laquelle les boues sont apportées par bâchées à la surface du lit,
- une *période de repos*, plus longue que la précédente, nécessaire au séchage et à la minéralisation de la boue.

De même, les lits évoluent dans le temps, en raison de l'accumulation de matière organique et du développement végétal. La gestion des lits doit donc être adaptée en fonction de différentes phases :

- la *phase de démarrage*, pour optimiser le développement des roseaux,
- la *phase de fonctionnement nominal* ou de fonctionnement routinier,
- la *phase de curage*, précédée d'une période de repos prolongé et suivie d'une période de redémarrage.

La succession de ces trois phases constitue un cycle de fonctionnement propre à chacun des lits. Pour un fonctionnement optimal des LSPR, il est primordial de respecter les consignes d'exploitation propres à chacune des phases (cf. Chapitre 6).

2.2 Filtration

Composé de matériaux filtrants, le massif assure la rétention des MES contenues dans les boues en surface du filtre et, ainsi, évite son colmatage occasionné par une pénétration excessive des MES dans le filtre.

L'efficacité de la filtration dépend principalement de la couche de filtration superficielle qui doit permettre d'éviter la migration des particules dans la porosité du gravier sous-jacent, sans pour autant ralentir le drainage de l'eau. Le choix du matériau qui la compose est donc de première importance. Un compromis doit être trouvé entre un matériau trop grossier, limitant la formation du dépôt et un matériau trop fin, nuisible aux transferts d'oxygène et à l'écoulement de l'eau gravitaire. La granulométrie est donc un paramètre discriminant pour assurer l'efficacité de filtration, tant par rapport à la taille qu'à l'homogénéité des particules. En effet, les tests sur colonnes réalisés par Troesch (2009) pour la sélection du matériau révèlent l'importance du d_{10} et du CU (coefficient d'uniformité) (Figure 5). La concentration en MES des percolats issus de la filtration de matières de vidange montre que le d_{10} de la couche superficielle de filtration doit préférentiellement être compris entre 0,2 et 0,4 mm. Le CU idéal, quant à lui, se situe entre 4 et 5 pour assurer à la fois un drainage rapide et une filtration efficace. Si ces critères de sélection pour le choix du sable de filtration sont valables pour les matières de vidange, caractérisées par une forte proportion de fines particules (cf. Chapitre 3.2), ils le sont aussi *a fortiori* pour les boues activées.

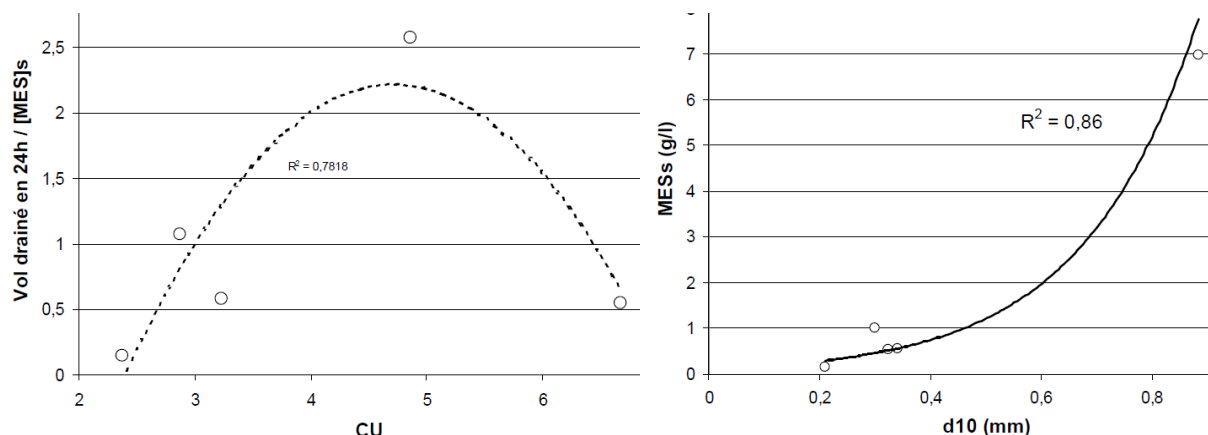


Figure 5 : Evolution du ratio volume drainé en 24 heures/concentration en MES du percolat en fonction du coefficient d'uniformité ($CU = d_{60}/d_{10}$) du matériau de filtration

Une fois le dépôt de boue formé, il constitue un nouvel horizon du massif filtrant, améliorant les performances de filtration (Liénard *et al.*, 2008b). A ce stade, la filtration est assurée par le dépôt de boue et la couche de filtration superficielle sert seulement à faciliter le drainage de l'eau en assurant la connexion capillaire entre le dépôt de boue et le massif filtrant.

2.3 Déshydratation

Le *drainage* et l'*évapotranspiration* sont les deux mécanismes responsables de la déshydratation des boues. Le drainage a lieu essentiellement lors des alimentations, tandis que l'évapotranspiration impacte principalement le séchage pendant les phases de repos. Ces deux mécanismes permettent d'atteindre des siccités supérieures à 25 % (Nielsen 2003) suite à une période de repos estivale prolongée avant curage (pour les Boues activées) et une gestion maîtrisée du système en phase de routine.

2.3.1 Drainage

Pour un fonctionnement optimal des LSPR, l'étape de drainage doit impérativement être « rapide » (délai inférieur à 24 h après l'alimentation) et ainsi favoriser l'aération du filtre. Outre la composition du massif filtrant, le drainage gravitaire dépend de plusieurs facteurs propres à :

- La *nature de la boue* à traiter ; l'aptitude au drainage d'une boue est largement influencée par la taille des MES et la matière organique (dissoute et particulaire) qui la composent (Vincent *et al.*, 2011). Des boues caractérisées par une proportion importante de fines particules (diamètre < 80 μm) – telles que les matières de vidange – sont *a priori* moins aptes à être drainées que des boues plus diluées et floculées – telles que les boues activées. Par contre, une boue préalablement stabilisée sera plus facile à drainer qu'une boue très organique.
- La *perméabilité du dépôt de boues* ; le dépôt est la couche la plus limitante hydrauliquement. Le drainage de l'eau libre va dépendre de deux facteurs principaux, le bon développement des roseaux d'une part et la structuration du dépôt par minéralisation d'autre part. Les tiges des roseaux percent la couche de dépôt et assurent, par le mouvement des roseaux, un espace tubulaire permettant à l'eau, puis à l'air d'entrer dans le dépôt. Le bon développement des roseaux est primordial pour la pérennité du système. De même, la minéralisation du dépôt dans le temps permet de

lui conférer un statut solide avec des pores plus large favorable à l'écoulement de l'eau.

- La *charge hydraulique* induite par la bâchée ; la pression hydrostatique engendrée par l'alimentation par bâchée provoque deux effets contradictoires. D'un coté cela force le passage de l'eau au travers de la couche de dépôt (meilleure infiltration) et d'un autre coté, cela entraîne la compression du dépôt de boue (surtout s'il n'est pas bien minéralisé et donc sous une forme plastique) ralentissant ainsi le drainage. D'une manière générale, on préférera mettre en œuvre des bâchées comprises entre 15 et 30 cm (Figure 6) pour favoriser l'infiltration et assurer une période de drainage plus longue autorisant la réoxygénation du dépôt. Dans le cas des boues activées, en général, on préférera la mise en place d'une bâchée par jour. Dans le cas de charges hydrauliques inférieures à 5 cm par bâchées (cas des matières de vidange généralement), il s'avère que les volumes apportés permettent à peine la réhumectation du dépôt de boue. Aussi, l'eau apportée est très facilement évapotranspirée par les roseaux en été.

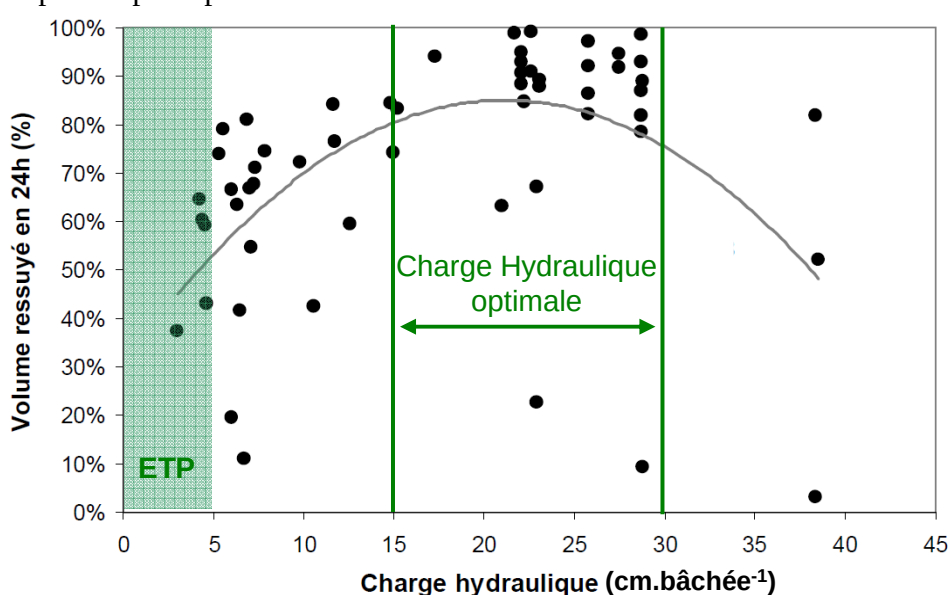


Figure 6 : Evolution du volume drainé en 24 heures en fonction de la charge hydraulique appliquée par bâchée dans le cas des boues activées

2.3.2 Évapotranspiration

L'évapotranspiration résulte de deux phénomènes : l'évaporation et la transpiration. Alors que l'évaporation ne concerne qu'une zone de faible épaisseur, proche de l'atmosphère, la transpiration des végétaux agit sur toute la zone de développement racinaire. S'ils sont tous deux compris sous le terme général d'évapotranspiration, les pertes par transpiration des végétaux sont largement supérieures aux pertes par évaporation, et cela même pour une faible couverture végétale (Musy et Soutter, 1991). L'évapotranspiration est influencée par :

- les conditions climatiques telles que la température et l'humidité de l'air, la vitesse du vent, l'intensité des radiations solaires, etc., qui dirigent les échanges entre le sol et l'atmosphère,
- la capacité de transpiration de la plante qui diffère en fonction du stade de développement de la plante et de l'espèce végétale,
- les conditions de stress et dans notre cas le stress hydrique (la disponibilité de l'eau dans le sol).

Ces trois points introduisent les trois paramètres indispensables au calcul de l'évapotranspiration : l'évapotranspiration de référence, le coefficient cultural et le coefficient de stress hydrique, chacun est développé ci-après.

i. Évapotranspiration de référence (ET_0)

L'évapotranspiration de référence est définie comme étant l'évapotranspiration d'une surface végétalisée de référence (le plus souvent de l'herbe ou de la luzerne) dans des conditions agronomiques optimales (c.-à-d. aucune carence pour la plante). Etant essentiellement dépendante des conditions climatiques, elle s'estime à partir de modèles météorologiques (cf. FAO, (1998)). A titre indicatif, les valeurs d'évapotranspiration fournies par Météo France sont des valeurs d'évapotranspiration de référence estimées à partir du modèle de Penman-Monteith.

Retenons donc que l'évapotranspiration de référence traduit la demande évaporative induite par les conditions climatiques. Ce n'est pas l'évapotranspiration réelle (ET). Le calcul de cette dernière consiste à ajuster l'évapotranspiration de référence avec un coefficient propre à l'espèce végétale et à son stade végétatif (c.-à-d. le coefficient cultural K_c) et un coefficient qui traduit un stress potentiel (hydrique, chimique ..., K_s), le stress hydrique étant le plus courant dans ces systèmes de traitement.

$$ET = K_c * K_s * ET_0$$

ii. Coefficient cultural (K_c)

Ce coefficient adimensionnel traduit la capacité d'évapotranspiration d'une espèce végétale. Il dépend de la physiologie de la plante et de son stade végétatif. On distingue trois stades de développement majeurs :

- La *croissance initiale* qui débute avec l'apparition des nouvelles pousses jusqu'à un taux de recouvrement de 10 % de la surface. Durant cette période, le K_c est faible et l' ET dépend donc essentiellement de l'évaporation.
- La *phase de développement* qui englobe les phases de croissance et de floraison de la plante. A ce stade le K_c est à son maximum ; la transpiration devient plus importante que l'évaporation.
- La phase de sénescence qui correspond au dernier stade annuel de la plante. A ce stade le K_c est en déclin.

La figure 2.3 indique l'évolution du K_c du roseau *Phragmites australis* au cours des saisons.

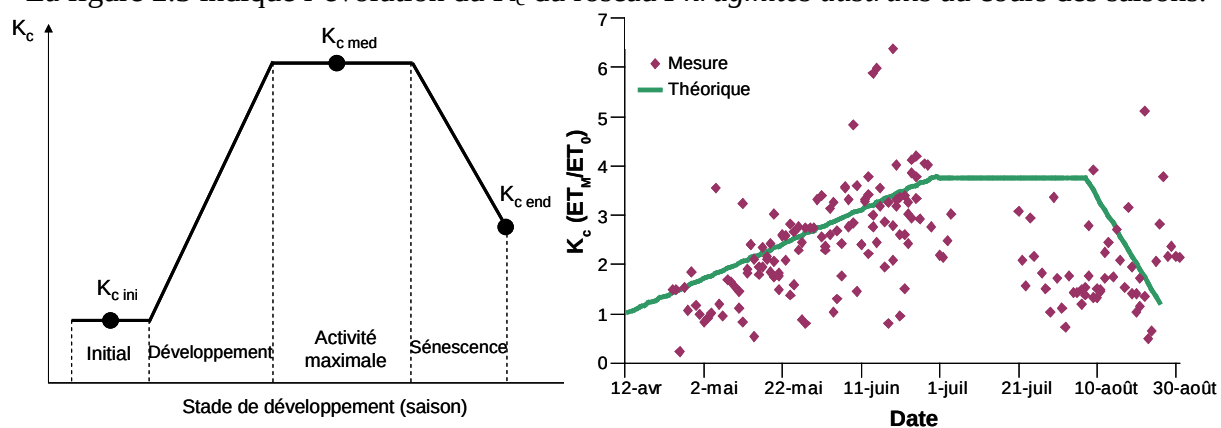


Figure 7 : Evolution théorique (gauche) et réellement mesurée à Andancette (droite) du coefficient cultural en fonction du stade de développement de la plante (Vincent, 2011)

Cela s'applique à des climats tempérés, sous lesquels l'apparition de l'hiver s'accompagne du flétrissement de la partie aérienne (avec croissance des rhizomes ralentie). Notons que sous des climats tropicaux, le K_c reste maximal (pas de phase de sénescence).

iii. Coefficient de stress hydrique (K_s)

Ce coefficient traduit la disponibilité de l'eau pour la plante, souvent décrite sous les termes de réserve facilement utilisable (RFU) et de point de flétrissement (pF). Les points suivants expliquent l'évolution du K_s en fonction de la teneur en eau du sol :

- Lorsque la teneur en eau du sol est $\geq RFU$, toute l'eau est absorbable par la plante ; dans ces conditions l'évapotranspiration ne dépend que des conditions climatiques (c.-à-d. $K_s = 1$),
- Lorsque la teneur en eau du sol est $< RFU$, l'eau est difficilement absorbable par la plante (c.-à-d. stress hydrique réversible) ; cela limite sa capacité d'évapotranspiration (c.-à-d. $K_s < 1$), quelles que soient les conditions climatiques,
- Lorsque la teneur en eau du sol $\leq pF$, l'eau n'est plus absorbable par la plante (c.-à-d. stress hydrique irréversible), la plante commence à flétrir et l'évapotranspiration devient nulle ($K_s = 0$).

L'étude de l'influence de l'évapotranspiration sur le séchage de la boue (Vincent, 2011) a permis d'identifier les valeurs de siccité à partir desquelles les roseaux subissent un stress hydrique (c.-à-d. $K_s < 1$) réversible et irréversible (Figure 8). Pour des siccités de dépôt de boue **supérieures à 25 %** un stress hydrique apparaît, sans pour autant causer la mort des roseaux. En effet, le flétrissement des roseaux quant à lui n'apparaît que pour des siccités de l'ordre de 65 % (Figure 8).

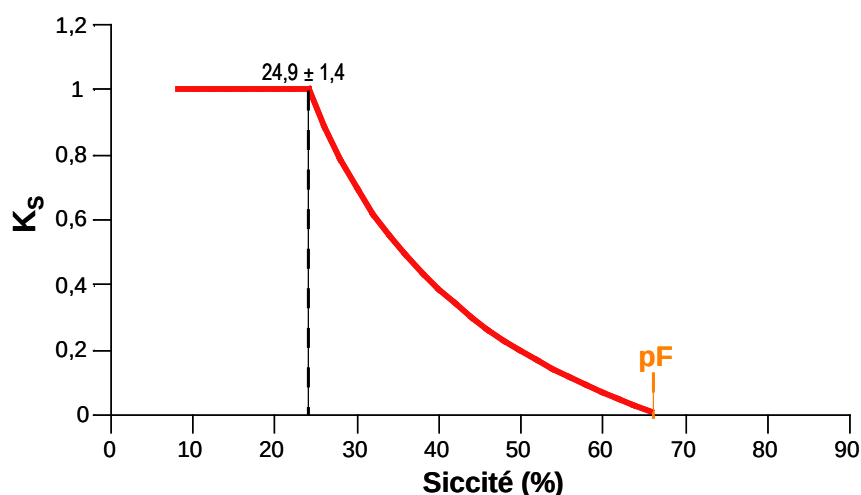


Figure 8 : Evolution de la valeur du coefficient de stress (K_s) en fonction de la siccité du dépôt de boue (Vincent, 2011)

Ces observations sont à considérer lors de la gestion, pour le maintien des roseaux d'une part, et pour l'optimisation du séchage d'autre part.

2.4 Minéralisation

Dans les LSPR, la dégradation de la matière organique des boues stockées est assurée par les micro et macro organismes (bactéries, champignons, vers de compost, etc) qui transforment la matière organique en matière minérale. L'absence de vers de compost (*Eisenia fetida*, cf. Figure 9) est un indicateur de mauvais fonctionnement.



Figure 9 : Présence de vers de compost au sein de la couche de boues accumulées en surface d'un lit.
Crédit photo Irstea.

A ce jour, deux processus sont reconnus comme étant responsables de la transformation de la matière organique : la *minéralisation* et l'*humification*. La minéralisation consiste en l'hydrolyse des fractions de la matière organique facilement assimilables par les microorganismes, tandis que l'humification est un processus de biosynthèse des substances humiques (c.-à-d. dérivées des composés organiques plus lentement biodégradables).

Les études réalisées dans le cadre de nos travaux de recherche semblent indiquer que le processus de minéralisation est largement majoritaire dans les LSPR (Vincent, 2011). Au cours de ce processus, la matière organique est transformée en composés minéraux (CO₂, N₂, etc.) Son efficacité dépend majoritairement de :

- La nature de la matière organique (rapidement, lentement biodégradable),
- L'aération (phénomène prépondérant, cf encart pour les processus d'aération des LSPR).

Note sur l'aération des lits :

Dans les LSPR, trois mécanismes participent à l'oxygénation des lits, par ordre d'importance :

- la **diffusion** induite par les gradients de concentration entre l'air atmosphérique (saturé en O₂) et celui du filtre (appauvri par l'activité des microorganismes aérobies). La diffusion est favorisée par les passages préférentiels créés par les roseaux et le craquellement du dépôt de boue, et par le système d'aération passive (c.-à-d. réseau de drains connecté à l'atmosphère). **Ainsi une bonne siccité favorise le renouvellement de l'air,**
- la **convection** induite par la pression de l'air exercée par la bâchée, cette dernière est directement reliée à la vitesse d'infiltration. **Une infiltration et un drainage rapide favorisent donc l'oxygénation du lit,**
- l'**activité végétale**, des études comparatives entre filtres plantés et non plantés ont pu mettre en évidence **l'action positive des roseaux sur la minéralisation de la boue** (Hofmann, 1990). Cet effet, connu sous le terme d'effet rhizosphère, résulte d'un **relargage d'oxygène par le système racinaire des roseaux** (Armstrong et al., 1996). Si ce mécanisme reste négligeable en termes d'apport en oxygène, il permet aux roseaux de résister à des courtes périodes d'anoxie et **stimule également la faune microbienne** (Gagnon et al., 2007), dont le développement sera de fait accru localement (c.-à-d. autour des racines).

Pendant la période de repos, l'aération des lits se fait essentiellement par un apport diffusif.

Suivant la siccité du dépôt, son état passe d'une phase liquide, à une phase plastique puis solide. Ce n'est qu'en phase solide qu'une perte d'eau se traduit par une entrée d'air dans le dépôt (Vincent et al., 2012). Il convient donc d'obtenir une siccité suffisante pendant chaque période de repos pour garantir une minéralisation aérobie du dépôt. Cette siccité est de 11 % pour un dépôt de boues activées et de 18 % pour un dépôt de matière de vidange (Vincent et al., 2012).

Ce processus de dégradation de la matière organique contribue à la réduction du volume de boue accumulée sur les lits. La réalisation de bilan de matière sur les pilotes a mis en évidence une réduction des matières sèches pouvant aller jusqu'à 50 %, tant pour les matières de vidange que les boues activées, **sous réserve d'une gestion adéquate**. La minéralisation des boues accumulées sur les LSPR permet donc la limitation du volume de boues à évacuer et de ce fait, contribue à l'allongement du cycle de fonctionnement avant le curage des lits.

2.5 Rôle des végétaux

Dans les LSPR, les roseaux ont une action :

- **Mécanique** sur le drainage et l'aération grâce aux passages préférentiels établis par les tiges, racines et rhizomes permettant un drainage rapide, avec plus de 90 % de l'eau évacuée en 24 h (Liénard et al., 1990). Une fois le drainage terminé, l'air remplace l'eau dans la porosité du dépôt de boue, en suivant les mêmes passages préférentiels. En été, ce phénomène est accru par le séchage du dépôt qui fait alors apparaître des anneaux libres autour des tiges (cf. Figure 10). En revanche, en hiver, le flétrissement des parties aériennes limite le drainage et par conséquent l'aération (les tiges sont couchées et l'effet de réalésage est minime).
- **Biologique** sur le séchage via l'évapotranspiration qui est l'unique moyen d'améliorer la déshydratation du dépôt une fois le drainage de l'eau libre réalisé. Cependant, en régions tempérées, l'évapotranspiration n'est effective qu'une période de l'année et son intensité dépend des conditions climatiques et du stade de développement des roseaux (cf. paragraphe 2.3.2). En l'absence de stress hydrique, elle peut atteindre jusqu'à 2,5 cm par jour pour des roseaux bien développés (De

Maeseneer, 1997). En hiver, le flétrissement des parties aériennes rend l'évapotranspiration nulle.



Figure 10 : anneaux libres autour des tiges, conséquence majeure du rôle mécanique des roseaux. Crédit photo Irstea.

Le séchage du dépôt de boue dépend donc uniquement de l'efficacité du drainage et de l'évapotranspiration. Ce constat pose la question de la gestion des lits en fonction du climat. Lors du dimensionnement, plusieurs aspects sont à considérer : d'une part, la sélection de l'espèce de macrophyte et, d'autre part, les paramètres de gestion tels que la charge à appliquer et la fréquence d'alimentation qui vont conditionner le nombre de lits à mettre en place. L'objectif est d'accroître les valeurs de siccité du dépôt tout en évitant l'état de stress hydrique des roseaux qui, s'il persiste, peut causer leur flétrissement prématuré. Actuellement, la communauté scientifique axe de plus en plus ses recherches sur l'effet de l'évapotranspiration sur la déshydratation du dépôt de boue. A terme, l'objectif serait d'adapter la gestion des LSPR au climat.

La présence de roseaux sur les LSPR présente d'autres avantages, notamment :

- Le flétrissement des parties aériennes constitue un apport de lignine et autres composés cellulosiques à l'origine de la formation des composés humiques (c.-à-d. acide humique, fulvique et humine) lors de la stabilisation de la boue,
- Le couvert végétal fourni par les roseaux procure une isolation thermique diminuant ainsi le risque de gelée hivernal (cas des roseaux non faucardé en hiver).
- Le relargage d'oxygène au niveau de ses racines stimule le développement de biomasse aérobie autour des racines. Cela entraîne une plus grande diversité de microorganismes sur les LSPR (*Brix, 1997 ; De Maeseneer, 1997*),
- La sécrétion de substances antibiotiques par le système racinaire favorise l'hygiénisation.

3 Traitement des boues activées et des matières de vidange sur LSPR

3.1 Stratégies de traitement

Dans le cadre du programme expérimental conduit par Irstea de 2005 à 2011, différentes stratégies de traitement par LSPR ont été investiguées pour le traitement des boues activées et des matières de vidange. Les principales conclusions du programme expérimental sont présentées ci-après.

3.1.1 Cas des boues activées

Une seule stratégie est retenue pour le traitement des boues activées.

- **Traitement direct sur les LSPR** depuis une extraction des boues du bassin d'aération.

Les essais réalisés sur l'épaississement des boues activées (décantation entre 4 et 24 h dans un silo épaisseur statique permettant d'atteindre des concentrations en MS entre 8 et 12 g.L⁻¹) avant leur traitement sur les LSPR (Troesch, 2009 et Vincent, 2011) se révèlent décevants (mauvais drainage, faible siccité, faible développement des roseaux). Effectivement, dans ces conditions il a pu être mis en avant que plusieurs facteurs nuisent aux performances des LSPR :

- i. *La charge hydraulique* n'est plus optimale (suite à l'épaississement elle devient inférieure à 15 cm/jour). Par conséquent la poussée hydraulique qu'elle génère est trop faible pour assurer le drainage rapide (c.-à-d. < 24 h) de la bâchée,
- ii. *Le mauvais drainage* de la boue épaissie entraîne le développement de conditions anaérobies nuisibles au développement des roseaux,
- iii. *Changement de qualité de la boue* lié à son temps de séjour dans le silo épaisseur. Les conditions d'anaérobiose, même brèves, rencontrées dans le silo peuvent entraîner la défloculation de la boue responsable de la diminution de son aptitude à la déshydratation (Dominiak *et al.*, 2011).

Pour ces raisons, à l'heure actuelle, l'épaississement statique des boues activées avant leur traitement n'est donc pas recommandé.

3.1.2 Cas des matières de vidange

Pour les matières de vidange deux stratégies sont possibles :

- i. **Traitement conjoint avec des boues activées sur LSPR** (cf. Figure 11)

Les matières de vidanges peuvent être mélangées avec des boues activées pour un traitement direct sur LSPR, **à condition** de bénéficier d'une dérogation préfectorale (cf. **article R211-**

29³ du code de l'environnement). Les 6 années de suivi pilote ont permis de valider cette stratégie, car :

- Les roseaux se développent et colonisent toute la surface du filtre,
- Les proportions du mélange permettent une charge hydraulique optimale,
- Le mélange ne diminue pas les performances de séchage obtenues pour les boues activées seules,
- La vitesse d'accumulation du dépôt reste du même ordre de grandeur ($\sim 12 \text{ cm.an}^{-1}$),
- La qualité de dépôt autorise la valorisation agricole (cf. Chapitre 7.1).

Au chapitre 5.1 sont présentées les proportions optimales à respecter pour la réalisation du mélange.

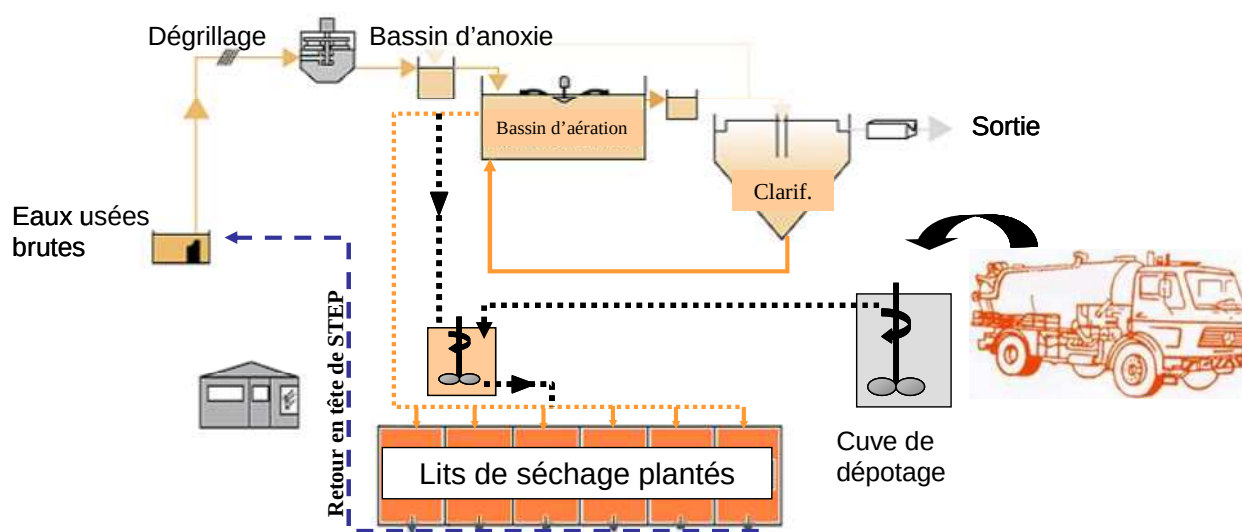


Figure 11 : traitement conjoint des MV avec les BA.

ii. Traitement direct sur LSPR (cf. Figure 12)

Les 6 années de suivi pilote ont permis de valider la faisabilité du traitement direct des matières de vidange sur LSPR, puisqu'il a été observé :

- Une colonisation homogène des roseaux sur toute la surface du filtre,
- De bonnes performances de déshydratation (siccités $> 20 \%$ toute l'année, pouvant dépasser 60% en été, cf. Figure 15),
- De faibles vitesses d'accumulation (c.-à-d. $< 10 \text{ cm.an}^{-1}$)
- Que la qualité du dépôt rend possible sa valorisation agricole (cf. Chapitre 7.1)

³ Le préfet peut autoriser le regroupement de boues dans des unités d'entreposage ou de traitement communs, lorsque la composition de ces déchets répond aux conditions prévues aux articles R. 211-38 à R. 211-45. Il peut également, sous les mêmes conditions, autoriser le mélange de boues et d'autres déchets, dès lors que l'objet de l'opération tend à **améliorer les caractéristiques agronomiques des boues à épandre.** (<http://www.legifrance.gouv.fr>)

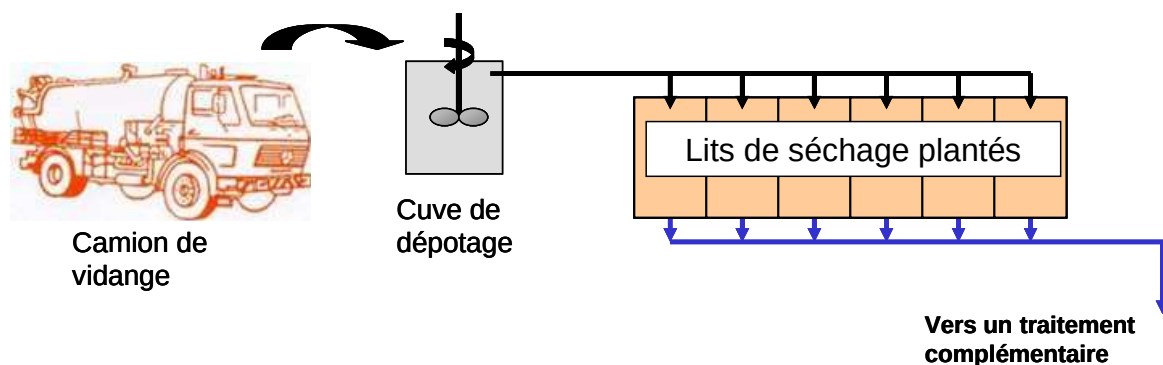


Figure 12 : traitement direct des MV sur LSPR

Pour cette stratégie, deux cas de figure sont envisageables.

S'il existe des STEU proches des zones de collecte d'ANC, il est possible de construire des LSPR pour le traitement des matières de vidange sur la STEU. Dans ce cas, les percolats produits par les lits peuvent être traités sur la station, à condition que leur retour en tête n'excède pas 20 % et 3 % du flux de DCO et du débit journaliers reçus respectivement par la STEU et dans la limite de sa capacité nominale de traitement.

S'il n'existe pas de STEU à proximité il est préférable de créer un site spécifique au traitement des matières de vidange équipé de LSPR. Dans ce cas un procédé de traitement complémentaire des percolats est nécessaire (cf. *Chapitre 5.1.2*).

Tableau 1 : Présentation des avantages et inconvénients de chacune des stratégies imaginées pour le traitement des matières de vidange

Stratégies	Avantages	Inconvénients
Traitement conjoint avec BA sur LSPR	- Allège la file eau de la STEU - Traitement possible des percolats par retour en tête de station - Valorisation agricole	- Nécessite une dérogation préfectorale - Flux de MV traitable dépend de la capacité de la STEU
Traitement direct sur LSPR	- Limite les flux de transport en zone rurale - Gestion des boues facilitée (c.-à-d. épandage direct) - Donne des solutions locales - Valorisation agricole	- Nécessite de concevoir un traitement complémentaire des percolats si ces derniers ne peuvent pas être pris en charge par une STEU existante

3.2 Caractérisation des boues

La qualité des boues est directement reliée à la qualité des ERU et au procédé de traitement dont elles sont issues.

3.2.1 Cas des boues activées

Les paramètres classiques utilisés pour décrire une ERU (c.-à-d. DCO, DBO, MES, NH_4^+ , etc.) sont également appliqués aux boues. Ces dernières sont néanmoins, le plus souvent, caractérisées par leur taux de matière sèche (MS), qui comporte une fraction organique et une fraction minérale. La matière organique est assimilée aux matières volatiles (Mat. Vol.). La

fraction matières volatiles/matières sèches (c.-à-d. % Mat. Vol./MS) dépend : de la filière de traitement des eaux usées (traitement physico-chimique, biologique aérobie ou anaérobie, etc.), de la stabilisation (aérobie, anaérobie, chimique, etc.), mais aussi des divers conditionnements mis en œuvre dans la filière boue (ajout de polymères, chaulage, chlorure ferrique, etc.). Ce paramètre donne une indication sur le degré de minéralisation de la boue qui a une incidence directe sur son comportement lors de son traitement. Le Tableau 2 synthétise la qualité de différents types de boues issue de la littérature et permet d'avoir une base de description de la composition d'une boue en fonction du traitement qu'elle a subi.

Tableau 2 : Composition de différents types de boue issues de l'assainissement collectif, selon la littérature

Paramètre	Boue physico-chimique	Boue stabilisée par digestion anaérobie	Boue de lagunage	Boue activée aération prolongée
MS (g.L ⁻¹)	20 – 60 ^c	15 – 20	60 – 120 ^c	2 – 6
Composition élémentaire (% masse/MS)				
Carbone	33 ^b	30 ^b	25 – 35	33 -40
Azote (total)	5 ^b	3 ^b	2 – 3	4 – 5
Phosphore	2,5 – 3 ^b	-	1,5 – 2,5 ^c	2 – 2,5
Hydrogène	4,4 ^b	4,9 ^b	-	5,2
Potassium	0,06 ^b	5 – 8 ^b	0,2 – 0,3 ^c	0,2 – 0,3 ^c (0,7) ^d
Calcium	12 ^b	20 – 25 ^b	5 – 15 ^c	5 – 15
Magnésium	0,4 ^b	-	0,4 – 0,8 ^c	0,4 – 0,8
Aluminium	1 – 5 ^b	-	0,1 – 0,3 ^c	0,1 – 0,3
Fer	8 ^b	38 – 62 ^b	1 – 3 ^c	1 – 3
Matière organique Mat. Vol. (% / MS)	60 – 71 ^b	50 – 60 ^b	45 – 60 ^c	60 – 80 ^{a, c}
Composition de la matière organique (% Mat. Vol.)				
Protéines	10 – 30 ^b	30 – 35 ^b	-	46 – 52 ^a
Polysaccharides	15 – 20 ^b	20 – 35 ^b	-	17 ^a – 25 ^b
Lipides	18 ^b	2 – 10 ^b	-	7 – 9 ^b
Substances humiques	-	-	-	18 – 23 ^a
Taille des particules (Moyenne ± Ecart-type)				
d ₁₀ (µm)				21 (±4) ^e
d ₅₀ (µm)				163 (±29) ^e

Références : ^a(Frølund *et al.*, 1996), ^b(Kaosol, 2007), ^c(Troesch, 2009), ^d(ADEME, 1996), ^e(Vincent, 2011)

Lors du traitement sur LSPR, outre un défaut de conception ou de gestion, il se peut que les mauvaises performances de traitement enregistrées pour les boues activées, soient liées à la composition de la matière organique en présence. En effet, peu d'étude sur les LSPR ont réellement relié la composition de la boue, notamment par rapport à sa biodégradabilité, aux performances observées. Or, la vitesse de minéralisation d'un produit et la demande en oxygène nécessaire, dépendent essentiellement de sa biodégradabilité. Ce dernier point introduit la nécessité de bien adapter à la qualité de la boue à traiter, la quantité de boue apportée sur les LSPR (c.-à-d. la charge surfacique annuelle reçue) d'une part, et la fréquence d'alimentation (surtout la durée du repos) d'autre part. Bien qu'il n'existe, à ce jour, aucune règle précise de dimensionnement de la charge acceptable sur des LSPR en fonction de la

biodégradabilité des boues, quelques études soulignent l'importance de ce facteur (*Nielsen, 2011*). Il sera donc nécessaire pour le concepteur et pour l'exploitant d'adapter le dimensionnement et la gestion fine des LSPR, respectivement, lors du traitement de boues présentant des caractéristiques hors gamme par rapport à celles des boues activées (cf. Tableau 2).

3.2.2 Cas des matières de vidange

L'opération de vidange des fosses toutes eaux consiste à extraire les boues et matières flottantes accumulées dans la fosse. Idéalement, les graisses prélevées dans les bacs dégraisseurs devraient être traitées à part, mais dans la pratique, elles sont bien souvent mélangées aux boues extraites de la fosse toutes eaux (*Liénard, 2004*). La qualité des matières de vidange dépend donc de la pratique de la vidange. Elle dépend également des conditions d'utilisation de la fosse, telles que le nombre d'habitants, l'utilisation du logement (c.-à-d. résidence principale ou secondaire), la fréquence de vidange. Le type de fosse (c.-à-d. fosses toutes eaux, septiques, étanches, Imhoff, etc.) influence également la qualité des matières de vidange. L'ensemble de ces considérations explique l'extrême variabilité de la qualité des matières de vidange (cf. Tableau 3).

Les valeurs à considérer pour le dimensionnement de LSPR traitant les matières de vidange sont indiquées dans la colonne grisée du Tableau 3 (relative aux fosses toutes eaux).

Outre la grande variabilité des matières de vidange le Tableau 3 montre qu'elles sont caractérisées par :

- une **importante fraction de fines particules** (diamètre < 63 µm) due à la digestion anaérobie qu'elles subissent qui favorise la dégradation des exopolymères responsables de la floculation et,
- **un aspect très septique** lié au traitement anaérobie,
- **une faible biodégradabilité** de la matière organique due aux années de traitement passées dans la fosse (quatre ans en moyenne) au cours desquelles toute la fraction facilement biodégradable a été consommée par la biomasse anaérobie. Par conséquent, il subsiste dans les matières de vidange une **fraction organique réfractaire** (*Liénard, 2004*) caractérisée par un talon dur en DCO de l'ordre de 1 à 2% de la DCO totale (FNDAE n°37).

Ces différentes caractéristiques peuvent paraître problématiques pour un traitement sur LSPR, notamment par rapport au colmatage du filtre, au développement des roseaux, ou encore par rapport au talon réfractaire pour le traitement des percolats. Malgré tout, à ce jour, plusieurs études (*Paing, 2005 ; Troesch 2009 ; Vincent 2011*) ont montré la faisabilité du traitement des matières de vidange sur LSPR. Les expérimentations menées sur les pilotes d'Andancette ont pu mettre en évidence la capacité d'adaptation des roseaux, que ce soit en période de démarrage ou en fonctionnement nominal sans observer de colmatage.

Tableau 3 : Composition des matières de vidange selon leur provenance

Références	(USEPA, 1999)	Liénard (2004)	Koottatep <i>et al.</i> (2005)	Vincent <i>et al.</i> (2011)	Canler (2010)
Origine	Fosse étanches, fosses septiques	Fosse étanches	Latrines, fosses septiques, fosses Imhoff	Fosse toutes eaux et fosses septiques	Fosse toutes eaux
Mesure	Min-Max	Médiane ($\pm$ ET)	Moy. (Min-Max)	Moy. ($\pm$ ET)	Moy. ($\pm$ ET)
Paramètres chimiques					
DCO (g.L ⁻¹)	1,5 – 703	15 ($\pm$ 29)	15,7 (1,1 – 76)	42 ($\pm$ 13)	30 ($\pm$ 13)
DBO ₅ (g.L ⁻¹)	0,4 – 79	3,7 ($\pm$ 6,4)	2,3 (0,6 – 5,5)	-	5,8 ($\pm$ 5)
MS (g.L ⁻¹)	1,1 – 131	17 ($\pm$ 26)	15 (2,2 – 67)	30 ($\pm$ 11)	35 ($\pm$ 26)
MES (g.L ⁻¹)	0,3 – 93	5,6 ($\pm$ 12)	13 (1 – 35)	23 ($\pm$ 7)	29 ($\pm$ 24)
Mat. Vol. en suspension (g.L ⁻¹)	0,1 – 52	70 % MES ($\pm$ 11 % MES)	9,3 (0,8 – 35)	68 % MES ($\pm$ 9 % MES)	65 % MES ($\pm$ 15 % MES)
Protéines (mg.L ⁻¹)	-	-	-	7 638 ($\pm$ 2 718)	-
Polysaccharides (mg GE.L ⁻¹)*	-	-	-	4 518 ($\pm$ 3 452)	-
Graisse (mg SEC.L ⁻¹)**	0,2 – 23	2,7 ($\pm$ 5,3)	-	5 746 ($\pm$ 1 076)	4 500 (-)
NK (mg.L ⁻¹)	66 – 1 060	1 032 ($\pm$ 579)	1 100 (226 – 4 880)	1 423 ($\pm$ 435)	885 ($\pm$ 470)
NH ₄ ⁺ (mg.L ⁻¹)	3 – 116	531 ($\pm$ 280)	-	287 ($\pm$ 76)	169 ($\pm$ 64)
PT (mg.L ⁻¹)	20 – 760	209 ($\pm$ 396)	-	517 ($\pm$ 438)	430 ($\pm$ 430)
Paramètres physico-chimiques					
pH	1,5 – 13	7,2 ($\pm$ 0,6)	7,5 (6,7 – 8,1)	7,2 ($\pm$ 0,4)	7 ($\pm$ 0,26)
Cond (μS.cm ⁻¹)	-	-	-	3 007 ($\pm$ 1 305)	2 630 ($\pm$ 860)
d ₁₀ (μm)	-	-	-	3,3 ($\pm$ 0,2)	-
d ₅₀ (μm)	-	-	-	71 ($\pm$ 10)	-

* mg GE = mg de glucose équivalent, ** mg SEC = mg de substances extractibles au chloroforme

4 Dimensionnement

Avant de présenter les différentes étapes de dimensionnement des LSPR, il est important de rappeler les points clés qui participent au choix de la filière de traitement des boues. Bien sûr, pour chaque point, les considérations économiques (coût d'investissement, coût d'exploitation) sont à étudier pour orienter ce choix. La Figure 13 résume les différents points à considérer pour un traitement des boues sur LSPR.

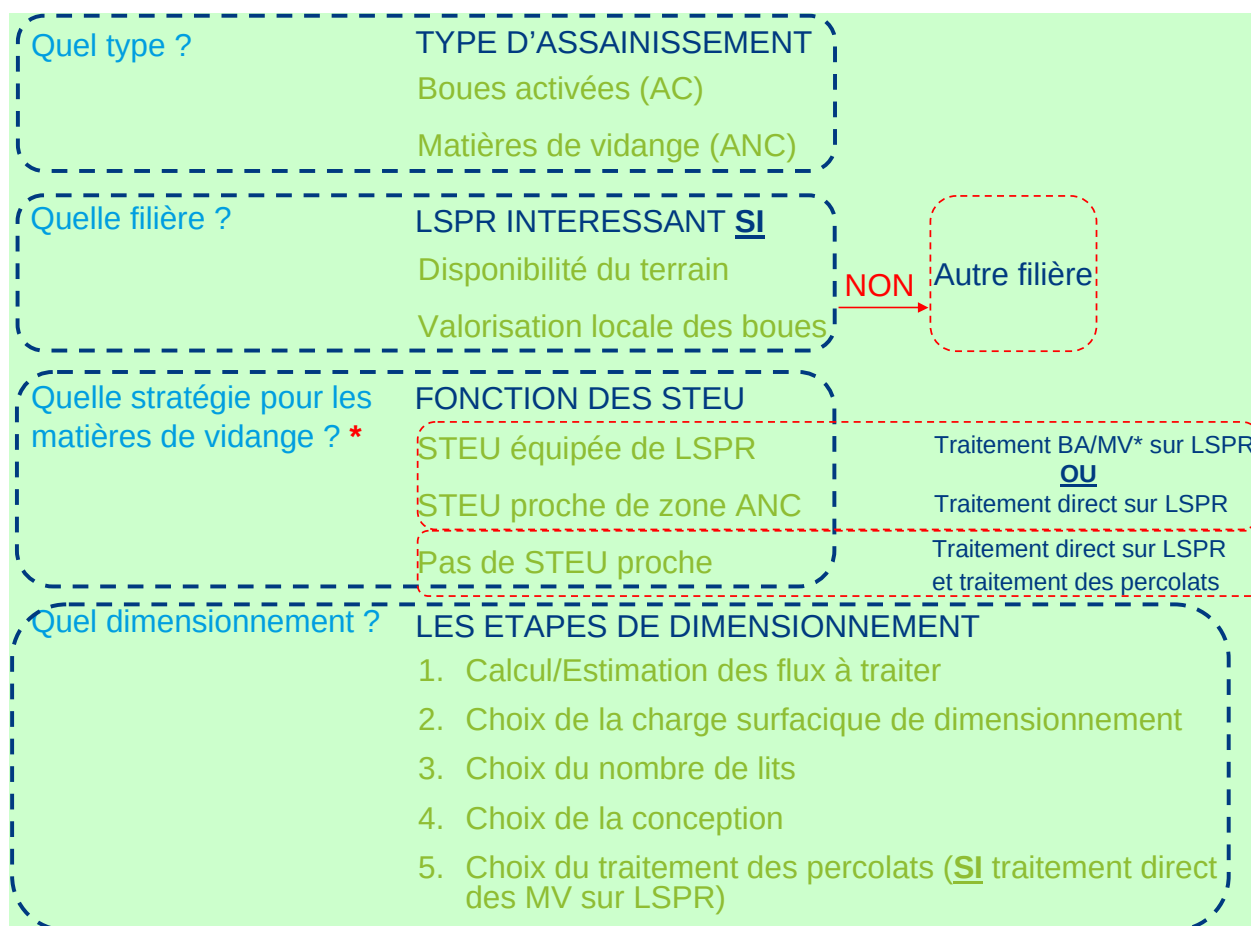


Figure 13 : Schéma résumant les différents points à considérer en amont du dimensionnement (encadré pointillé bleu) et lors du dimensionnement de LSPR (Légende : BA = Boues Activées, MV = Matières de vidange, BA/MV = mélange boues activées et matières de vidange)

Le dimensionnement d'une installation LSPR se réalise en trois étapes :

- Le calcul/estimation de la *production annuelle de boues à traiter* (en kg MS.an⁻¹ ou kg MES.an⁻¹ pour les boues activées et matières de vidange respectivement, cf. note p32),
- Le choix de la *charge surfacique annuelle* appliquée sur les lits, en fonctionnement nominal (en kg MS.m⁻²an⁻¹ pour les boues activées et en kg MES.m⁻²an⁻¹ pour les matières de vidange). Cette charge surfacique de dimensionnement définit donc la surface totale de filtration de l'installation,
- Le choix du *nombre de lits* à mettre en place qui correspond à la division de la surface totale, préalablement définie, en plusieurs unités de traitement.

Chacune de ces étapes fait l'objet d'un paragraphe ci-après.

Notons que les prescriptions de dimensionnement et de conception données dans la suite du document visent à garantir des siccités au curage supérieures ou égales à 25 % pour les boues activées et 35 % pour les MV. Des dimensionnements différents visant à obtenir des siccités inférieures entraîneront des surcoûts d'exploitation liés à des temps de stockage moindres et une moins bonne aptitude des boues à l'épandage agricole. Ceci réduirait significativement l'intérêt du choix de cette filière de déshydratation.

4.1 Production annuelle de boue

4.1.1 Cas des boues activées

La première étape est d'évaluer la production de boue annuelle de la station à sa charge nominale. Il arrive parfois que cette dernière ou encore son mode de calcul, ne soient pas clairement indiqués dans le dossier de suivi de la station. Dans ce cas, une formule connue sous le nom de « *formule du binôme* » développée empiriquement par les praticiens du traitement de l'eau permet d'estimer la production de boue à partir de la charge journalière – en DBO et MES – admise sur la station et du rendement moyen (Duchène, 1999).

$$\Delta S = k \times [(DBO + MES) / 2]$$

Où :

ΔS = la quantité journalière de boue biologique produite (kg MES produite/kg DBO éliminée)

k = paramètre d'ajustement tenant compte de la qualité de l'ERU (c.-à-d. réseaux séparatifs ou unitaires) et du type de traitement biologique (cf. Tableau 4)

Sa formule simplifiée est couramment utilisée (Duchène, 1999) : $\Delta S = 0,84 \times DBO$ où 0,84 représente la constante souvent retenue pour estimer la production de boues d'un traitement biologique type boues activées en aération prolongée alimenté par un réseau séparatif. Cette valeur reste néanmoins dépendante de la configuration du réseau (c.-à-d. réseau séparatif ou unitaire Tableau 4).

Tableau 4 : Quelques exemples de facteurs k calculés pour différentes STEU équipées d'un traitement biologique à boues activées (Duchène, 1999)

Type de station boues activées	Facteur k
Aération prolongée (réseau unitaire)	1,02
Aération prolongée (réseau séparatif)	0,84
Moyenne charge sans stabilisation	1,10
Moyenne charge avec stabilisation aérobie	1,03
Moyenne charge avec stabilisation anaérobie	0,84
Déphosphatation physico-chimique	1,1-1,3
Chaulage (stockage long terme)	1,3

Notons par ailleurs, que la valeur retenue pour la surproduction de boue liée à la déphosphatation physico-chimique surestime sûrement la production de boue. En effet, en 1999, l'estimation de la charge journalière en phosphore reçue par Equivalent Habitant s'élevait à 4 g P.EH⁻¹.j⁻¹ (Deronzier et Choubert, 2004), tandis que de récentes recherches montrent qu'elle est plus proche de 2,1 g P.EH⁻¹.j⁻¹ pour l'ensemble des stations françaises (Stricker et Hédut, 2010). Par conséquent, la surproduction de boue engendrée par la déphosphatation physico-chimique est plus proche de 10 % plutôt que des 20 % anciennement annoncés.

4.1.2 Cas des matières de vidange

Le taux de production des matières de vidange quant à lui, est plus délicat à estimer puisqu'il dépend des conditions d'utilisation (c.-à-d. nombre d'usagers, consommation d'eau, niveau de vie, habitat permanent ou temporaire, type de fosse, fréquence de curage, etc.). Ces paramètres influencent notamment la vitesse de stabilisation des boues (Liénard *et al.*, 2008a). Il est admis que le volume des boues accumulées au sein de la fosse se réduit dans le temps (cf. Figure 14).

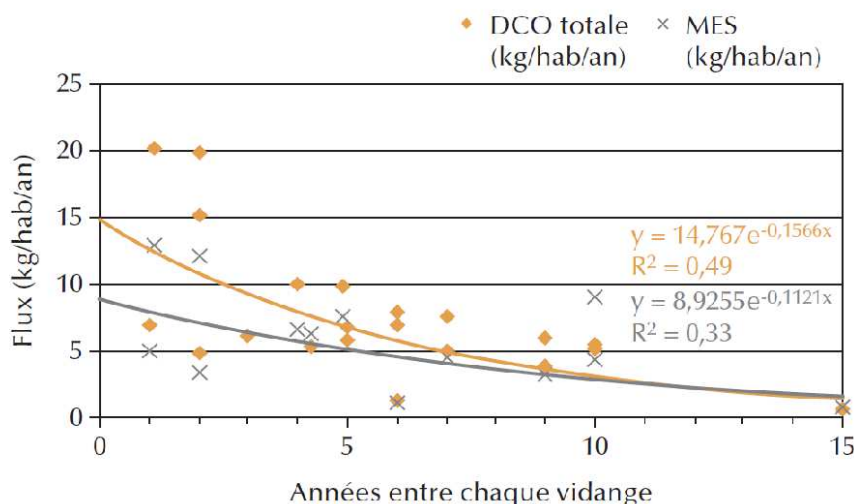


Figure 14 : Exemple de décroissance des flux de DCO et de MES extraits des fosses toutes eaux en fonction du temps de séjour des matières de vidange dans la fosse (issue de Liénard *et al.* (2008a))

En ANC, les chiffres de production de boue retenus et validés sur le terrain en Indre et Loire (Canler, 2010), sont de l'ordre de :

- **6 kg de MES** par personne et par an,
- **0,2 à 0,3 L** par personne et par jour, soit 300 à 450 L par an pour un foyer de quatre personnes.

Néanmoins, compte tenu de la variabilité des types de fosses (fosses toutes eaux, fosses septiques, fosses étanches ...) et des pratiques des vidangeurs, ces estimations méritent d'être ajustées, pour chaque zone de collecte, à l'aide des données récupérées auprès des communes et/ou SPANC et des vidangeurs locaux. Cela permettra d'affiner la production de boues et de définir le lissage des flux qu'il sera nécessaire de mettre en place.

4.2 Charges surfaciques de dimensionnement et nombre de lits

Si la charge nominale des lits se calcule à partir de la production annuelle de boue de la station en fonctionnement nominal, rappelons que cette dernière ne peut être appliquée dès la mise en route des lits. Une période de démarrage, caractérisée par une montée en charge progressive, est indispensable à la survie des roseaux afin d'obtenir une colonisation optimale, c'est-à-dire une densité de tiges/m² aussi élevée que possible. La particularité de la phase de démarrage sera discutée au *chapitre 6.1.2* relatif à la gestion du système.

La charge de dimensionnement des lits est fonction du type de boue et du nombre de lits. A l'heure actuelle, aucune distinction n'est faite sur l'impact du climat sur le dimensionnement, aussi seule la différence liée à la nature des boues (boues activées, matières de vidange) sera abordée.

4.2.1 Cas des boues activées

Plusieurs études (taille réelle et pilote) ont permis d'ajuster la charge en fonction du nombre de lits mis en place. Les conclusions révèlent que :

- Des charges de **70 kg MS.m⁻².an⁻¹** provoquent des **surcharges** ne permettant pas d'atteindre des siccités supérieures à 15 % au curage (Nielsen, 2005 ; Vincent, 2011) en raison d'un fonctionnement en anaérobie,
- Des installations équipées de **4 à 6 lits chargés à 45-60 kg MS.m⁻².an⁻¹** sont sujettes à des **dysfonctionnements** (mauvais séchage, faible densité de roseaux, mauvaises odeurs, faible minéralisation, etc.) entraînant une augmentation rapide de la hauteur du dépôt, obligeant un rapprochement des opérations de curage et aboutissant à une **augmentation du coût de fonctionnement** (Lesavre et Iwema, 2002 ; Nielsen *et al.*, 2004).

La charge et le nombre de lits sont à adapter à la capacité de traitement de l'installation (Nielsen, 2003). Au Danemark, pour le traitement de boues de digesteur (digestion mésophile), Nielsen (2003) préconise un nombre de lits minimum à respecter en fonction du tonnage de boue traitée, par exemple :

- < 500 t MS.an⁻¹ il préconise 8 lits,
- 500 – 1 000 t MS.an⁻¹ il recommande 10 lits,
- > 1 000 t MS.an⁻¹ il conseille 12 à 14 lits.

Au vu de ces considérations, des observations de terrain en France et au Danemark ainsi que des résultats obtenus sur pilotes, le Tableau 5 présente le nombre de lits et la charge surfacique de dimensionnement en fonction de la capacité de traitement de la STEU et du mode de construction choisi (*cf. Encadré*).

Tableau 5 : Choix de la charge surfacique de dimensionnement et du nombre de lits à mettre en place pour le traitement des boues activées en fonction de la capacité de la STEU sur laquelle sont installés les LSPR

Capacité de la STEU (EH)	Charge surfacique de dimensionnement (en kg MS.m ⁻² .an ⁻¹)		
	Mode constructif *		
	30 CB ou DR	40 CB ou DR	50 DR
≤ 2 000	4 lits	6 lits	8 lits (<i>faible intérêt économique</i>)
2 000 – 10 000	<i>Peu adapté</i>	6 lits (<i>gestion délicate</i>)	8 lits
10 000 – 20 000	<i>Peu adapté</i>	<i>Peu adapté</i>	8 lits
≥ 20 000	<i>Peu adapté</i>	<i>Peu adapté</i>	≥ 10 lits

* CB = Casier Béton, DR = Déblai-Remblai

D'une manière générale, l'augmentation de la charge surfacique ou de la capacité nécessite un nombre de lits plus important pour avoir une meilleure souplesse de gestion et garantir des niveaux de siccités corrects. Certaines configurations n'apparaissent pas adaptées :

- Un dimensionnement à 30 kg pour de grosses stations nécessite des surfaces importantes dont l'intérêt économique est limité.
- Un dimensionnement à 50 kg à 8 lits pour des stations de moins de 2000 EH engendre un surcout économique (compartimentation des lits) dont l'intérêt n'est pas évident.

- Dans le cas des STEU de capacités de traitement comprises entre 2 000 et 10 000 EH, il faut privilégier les LSPR constitués de 8 lits ; la solution à 6 lits dimensionnés à $40 \text{ kg MS.m}^{-2}.\text{an}^{-1}$ fait l'objet de réserves concernant la gestion.

Note sur le mode constructif :

Initialement, Liénard et al. (2008b) prévoyait de différencier le calcul de la surface de dimensionnement en fonction de mode constructif des lits (c.-à-d. casier béton⁴ ou déblai-remblai⁵). Ce raisonnement se basait sur le bénéfice des bords inclinés, en déblai-remblai, qui permettent l'augmentation de la surface de filtration au fur et à mesure de l'accumulation de la boue. Aujourd'hui, on préfère recommander un dimensionnement par rapport à la **surface initiale du massif filtrant** quel que soit le mode constructif (cf. Chapitre 5.2.1), tout en donnant des limites de charges surfaciques à ne pas dépasser, au curage notamment, pour chacun :

- **Casier béton charge maximum au curage $50 \text{ kg MS.m}^{-2}.\text{an}^{-1}$,**
- **Déblai-remblai charge maximum au curage $60 \text{ kg MS.m}^{-2}.\text{an}^{-1}$.**

Les avantages et inconvénients de chacun des modes constructifs seront discutés plus en détail au chapitre 5.2.1.

Il est à noter que pour la mise en œuvre d'un mélange boues activées et matières de vidange, les modalités de dimensionnement spécifiques aux boues activées seules sont à appliquer.

4.2.2 Cas des matières de vidange

Le traitement des matières de vidange issues des fosses toutes eaux – plus concentrées ($\sim 30 \text{ g MES.L}^{-1}$) et moins organiques que des boues activées (cf. Chapitre 3.2) – nécessite d'adapter le dimensionnement établi pour le traitement des boues activées. Cette adaptation concerne la **charge surfacique de dimensionnement**, d'une part et le **nombre de lits**, d'autre part.

Dans le cas des matières de vidange, il est préconisé d'utiliser la concentration en MES plutôt que celle des MS pour le calcul de la charge surfacique de dimensionnement des LSPR (cf. encadré).

Note sur les MES et MS :

Dans la fosse toutes eaux, les processus de minéralisation anaérobie subis par l'effluent domestique génèrent des quantités importantes de sels dissous (l'azote Kjeldahl est composé à 80 % de NH_4^+ et 97% du phosphore total est sous forme de PO_4^{3-} , (Liénard, 2004)). De ce fait, les matières de vidange extraites des fosses contiennent des taux de sels dissous (conductivité $\sim 2\,600 \text{ }\mu\text{S.cm}^{-1}$) plus importants que dans le cas des boues activées, responsables de la différence entre MS et MES.

Or dans les LSPR, seule les MES sont retenues à la surface du filtre tandis que les sels dissous sont évacués avec le percolat.

Au vu des importantes performances de déshydratation (Figure 15) enregistrées sur les pilotes traitant les matières de vidange, on recommande une **charge de dimensionnement de $50 \text{ kg MES.m}^{-2}.\text{an}^{-1}$** . Cette dernière pourra être augmentée jusqu'à **une charge équivalente de $70 \text{ kg MES.m}^{-2}.\text{an}^{-1}$ en été** uniquement (ce qui correspond à un apport mensuel de $4,1 \text{ kg MES.m}^{-2}$ de octobre à mai et qui passe à $5,8 \text{ kg MES.m}^{-2}$ de juin à septembre).

⁴ Surface de dimensionnement = surface de la couche superficielle de filtration

⁵ Surface de dimensionnement = surface à 0.5 m au-dessus de la couche superficielle de filtration

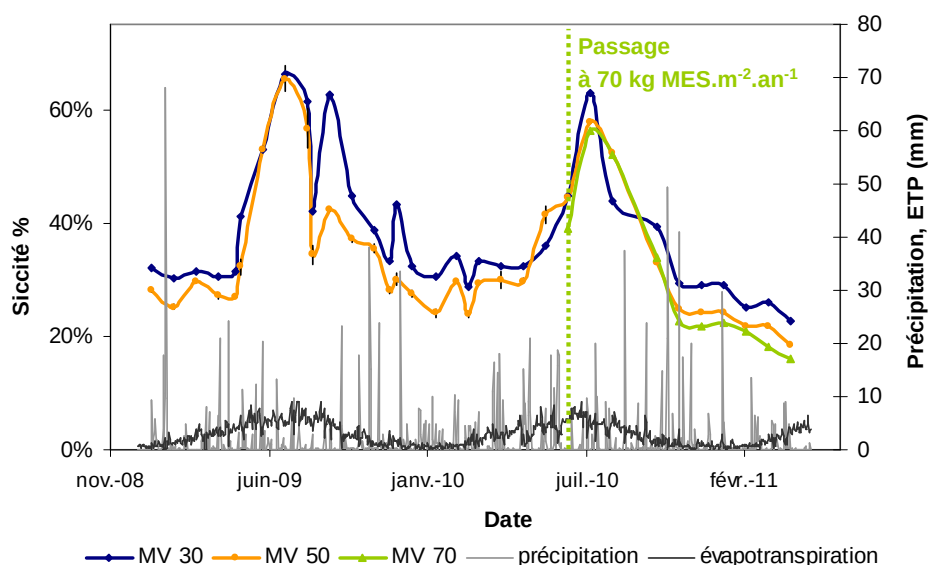


Figure 15 : Evolution de la siccité mesurée sur les pilotes de 2 m² alimentés par des matières de vidange (MV) à différentes charges (c.-à-d. 30, 50 et 70 kg MES.m⁻².an⁻¹), à Andancette (Drôme, 26)

Compte tenu des faibles charges hydrauliques reçues par les lits, des installations comportant entre 4 et 6 lits semblent plus appropriées pour limiter le stress hydrique des roseaux induit par les importantes performances de déshydratation en période estivale (cf. Chapitre 2.3.2). Actuellement, on recommande la mise en place de **6 lits chargés à 50 kg MES.m⁻².an⁻¹**. Toutefois, deux précisions peuvent être réalisées :

- Compte tenu des conditions climatiques rencontrées **dans les DOM**, un dimensionnement à **70 kg MES.m⁻².an⁻¹** y est possible.
- Dans le cas où l'analyse des matières de vidange montre des concentrations largement inférieures à celles mentionnées au Tableau 3, un nombre de lits plus important sera mis en place.

Tableau 6 : Choix de la charge et du nombre de lits à mettre en place en fonction du volume de matière de vidange à traiter

Nb de fosses toutes eaux	t MES traitées	Charge surfacique de dimensionnement (en kg MES.m ⁻² .an ⁻¹)		
		40	50	70
				<i>Cas particulier des DOM</i>
≤ 220	≤ 20	4 lits	6 lits (<i>intérêt économique limité</i>)	6 lits (<i>intérêt économique limité</i>)
220 – 1 100	20 – 100	<i>Peu adapté</i>	6 lits	6 lits
≥ 1 100	≥ 100	<i>Peu adapté</i>	≥ 6 lits	≥ 6 lits

4.3 Nombre d'unités

Sur les LSPR, l'essentiel du traitement s'effectue pendant la période de repos qui doit être suffisamment longue pour assurer le séchage et la minéralisation des boues apportées. Rappelons que le nombre de lits mis en place est le paramètre essentiel du dimensionnement. Il définit le ratio entre le nombre de jour d'alimentation et le nombre de jour de repos⁶.

A ce jour, l'état des connaissances acquises sur les LSPR tend à favoriser l'augmentation du nombre de lits, pour plusieurs raisons :

- A charge surfacique égale un nombre de lits plus important permet d'augmenter la minéralisation et donc de réduire le volume de boue stockée, allonger la période de fonctionnement (avant curage) et donc de diminuer les coûts d'exploitation (Figure 16),
- Le nombre de lits conditionne le déroulement de l'opération de curage et donc le coût d'exploitation ; les lits peuvent être curés un par un ou deux par deux (**seulement pour les installations comportant plus de 8 lits, cf. paragraphe 7.3 sur le curage**),
- Un nombre de lits important permet de lisser la surcharge occasionnée par le curage d'un ou plusieurs lits sur les autres lits.

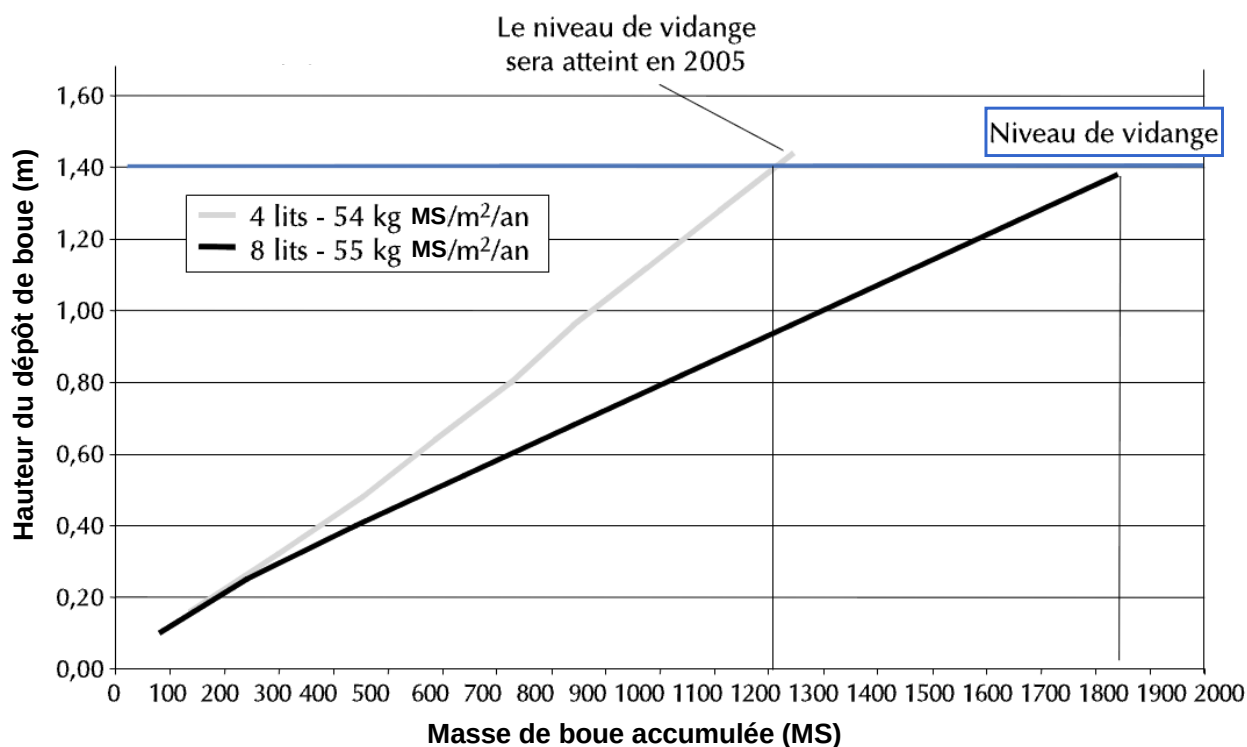


Figure 16 : Evolution de la hauteur de boue accumulée en fonction des tonnes de MS reçues pour des installations équipées de 4 et 8 lits (Nielsen, 2005)

Ces considérations révèlent donc une plus grande souplesse dans la gestion induite par l'augmentation du nombre de lits. Plus le nombre de lits de l'installation sera important, plus il sera aisé de lisser les surcharges occasionnées par d'éventuelles mise au repos particulière de lits pour palier des dysfonctionnements. Dans le cas contraire, il se peut que les dysfonctionnements observés sur un lit se répercutent sur les autres, conduisant à un curage

⁶ Lorsqu'un lit est alimenté les autres sont au repos

prématuré de l'ensemble des lits (boues liquides à pâteuses) avec modification de la couche de filtration si nécessaire et replantation des roseaux (opération très coûteuse, *Nielsen, 2005*).

5 Conception

5.1 Stratégies de traitement

5.1.1 Cas des boues activées

i. Extraction des boues

Dans cette configuration l'extraction des boues vers les LSPR **doit se faire depuis le bassin d'aération**, de préférence à la fin d'une séquence d'aération. Ainsi les boues apportées sur les lits sont (Liénard, 1999) :

- plus homogènes
- représentatives du taux de boues dans la STEU.

Cette pratique est la seule permettant une estimation précise des flux envoyés sur les lits. L'extraction de boues de recirculation ne permet pas de contrôler les flux envoyés sur les lits et peut conduire à des surcharges ponctuelles néfastes au fonctionnement des lits. Le contrôle des charges est indispensable.

ii. Alimentation des lits

Au chapitre 2.3.1, l'influence de la charge hydraulique sur le drainage a été exposée. Les résultats des recherches montrent que la charge hydraulique optimale est comprise entre **15 et 30 cm par bâchée** (cf. Figure 5). Sur les LSPR, la charge apportée est calculée en flux massique ($\text{kg MS.m}^{-2}.\text{an}^{-1}$), par conséquent la hauteur de la lame d'eau dépend directement de la concentration de la boue (et donc du taux de charge de la STEU). Ainsi on distingue deux types d'apport de bâchées d'alimentation en fonction de la concentration de la boue :

- **une bâchée par jour** (si la charge hydraulique $< 30 \text{ cm/bâchée}$),
- **2 bâchées par jour** (si la charge hydraulique $> 30 \text{ cm/bâchée}$). Notons que ce cas peut être rencontré lors d'une sous-charge de la station entraînant une baisse du taux de boue dans le bassin d'aération (des concentrations de 2 à 3 g de MS.L^{-1} sont alors observées⁷).

iii. Traitement des percolats

Comme pour tout procédé de réduction de volume de boue, le traitement des boues activées sur LSPR produit des percolats. Ces percolats sont traités sur la STEU par retour en tête de station. Cette pratique ne présente aucun risque pour le fonctionnement général de la station, puisque les percolats sont peu chargés et non septiques. Le Tableau 7 présente les concentrations et efficacités de filtration obtenues sur les pilotes de l'installation expérimentale d'Andancette. Ils présentent des concentrations plus importantes que sur des tailles réelles compte tenu des effets de bords plus conséquents sur de petites surfaces (2 m^2 dans ce cas). Des mesures réalisées sur les LSPR (taille réelle, chargés à $50 \text{ kg MS.m}^{-2}.\text{an}^{-1}$, hauteur de dépôt de boue $\sim 40 \text{ cm}$) d'Andancette indiquent des concentrations de l'ordre de 9

⁷ En cas de sous-charge chronique, il est en effet dispendieux de maintenir un taux de boue élevé car la CM [charge massique] serait trop faible (dysfonctionnements biologiques possibles) et les besoins d'oxygène pour la respiration endogène trop élevés.

et 45 mg.L⁻¹ pour les MES et la DCO respectivement (correspondant à des efficacités [ou taux de capture] de l'ordre de 100 et 98 % pour les MES et la DCO, respectivement).

Tableau 7 : Qualité des percolats obtenue au nominal pour le traitement des boues activées sur pilotes de 2 m² d'Andancette, en fin de période d'alimentation

Charge Nominale	30 kg MS.m ⁻² .an ⁻¹			50 kg MS.m ⁻² .an ⁻¹			70 kg MS.m ⁻² .an ⁻¹		
	Moy.	ET	Eff. (%)	Moy.	ET	Eff. (%)	Moy.	ET	Eff. (%)
MES (mg.L ⁻¹)	136,0	246,4	93,3	130,7	572,0	96,3	65,9	71,4	93,8
DCO (mg.L ⁻¹)	161,1	138,5	91,1	97,7	51,9	95,4	110,6	54,6	94,5
NH ₄ ⁺ (mg.L ⁻¹)	1,3	3,1	62,7	5,1	8,8	64,0	4,2	5,1	45,4
NO ₃ ⁻ (mg.L ⁻¹)	20,7	20,7	-	12,0	13,1	-	9,4	9,9	-

Par ailleurs, l'estimation des flux de polluants apportés par le retour en tête des percolats, réalisée en période de démarrage – période où les percolats sont les plus chargés –, révèle leur faible impact par rapport au flux entrant sur la station (Tableau 8).

Tableau 8 : Estimation de la proportion des flux de polluants en sortie des lits par rapport au flux entrant sur la station (hypothèse d'une STEU de 10000 EH à charge nominale avec 8 lits)

	DCO	MES	NK	PT
Flux apporté par le retour en tête des percolats	1 %	2,5 %	3 %	10 %

5.1.2 Cas des matières de vidange

Comme énoncé précédemment, le traitement des matières de vidange peut être réalisé selon deux stratégies :

- **Traitement sur une STEU** équipée de LSPR de manière à traiter conjointement par ce procédé, des matières de vidange et les boues produites par la file eau. En comparaison avec un traitement complet des MV par dépotage en tête de station, cette solution réduit les surcharges à traiter par la filière eau.
- **Traitement direct sur LSPR** qui revient à la création d'un site spécifique au traitement des matières de vidange, et éventuellement d'une unité spécifique de traitement des percolats dans le cas où aucune STEU existante ne pourrait les traiter.

i. Réception et stockage

Quelle que soit la stratégie choisie, différentes préconisations techniques relatives à l'organisation du site de traitement des matières de vidange sont à respecter. Ces points étant bien développés dans le document FNDAE N°30 (Liénard et al., 2004), seuls les éléments clés sont répertoriés dans ce guide. Une installation de traitement des matières de vidange doit être pourvue de :

- Une **aire de dépotage** pour les matières de vidange qui assure (Cf. Figure 17) :
 - Le *contrôle de l'accès* aux ouvrages de dépotage par enregistrement des vidangeurs et des volumes dépotés,
 - Leur *réception* et le *contrôle* de leur qualité *via* la mise en place d'une cuve de dépotage (possibilité d'échantillonnage et de contrôle visuel),

- Leur *prétraitement*, visant l'élimination des éléments grossiers et ainsi la protection des installations en aval (c'est-à-dire pompes et canalisations) : en fonction de la capacité de traitement de l'installation (cf. FNDAE N°30), à minima un piège à cailloux/dégrilleur d'entrefers de 10 mm mais suffisamment large (env. 1 m de passage) pour ne pas perturber la vidange sous-pression du camion vidangeur ou broyeur (attention aux coûts d'exploitation) pour les grosses installations.
- Une **cuve de stockage** (Cf. Figure 18) équipée de :
 - Un *agitateur* suffisamment puissant ($\geq 50 \text{ W.m}^{-3}$) dont le démarrage peut être programmé au minimum 15 min avant le début du pompage des matières de vidange,
 - Un *traitement des odeurs* pour éviter le dégagement de mauvaises odeurs (hydro-éjecteur pour maintenir des conditions aérobies, bâche et filtre à charbon actif ...). Cela permet d'éviter les odeurs sur ce poste mais également lors de l'alimentation des lits.



Station d'Esparron (Crédit photo : Epur Nature)



Station de Nègrepelisse (Crédit photo : Communauté de Communes Terrasses et Vallée de l'Aveyron)

Figure 17 : Aire de dépotage de station traitant des matières de vidange



(Crédit photo : Communauté de Communes Terrasses et Vallée de l'Aveyron)



(Crédit photo : Irstea)

Figure 18 : photos de la cuve de stockage (6 jours) avec agitateur et hydroéjecteurs de la station de Nègrepelisse (11 000 m³/an)

Le volume de la cuve de stockage doit être suffisamment important pour pouvoir lisser les flux reçus sur le site en période de pointe ; 2 à 6 jours de stockage permettent, d'une part, de lisser les flux de matières de vidange déposés par les vidangeurs et, d'autre part, d'assurer l'alimentation régulière des LSPR.

Pour de petites installations (environ 20 t MES traitées), il est possible de prévoir une fosse de dépotage et stockage simultanée. Dans ces conditions, la fosse de dépotage est dimensionnée pour ne contenir que le seul volume d'un dépotage de manière à pouvoir refuser les matières de vidange non conformes. Ceci impose de gérer des approvisionnements réguliers avec les vidangeurs et ainsi assurer l'alimentation optimale des LSPR.

ii. Alimentation des lits

Cas du traitement sur STEU par mélange aux boues activées

Les essais conduits sur le choix du ratio volumique pour un traitement conjoint des matières de vidange et des boues activées ont montré que pour des boues activées et des matières de vidange présentant des concentrations en MES entre **2 et 6 g.L⁻¹** et entre **25 et 30 g.L⁻¹** respectivement, le **taux volumique de matières de vidange** à appliquer est de **20 %** (c.-à-d. 1 volume de matière de vidange pour 4 volumes de boues activées) (Troesch, 2009). Notons que **le mélange des deux boues doit impérativement être réalisé avant l'alimentation des lits**. Le choix du dispositif de mélange (réalisation d'une cuve de mélange, mélange dans la canalisation, etc.) est à la charge du constructeur.

Avec ces proportions, le dimensionnement et la gestion des lits seront réalisés comme le cas du traitement de boues activées seules. Aussi, les préconisations de charge émises (cf. chapitre 4.2.1) pour ces dernières sont directement transposables au mélange.

Cas du traitement direct sur LSPR

Les matières de vidange sont pompées de la cuve de stockage vers les LSPR. Lors de la conception du site et de sa gestion, toutes les dispositions doivent être prises pour éviter toute nuisance olfactive. Les odeurs peuvent venir de la fosse de stockage et apparaître lors de l'alimentation des lits (stripping) si les boues sont stockées dans un milieu anaérobie. Aussi,

un système de stripping au niveau de la bêche de stockage, avec traitement de l'air vicié, est préférable.

iii. Traitement des percolats

Cas du traitement sur STEU par mélange aux boues activées

A l'instar de ce qui se fait pour le traitement des boues activées, les percolats produits lors du traitement du mélange matières de vidange/boues activées sont renvoyés en tête de la STEU. Si les abattements enregistrés lors du traitement du mélange sont supérieurs à 90 % pour l'ensemble des paramètres, il reste néanmoins important de noter que les percolats sont plus chargés (MES pouvant atteindre 500 mg.L⁻¹ en début de cycle sur des systèmes jeunes) par rapport à ceux obtenus avec des boues activées seules. Toutefois, le flux de polluants induit par le retour en tête n'est pas susceptible d'affecter le fonctionnement de la station. Par exemple, pour les MES, il représente environ 10 % du flux entrant sur la STEU.

Cas du traitement direct sur LSPR

La création d'un site spécifique pour le traitement des matières de vidange impose de prévoir un dispositif de traitement des percolats. En effet, malgré des abattements supérieurs à 80 %, pour l'ensemble des paramètres, les percolats restent encore très chargés (Tableau 9). Rappelons, toutefois, que les valeurs affichées dans le Tableau 9 sont issues d'expérimentation pilotes, échelle favorisant l'établissement de passages préférentiels lors des alimentations (c.-à-d. courts-circuits). Il est alors fort probable, de surcroît une fois la couche de dépôt bien établie, que les percolats soient moins chargés sur une installation en taille réelle. Ils devront néanmoins subir un traitement complémentaire pour pouvoir être rejetés dans le milieu naturel. On notera que les volumes de percolats sont moindres que ceux des bâchées d'alimentation. Une perte de 40 à 80 % d'eau est à attendre suivant la saison et le jour d'alimentation dans le cycle (évapotranspiration, réhumectation).

Tableau 9 : Qualité des percolats obtenue au nominal lors du traitement des matières de vidange sur des pilotes de 2 m²

Charge Nominale	30 kg MES.m ⁻² .an ⁻¹			50 kg MES.m ⁻² .an ⁻¹			70 kg MES.m ⁻² .an ⁻¹		
	Moy.	ET	Eff. (%)	Moy.	ET	Eff. (%)	Moy.	ET	Eff. (%)
MES (mg.L ⁻¹)	2 907	4 157	93,7	3 394	3 208	84,3	3 572	3 900	91,8
DCO (mg.L ⁻¹)	4 093	5 671	91,5	7 391	3 881	83,4	4 440	3 347	91,2
NH ₄ ⁺ (mg.L ⁻¹)	20,4	22,6	92,6	44,9	38,1	85,8	62,4	59,8	80,6
NO ₃ ⁻ (mg.L ⁻¹)	333,8	426,6	-	286,8	335,8	-	226,5	212,1	-

Note sur l'amélioration de la qualité des percolats

Une recirculation des percolats sur les lits au repos est une alternative intéressante pour améliorer la qualité des percolats. Sur la base des essais réalisés sur les pilotes d'Andancette, il est possible d'atteindre des rendements supérieurs à 80 % et 40 % pour les MES et les NH_4^+ respectivement, sans qu'aucun colmatage se soit enregistré, avec un taux de recirculation du percolat de 100 à 200 % (Vincent, 2011). Ces premiers résultats sont encourageants, d'autant plus que la recirculation des percolats présente d'autres avantages que l'amélioration des performances de traitement, à savoir :

- La **limitation du stress hydrique** des roseaux en été,
- La possibilité d'atteindre **le zéro rejet en été** grâce à l'évapotranspiration des roseaux.

Cependant, il est possible que la recirculation induise des dysfonctionnements en hiver. Cette période est donc à surveiller (ressuyage), et si les dysfonctionnements persistent il est préférable d'arrêter la recirculation pour éviter tout risque de colmatage.

En termes de conception, la mise en place du dispositif de recirculation impose l'installation d'une bache de récupération des percolats – pour les stocker avant de les renvoyer sur le lit au repos – ou encore un dispositif d'alimentation secondaire dédié à la recirculation.

Si la recirculation améliore la qualité des percolats, en l'état des connaissances actuelles, elle ne peut garantir, à elle seule, des niveaux de traitement aérobie poussés (125 mg/l en DCO, 15 mg/l en NK). Un traitement complémentaire des percolats est donc à prévoir (de type FPR deuxième étage, retour en tête des percolats sur une STEU environnante).



Figure 19 : Schéma fonctionnel de l'unité de traitement des matières de vidange de Nègrepellisse (82, 11 000 m³/an). Schéma Epur nature.

5.2 Configuration des lits

5.2.1 Choix du mode constructif

Le mode constructif (casiers béton, déblai-remblai, mixte) (*cf. figure 20*) dépend très souvent de critères de place ou de coût.



a) LSPR d'Andancette (13 000 EH, 26) en déblais remblais (hiver). photo Irstea



b) LSPR de Saint Paulien (1 900 EH, 43) en casiers béton (hiver). photo CG 43

Figure 20 : mode constructif en a) déblais remblais, b) casier béton

Chacune de ces configurations présente des avantages et inconvénients (Tableau 10), notamment par rapport au coût d'investissement ou encore par rapport au déroulement de l'opération de curage.

Tableau 10 : Inventaire des avantages et inconvénients des deux types de construction (Casiers béton ou Déblai-Remblai) actuelles des LSPR

Type de construction	Avantages	Inconvénients
Casiers béton :	- Emprise au sol limitée	- Coût d'investissement (génie civil) - Intégration paysagère - Complications lors du curage (pas d'accès aisé dans les lits + problèmes de visibilité)
Déblai-Remblai :	- Intégration paysagère (surtout si les bords sont végétalisés) - Facilite le curage (possibilité d'accès dans les lits) - Diminution de la charge surfacique avec l'augmentation de la hauteur de boues accumulées	- Emprise au sol (coût d'acquisition du terrain)

5.2.2 Hauteur de revanche

La hauteur de revanche, dans le cas des casiers béton doit répondre à plusieurs objectifs, à savoir :

- Permettre l'accumulation de la boue produite lors du cycle de fonctionnement des lits,
- Ne pas diminuer les performances de séchage. Des retours d'expérience ont montré que des hauteurs de revanche trop importantes peuvent ralentir la vitesse de séchage (moins de vent favorable à l'évapotranspiration),
- Ne pas compliquer l'opération de curage. Des retours d'expérience révèlent des difficultés au curage (problème de visibilité) induites par des hauteurs de revanche trop importantes.

L'expérience danoise montre qu'avec **une gestion adaptée** il est possible de stocker dans les LSPR jusqu'à **1,5 mètre de boue** (Nielsen, 2003). Pour fixer la hauteur de la revanche, plusieurs paramètres sont à considérer :

- La *charge surfacique de dimensionnement et le nombre de lits*, car la vitesse d'accumulation du dépôt en dépend (cf. Figure 21),
- Le *repos prolongé d'un lit avant curage* qui entraîne une augmentation de la charge surfacique sur les autres lits (cf. Figure 21).

La Figure 21 montre qu'il est possible de stocker la boue entre 6 et 9 ans avant de réaliser le premier curage. Ensuite, les lits sont curés régulièrement suivant des cycles dépendant du nombre de lits mis en place (cf. paragraphe 6.1.4). Rappelons toutefois que les vitesses d'accumulation annoncées sont liées à une gestion adéquate des lits. Aussi pour 1,5 mètre d'accumulation utile de boue (hauteur maximale de boue conseillée), la hauteur de revanche minimale est de 1,8 m.

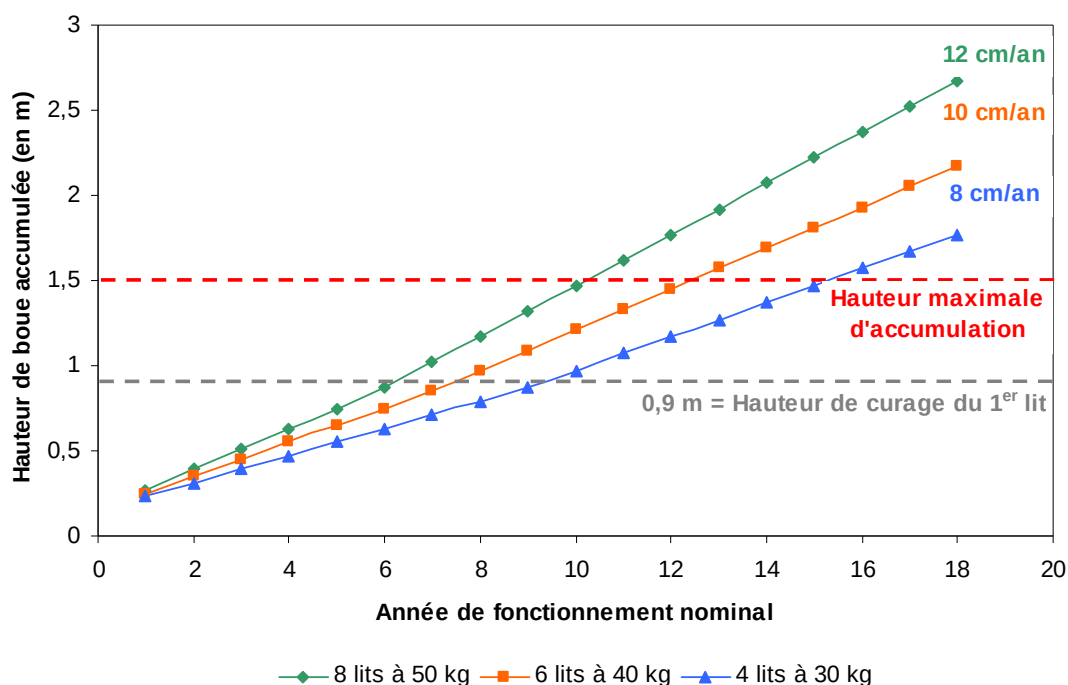


Figure 21 : Evolution de la hauteur de boue accumulée et des années de fonctionnement nominal en fonction du dimensionnement des LSPR pour le traitement des boues activées

5.2.3 Géométrie des lits

La largeur des lits en casiers béton doit permettre un curage aisé des boues. Au regard des engins disponibles localement, et suivant si l'on peut curer des deux cotés des lits, on adaptera la largeur des lits. On notera que la longueur théorique de travail d'une pelle est réduite par la hauteur des parois béton. La longueur des lits est calculée à partir de la surface nécessaire et de la largeur choisie.

Pour de grande capacité de traitement où la taille des lits empêcherait le curage depuis l'extérieur, la configuration en déblais-remblais autorise aux engins de curage de pouvoir descendre sur les filtres en aménageant des rampes d'accès (préservation de l'intégrité des talus). Il s'agira d'engins à chenilles avec une grande portance.

Le choix entre ces deux configurations doit être mûrement réfléchi puisqu'il conditionne majoritairement le déroulement de l'opération de curage (*cf. curage*). Les économies faites sur les coûts d'investissement peuvent donc être contrebalancées par des coûts de fonctionnement et d'entretien plus élevés.

5.3 Matériaux & massif filtrant

Le massif filtrant, isolé du sol par une géomembrane ou un radier béton, se compose de différentes couches de matériaux de granulométrie variable. De la surface vers la base du filtre, il est recommandé de mettre en place :

- Une *couche superficielle de filtration* : 10 cm de compost de déchets verts (répondant à la norme NF U 44-051 et avec une perméabilité non limitante) ou 5 cm de sable grossier (caractérisé par : $0,2 \leq d_{10} \leq 0,4$ mm, $4 \leq CU \leq 5$). L'utilisation de compost favorise le développement des roseaux au départ, même si les percolats produits sont plus chargés qu'avec du sable. Au nominal, la différence de filtration entre sable et compost disparaît avec l'établissement du dépôt de boue qui devient alors un nouvel horizon filtrant. Cependant, des précautions doivent être prises lors de la sélection du compost, notamment par rapport à sa granulométrie. Un taux de fines trop important peut être l'origine d'un mauvais drainage menant à terme au colmatage des lits (problèmes avérés sur certaines stations suivies par l'ARPE, *cf.* Figure 22). Les plateformes de compostage ne proposant pas de caractérisation granulométrique, notamment la teneur en fines, il est donc conseillé de faire un test d'infiltration de Grant (Liénard et al. 2000) pour vérifier sa perméabilité.



Figure 22 : Photo d'un carottage réalisé sur un lit garni de compost trop fin et donc imperméable (crédit photo : Irstea)

- Une couche de gravillons (2/4 à 3/6 mm) sur une épaisseur de 20 à 30 cm permet d'éviter la migration de fines dans le massif. Le matériau utilisé doit impérativement avoir une granulométrie supérieure ou égale à du 2/4 mm.
- Une couche de transition de 10 cm d'épaisseur. A l'instar de ce qui est fait pour les filtres plantés (traitement eaux, cf. *Cadre guide CCTP FPR, 2007*), la granulométrie de la couche de transition est définie à partir de la granulométrie de la couche fine supérieure pour éviter toute migration d'éléments fins dans la couche plus grossière. On retiendra la règle suivante :

$$d_{15} \text{ Transition} \leq 5 * d_{85} \text{ Couche Supérieure}$$

L'utilisation d'une géogridde (de type tridimensionnelle Enkamat 7225 de Colbond ou Macmat de Maccaferri, par exemple) est également une pratique possible sur les LSPR.



Figure 23 : Exemple de géogridde tridimensionnelle commercialisée par ENKAMAT®

- Une couche drainante de galets de 15/30 mm à 30/60 mm sur environ 15 cm. Les drains, dont les caractéristiques principales sont précisées dans le chapitre suivants, sont disposés au fond de cette couche.

Les caractéristiques et la provenance de chacun de ces matériaux doivent être fournies par le constructeur ainsi qu'un schéma de mise en œuvre des couches. Le choix des matériaux de filtration se base sur :

- Les caractéristiques granulométriques décrites par le fuseau granulométrique, dont la teneur en fines particules (c.-à-d. $d < 63 \mu\text{m}$) qui doit être inférieure à 3 % en masse,

- La composition en argile et en calcaire, exprimée en CaCO_3 , qui peuvent être préjudiciables à l'efficacité de drainage et à la tenue du matériau sur le long terme (dissolution potentielle du calcaire, due à l'acidité de l'eau). Compte tenu des charges hydrauliques plus faibles que celles appliquées en traitement des eaux usées, on pourra néanmoins utiliser des matériaux avec des teneurs en calcaires non négligeables. On choisira des matériaux avec des teneurs en CaCO_3 inférieures à 50% en masse pour les matériaux drainants et inférieures à 20% pour les sables. Ces matériaux d'origine calcaire doivent cependant être suffisamment durs et non friables. Ils doivent pour ce faire satisfaire à des valeurs de Los Angeles (LA, EN 1097-2) et micro-Deval (mde, EN 1097-1) inférieures à 35.

Les matériaux doivent impérativement être lavés, avant leur mise en œuvre dans les lits, pour limiter la présence de fines.

Afin d'assurer un drainage rapide des percolats une **pente minimale de 0,5 %** est nécessaire en fond de filtre. La nécessaire horizontalité de la surface est rattrapée lors de la mise en place de la couche drainante.

5.4 Système d'alimentation & drainage-aération

5.4.1 Dispositif d'alimentation

Les débits d'alimentation doivent être supérieurs à $0,25 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ pour assurer une distribution homogène des boues sur toute la surface d'un filtre. Une plaque déflectrice placée sous le jet de boue améliore la répartition et limite l'affouillement du dépôt au niveau des points d'alimentation.

Les alimentations des LSPR se font généralement soit à partir du centre soit à partir d'un des bords du filtre. Pour chacune des configurations, la densité de point d'alimentation doit être de :

- 1 point d'alimentation pour **100 m² maximum**, lorsque **l'alimentation se fait par le centre**
- 1 point d'alimentation pour **50 m² maximum**, lorsque **l'alimentation se fait par un des bords**

On veillera à ne pas engendrer de risque de siphonage du bassin d'aération lorsque la pompe d'alimentation est à l'arrêt. Une mise à l'air peut s'avérer indispensable pour désamorcer le flux après arrêt de la pompe d'alimentation.

5.4.2 Dispositif de drainage et d'aération

Un seul et même type réseau de drains, disposé en fond de filtre, assure le drainage des percolats et l'aération du filtre. Les critères de sélection sont les suivants :

- Les drains doivent pouvoir drainer le débit d'alimentation pour éviter la mise en charge des lits. On recommande d'utiliser des tubes en PVC de 100 mm de diamètre au minimum.
- Les drains sont entaillés de fentes de 1 cm de large espacées de 10 cm : les unes tournées vers le bas permettent l'évacuation des percolats, les autres tournées vers le haut assurent la diffusion de l'air dans le massif (Figure 24)

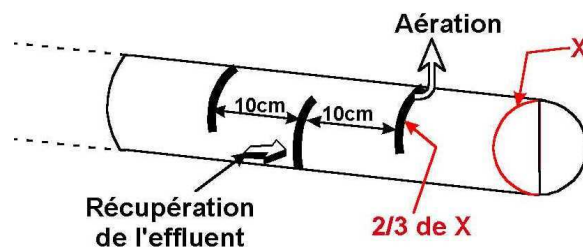


Figure 24 : Schématisation de la disposition des fentes d'aération et de drainage

- La densité de drains rapportée à la surface doit être supérieure à **0,25 m linéaire de drain.m⁻²**.

Aujourd'hui, de nouvelles configurations, de type caillebotis, sont proposées par certains constructeurs. Par exemple, la SAUR propose la mise en place d'un plancher aéré (Bioblock®) en substitut du système d'aération-drainage conventionnel. Ce plancher en plastique est percé de trous de 5 mm de diamètre d'une densité de 1 500 trous.m⁻². Evalué en traitement de l'eau, il permet une aération performante des ouvrages.

5.5 Plantation des végétaux

Plusieurs espèces de macrophytes peuvent être utilisées sur les LSPR. Sous des climats continentaux, le roseau commun (*Phragmites australis*) est l'espèce la plus communément utilisée. Elle présente un certain nombre d'avantages tels que :

- Une résistance aux surcharges et déficits hydriques,
- Une résistance à de fortes teneurs en matière organique,
- Une croissance rapide et homogène des parties aériennes comme souterraines (en expansion constante),
- Une forte capacité de transpiration (Gagnon et al., 2013).

S'il n'est pas opportun d'utiliser une autre espèce lorsque celle-ci peut l'être, il convient en revanche d'en choisir une autre dans des lieux où elle est considérée comme invasive. Cela est le cas dans certains DOM-COM (La Réunion, Guadeloupe, Martinique, Mayotte, Nouvelle Calédonie). Pour éviter tout déséquilibre écologique, la possibilité d'utiliser des espèces endémiques du milieu où sont implantés les LSPR doit être considérée.

D'une manière générale, quelle que soit l'espèce de macrophyte utilisée, la pérennité et l'efficacité de traitement des LSPR reposent sur un développement dense du végétal, notamment de la densité des tiges et des parties souterraines, qui jouent un rôle crucial tant au niveau du drainage (rôle mécanique) que de la déshydratation (évapotranspiration). Aussi pour la sélection d'autres espèces que *Phragmites australis*, la vigueur et la densité du système racinaire et des tiges doivent être considérées. Des plantes qui poussent en touffe n'auront pas un rôle mécanique optimum.

Afin d'optimiser l'adaptation des jeunes plants, il est recommandé d'utiliser des plantules d'au moins un an et demi en pots de 0,5 L. L'objectif étant d'avoir des racines et rhizomes bien développés, et 5 à 10 tiges d'une quarantaine de centimètres par pots. Certains

préconisent d'utiliser des plants issus de graines de roseaux⁸ provenant de filtres plantés ou de lits de séchage, considérés être plus adaptés aux conditions rencontrées dans les LSPR. La période de plantation privilégiée des jeunes plants est comprise entre avril et septembre (Liénard *et al.*, 2008b) avec une période optimale en mai et juin (Nielsen, 2002). Ils sont plantés à la surface du massif filtrant dans la couche superficielle de filtration (*cf. chapitre 5.3*) à raison de 4 pieds par m² (soit un pied tous les 50 cm dans les 2 directions).

5.6 Métrologie pour la gestion

5.6.1 Cahier de suivi

Il est bien souvent difficile d'identifier les causes responsables de dysfonctionnements avérés sur certaines installations de LSPR en raison d'une mauvaise connaissance des charges appliquées et des rotations. Ce problème peut être facilement résolu par la tenue d'un « cahier de bord », par l'exploitant, où seront répertoriées :

- La charge reçue par chaque lit,
- La fréquence d'alimentation/repos,
- Les mesures ponctuelles faites sur boues d'alimentation (c.-à-d. MS, Mat. Vol., etc.),
- Des observations d'ordre général, telles que : le développement des roseaux, la qualité de la boue (aspect plutôt liquide, pâteux ou solide), l'apparition d'odeurs, la présence de vers de fosse (*Eristalis tenax* ou éristèles, signe d'eau stagnante donc de conditions anaérobies), la présence de lombrics (signe d'un fonctionnement aérobie), l'apparition d'adventices, etc.

Pourront également être consignés dans ce cahier, les différents points développés ci-après. Plus la description de l'état des lits sera complète, plus il sera simple d'identifier rapidement les causes de dysfonctionnement et de trouver les solutions pour y remédier.

5.6.2 Mesure du débit de drainage

Le drainage rapide des bâchées d'alimentation est essentiel pour assurer une bonne déshydratation du dépôt et des conditions aérobies dans les lits. Simple à réaliser, la mesure de débit de drainage pourrait donc servir d'indicateur de l'état de colmatage du système et implicitement de son aération. Un débitmètre placé dans la canalisation principale de récupération des percolats permettrait un enregistrement continu du débit de drainage de chacun des lits. Ce suivi est actuellement utilisé au Danemark pour affiner la gestion, notamment la rotation entre les lits Nielsen (2002). La figure ci-dessous illustre l'enregistrement continu du débit sur la station d'Andancette (Drôme).

⁸ Les graines, une fois germées, sont repiquées dans des godets en plastiques, d'une dizaine de centimètres de côté garnis de terreau, arrosées d'une solution nutritive par les pépiniéristes spécialisés. Les plants sont considérés comme robustes, si le repiquage a été effectué depuis au moins un an et qu'ils comportent au moins cinq tiges développées à partir des nœuds des rhizomes.

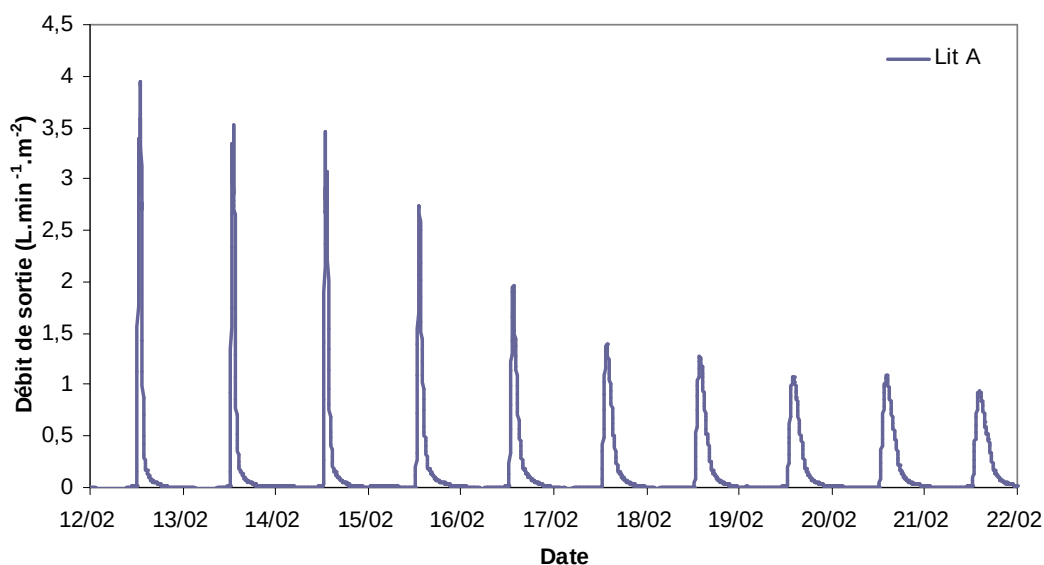


Figure 25 : Enregistrement continu du débit de drainage sur un lit en taille réelle à Andancette chargé à 30 kg MS.m⁻².an⁻¹ de boues activées (débit d'alimentation de 0,28 m³.m⁻².h⁻¹)

Au début des alimentations, le dépôt est favorable au drainage. Un drainage prompt, identifiable par l'allure du pic de drainage : pic étroit, avec une valeur maximale proche de 4 L.min⁻¹.m⁻² (Figure 25). Au fur et à mesure des alimentations, la saturation du dépôt de boue conduit à la diminution des débits de drainage. Ce phénomène se traduit sur la Figure 25 par l'étalement et la diminution de l'amplitude des pics de drainage. Comme proposé par Nielsen (2002), la valeur maximale de drainage – obtenue pour chaque alimentation – peut être utilisée pour repérer l'apparition d'une difficulté de drainage traduisant le besoin de faire une rotation. S'il est facile de comprendre l'impact de l'état du colmatage sur la dynamique de drainage, il est plus délicat de fixer une valeur seuil à partir de laquelle il faut changer de lit. En effet, le débit de drainage dépend de plusieurs facteurs, tels que : la hauteur du dépôt de boue (résistance hydraulique), la lame d'eau et le débit surfacique des alimentations. Ceci implique que l'interprétation des données et l'adaptation de la gestion qui s'en suit, s'appuie sur l'acquis d'expérience de l'exploitant sur le site en question. Quoiqu'il en soit, une courbe de drainage qui s'étale au point d'empiéter sur la courbe de bâchée suivante est à proscrire.

5.6.3 Hauteur du dépôt de boue

Dans les LSPR, la réduction du volume de boue stockée s'opère suite à l'action combinée du séchage et de la minéralisation de la boue accumulée sur les lits. Suivre la hauteur de boue permet d'estimer la dynamique d'accumulation de la boue et par conséquent d'estimer la réduction du volume de boue. Plusieurs études (*Begg et al., 2001; Nielsen, 2005b*) ont montré qu'une vitesse d'accumulation trop importante du dépôt traduit un dysfonctionnement des lits (faible déshydratation et minéralisation). Selon ces auteurs, une gestion adéquate des LSPR doit permettre de ne pas dépasser les 12 cm.an⁻¹ d'accumulation sur les lits pour des boues activées.

En pratique, ce suivi est simple à réaliser. Il suffit de mettre en place, lors de la construction des lits, un ou plusieurs réglets (au moins deux par lit pour tenir compte de l'hétérogénéité de la surface) aux graduations et chiffres bien lisibles. Pour faciliter la mesure, il est plus opportun de placer les réglets en bordure de lit. Notons cependant que l'obtention de valeurs de vitesses d'accumulation ne se fait pas instantanément : elle se calcule à partir de la pente de la courbe d'évolution de la hauteur du dépôt en fonction du temps. Ceci impose d'avoir

plusieurs points de mesure dans le temps. Dans l'idéal, les mesures de hauteur devraient être réalisées avant chaque période d'alimentation. Un *minimum*, de deux fois par an est indispensable pour :

- prévoir la vitesse d'accumulation hivernale (fin février-début mars) pour anticiper les futurs curages nécessaires. C'est la période la plus défavorable à la réduction du volume de boue (faible séchage, activité biologique ralentie),
- vérifier la bonne minéralisation des boues par une mesure estivale et mieux estimer les volumes de boues à curer (le curage se faisant en période estivale).

Le suivi de la dynamique d'accumulation des boues sur les lits permettant de vérifier le bon comportement des lits (une vitesse d'accumulation de 15 cm/an doit alerter l'exploitant sur le fonctionnement des lits) se fait sur une échelle annuelle compte tenu des phénomènes de stockage et de minéralisation (cf. Figure 26).

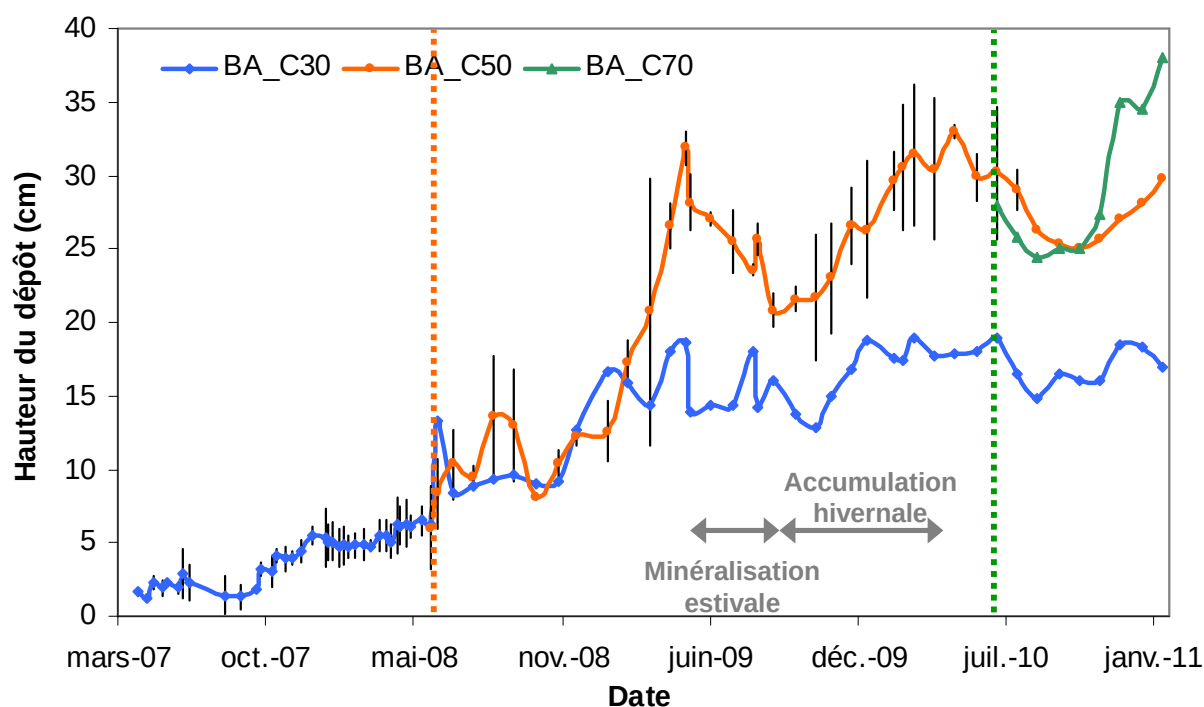


Figure 26 : dynamique d'évolution du dépôt de boue sur des pilotes de 2 m² (Vincent J., 2011)

5.6.4 Déshydratation du dépôt de boue

Suivre la siccité du dépôt de boue est essentiel pour estimer l'efficacité de traitement de l'installation et, ainsi, affiner la gestion pour améliorer les performances. Outre les prélèvements réglementaires destinés à évaluer la qualité de la boue en prévision du curage, des mesures régulières de siccité (toujours à la fin d'une période de repos) pourront être réalisées par l'exploitant. Il suffit que ce dernier soit équipé d'une tarière pour réaliser les carottages. Deux mesures par an et par lit, réalisées en sortie d'hiver (fin février-début mars) et en période estivale, paraissent un minimum pour estimer les performances de séchage. L'année avant le curage, des mesures supplémentaires de siccité seront réalisées.

Ces mesures de siccités permettront à l'exploitant de vérifier que la gestion des lits est adaptée à une bonne entrée d'air dans le dépôt de boue (propriétés mécaniques des boues, cf. paragraphe 2.4). Une siccité hivernale en fin de période de repos inférieure à 11 % pour les boues activées et 18 % pour les matières de vidange traduit un problème d'aération et donc un

risque de mauvaise minéralisation. Une attention particulière est alors à accorder sur la rotation et les charges à appliquer.

6 Gestion

6.1 Différentes phases de fonctionnement des lits

Afin que les végétaux puissent assurer leurs rôles mécanique et biologique ; **différentes phases de fonctionnement** des lits doivent être respectées lors de la construction et de la mise en route des LSPR. On notera :

- Après la plantation des roseaux, une période d'acclimatation sans apport de boue est indispensable à certaines périodes de plantation des roseaux (cf. Tableau 12 et Tableau 13) et conseillée en période estivale,
- La charge surfacique nominale ne doit pas être appliquée dès le démarrage des filtres. Pendant le démarrage, une montée en charge progressive de l'alimentation jusqu'à sa charge nominale est indispensable,
- Le repos prolongé avant le curage d'un des lits est primordial. Il entraîne une surcharge sur les autres lits,
- Lors de la reprise des alimentations après curage, les lits doivent être alimentés à mi-charge avec une montée en charge progressive identique à celle préconisée lors du démarrage. La remontée en charge, jusqu'à la charge de dimensionnement est à prévoir l'été suivant, une fois les roseaux bien développés.

Par conséquent, la gestion doit être adaptée à chacune de ces phases, notamment en ce qui concerne la charge surfacique appliquée. Le tableau ci-dessous résume les charges à respecter.

Tableau 11 : charge surfacique maximale à appliquer en fonction du type de boue et du dimensionnement de l'installation pour différentes phases

Traitement des boues activées			
Nb et configuration des lits	Charge surfacique (en kg MS.m ⁻² .an ⁻¹) à appliquer		
	Démarrage	Nominale	Curage (surcharge maximale acceptable sur les autres lits)
4 lits CB/DB*	15	30	40
6 lits CB/DB*	20	40	50
8 lits CB/DB*	25	40/50	50/60
Traitement des matières de vidange			
Nb et configuration des lits	Charge surfacique (en kg MS.m ⁻² .an ⁻¹) à appliquer		
	Démarrage	Nominale	Curage (surcharge maximale acceptable sur les autres lits)
6 lits CB/DB*	30	50	70

* CB : Casiers Béton et DB : Déblais Remblai

6.1.1 Période d'acclimatation (SANS apport de boue)

Avant de recevoir des apports de boues, les végétaux doivent se développer, notamment le système racinaire et les tiges (issues des nœuds des rhizomes), et coloniser la surface du filtre. Pour cela, une période d'acclimatation est nécessaire pour les mois d'octobre à avril et conseillée de mai à septembre en France métropolitaine. En milieu tropical, elle est conseillée uniquement le premier mois. Cette période d'acclimatation revient à alimenter les roseaux en eaux pour favoriser leur développement soit :

- Par mise en charge des lits avec l'eau de sortie de STEU pendant un à deux mois (Cooper et al., 2007). Une alimentation de l'ordre de 10 cm par semaine peut être réalisée pour renouveler régulièrement l'eau.
- Par arrosage régulier par aspersion avec de l'eau de sortie. De courtes alimentations ponctuelles en boues permettent d'apporter les nutriments nécessaires au développement des roseaux.

Cette période d'acclimatation conditionne la résistance des végétaux à la future transformation de leur milieu induite par l'apport des boues. Si les roseaux ne sont pas bien développés à cette étape, il est fort probable qu'ils ne survivent pas, ou peinent à se développer, lors des alimentations en boue. Pourtant, la période d'acclimatation est souvent négligée par les constructeurs, poussés par les contraintes opérationnelles sur lesquelles ils se sont engagés, notamment lorsque les stations traitent leur charge nominale.

L'importance cruciale de cette phase amène à préconiser la réalisation des LSPR avant la filière eau à condition de s'assurer qu'un arrosage est possible avec de l'eau du réseau de distribution d'eau potable ou par pompage dans un cours d'eau proche⁹. Un système de traitement complémentaire des boues est à prévoir si la station produit déjà des boues pendant cette phase plus ou moins longue en fonction de la période de plantation des roseaux (voir Tableau 12 et Tableau 13).

6.1.2 Période de démarrage

A ce stade, **l'alimentation progressive en boue débute** jusqu'à atteindre la mi-charge (c'est-à-dire la moitié de la charge nominale des LSPR), pour permettre l'adaptation des végétaux (cf. Tableau 12 et Tableau 13). Le mois et la charge surfacique auxquels débutent les alimentations dépendent de la date de plantation des roseaux (cf. Tableau 12 et Tableau 13). Si l'on retiendra de ne pas planter en période de gel, on notera les recommandations suivantes :

Pour les boues activées :

- Pour une **plantation en hiver** (de octobre à février en dehors de périodes de gel) les alimentations ne débutent qu'au mois d'avril à $10 \text{ kg MS.m}^{-2}.\text{an}^{-1}$, ensuite la charge augmente progressivement jusqu'à atteindre la charge prévue au démarrage (soit. $25 \text{ kg MS.m}^{-2}.\text{an}^{-1}$),
- Pour une **plantation au printemps** (de mars à avril) les alimentations pourront débuter en mai à $10 \text{ kg MS.m}^{-2}.\text{an}^{-1}$,
- Pour une **plantation en été** (de mai à septembre), les conditions rencontrées à cette période (forte chaleur, faible précipitation) favorisent l'alimentation directe des lits à faible charge ($10 - 15 \text{ kg MS.m}^{-2}.\text{an}^{-1}$).

Pour les matières de vidange, si la plantation a lieu entre mai et septembre, il est possible de démarrer les alimentations immédiatement à $30 \text{ kg MES.m}^{-2}.\text{an}^{-1}$. Sinon, une période d'acclimatation, sans apport de boue, est nécessaire (cf. Tableau 13).

Notons que le Tableau 12 et le Tableau 13 sont à considérer comme des indicateurs de la marche à suivre pour gérer les apports de boue sur les lits, notamment pour introduire une montée en charge progressive qui est rarement réalisée. Il est du ressort de l'exploitant d'assurer un suivi visuel de l'état du développement des roseaux pendant la période de

⁹ Voir si des contraintes environnementales/réglementaires s'imposent.

démarrage. Aussi rappelons que la charge nominale ne doit pas être appliquée avant d'avoir atteint une densité de tiges supérieure à 250 tiges.m⁻² (Figure 27).



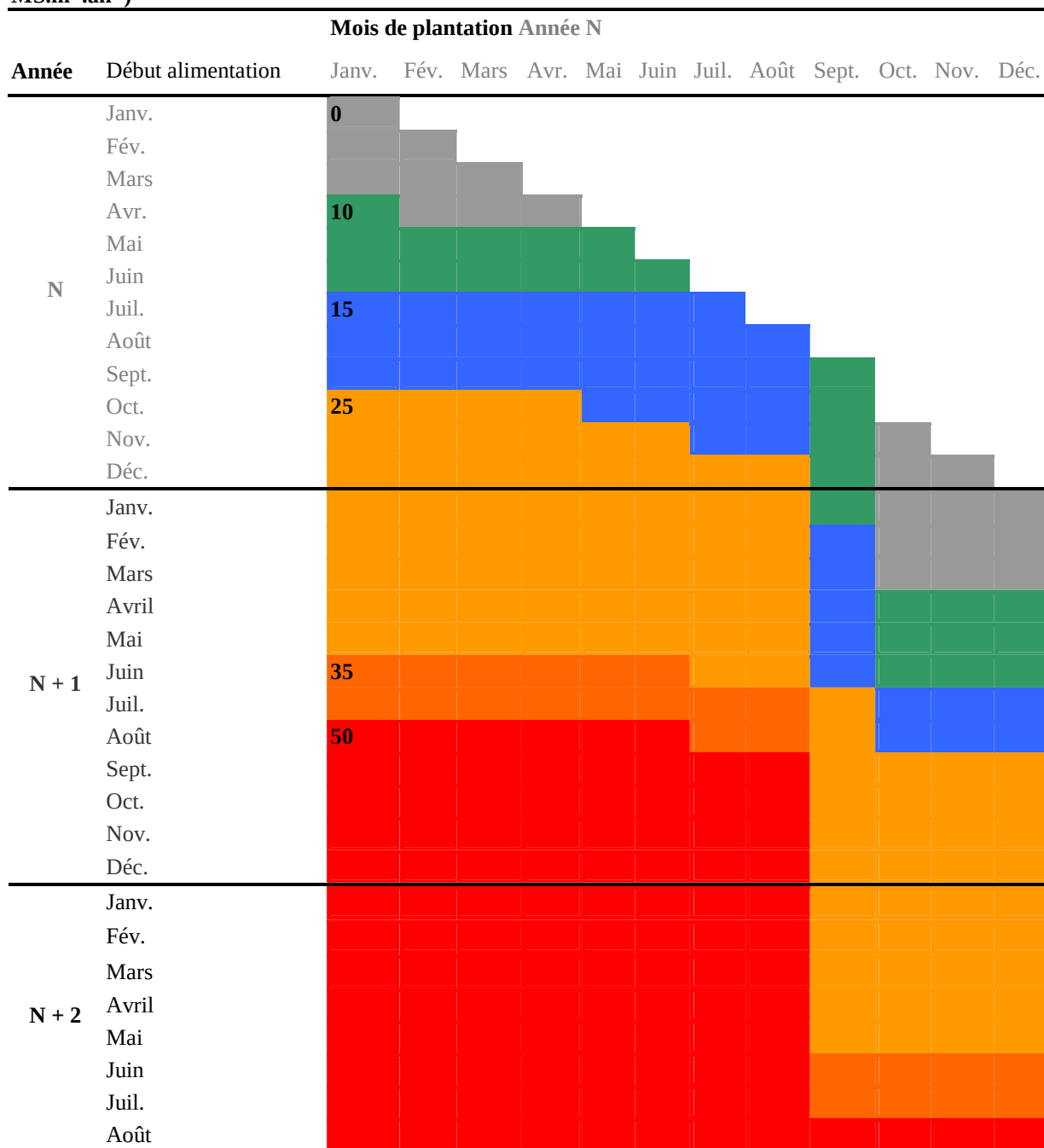
Figure 27 : représentation de lits avec une densité de tige supérieure à 250/m² (crédit photo ARPE PACA)

Les faibles charges acceptables par les lits au démarrage limitent la capacité de traitement de la file boues de la station durant cette période. En conséquence, un système provisoire de traitement/élimination des boues peut être à prévoir en fonction de la charge traitée par la file eau et donc des quantités de boues produites.

6.1.3 Fonctionnement nominal

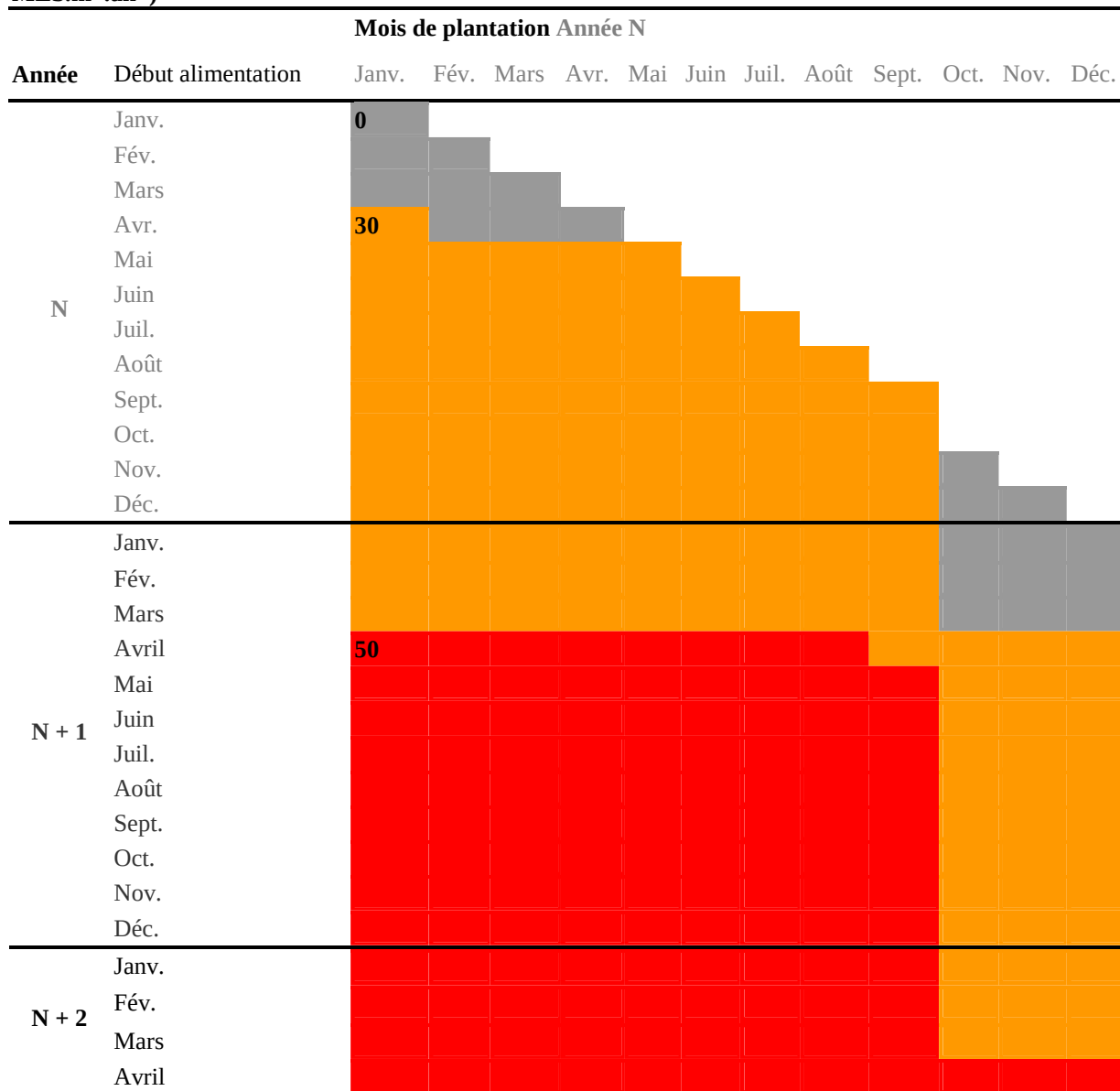
La charge est ensuite augmentée jusqu'à atteindre la charge surfacique de dimensionnement des lits. Toujours dans l'idée de préserver les roseaux de tout stress potentiel, l'augmentation doit se faire progressivement au printemps une fois que les roseaux sont bien développés, pour atteindre la charge souhaitée en plein été (fin juillet-début août). En effet, une surcharge en hiver pourrait ralentir, voire inhiber, la repousse des roseaux au printemps.

Tableau 12 : Evolution de la charge surfacique à appliquer lors du traitement des boues activées (exprimée en kg MS.m⁻².an⁻¹) jusqu'à atteindre la charge surfacique de dimensionnement (c.-à-d. 50 kg MS.m⁻².an⁻¹)



Légende : Surface Grise/Verte/Bleu/Orange1/Orange2/Rouge correspondent au temps d'attente avant les premières alimentations/Acclimatation1 10 kg MS.m⁻².an⁻¹/Acclimatation2 15 kg MS.m⁻².an⁻¹/Charge de démarrage 25 kg MS.m⁻².an⁻¹/Transition 35 kg MS.m⁻².an⁻¹/Charge de dimensionnement 50 kg MS.m⁻².an⁻¹

Tableau 13 : Evolution de la charge surfacique à appliquer lors du traitement des matières de vidange (exprimée en kg MES.m⁻².an⁻¹) jusqu'à atteindre la charge surfacique de dimensionnement (c.-à-d. 50 kg MES.m⁻².an⁻¹)



Légende : Surface Grise/Orange/Rouge correspondent au temps d'attente avant les premières alimentations/Charge de démarrage 30 kg MES.m⁻².an⁻¹/Charge de dimensionnement 50 kg MES.m⁻².an⁻¹

6.1.4 Phase de curage

Avant d'être curés les lits doivent subir une période de repos prolongée. Cette étape est essentielle à **l'optimisation du séchage** (pour atteindre des siccités supérieures à 25 % pour des BA), de **la minéralisation** ainsi qu'à la **réduction des pathogènes**. Sa durée, variable de 4 à 6 mois, est à adapter en fonction du suivi de la siccité (mesure en fin de période de repos, cf. chapitre 5.6.4). Pour les matières de vidange, cette période de repos prolongée n'est pas obligatoirement nécessaire, et dans tous les cas réduite, compte tenu des faibles charges hydrauliques appliquées.

La phase de curage est à programmer en été afin de bénéficier de l'évapotranspiration des roseaux. Les mois de juillet-août sont les plus propices au curage pour deux raisons principales :

- **Autoriser la repousse des roseaux** à partir des rhizomes laissés en place (cf. chapitre 7.3.1) avant l'arrivée de l'hiver.
- Cette période coïncide avec la **disponibilité des terres agricoles pour l'épandage**, permettant ainsi un déroulement simultané du curage des lits et de l'épandage de la boue.

Après le curage les lits doivent être réalimentés à 25 kg MS.m⁻².an⁻¹ pour les BA et 30 kg MES.m⁻².an⁻¹ pour les MV. Le passage à la charge de dimensionnement se fera, en fonction de l'état de développement des roseaux, l'été suivant (juillet-août). Cette période de « redémarrage » est indispensable au même titre que la période de démarrage. En effet, elle est garante du bon développement des roseaux au printemps suivant et donc de la pérennité du lit.

Le curage doit être absolument anticipé pour ne pas curer un nombre trop important de lits en même temps, ce qui provoquerait une surcharge excessive sur les lits en fonctionnement lors de la période prolongée (cf. note de l'Atelier thématique EPNAC "Curage des boues de LSPR et FPR »¹⁰). Un décalage est donc nécessaire, soit par l'application de charges différentes sur les lits si la station n'est pas à sa charge nominale, soit en curant le premier lit (cf. Figure 28) avant qu'il n'ait atteint sa capacité de stockage utile (1,5 m de hauteur de boue, cf. chapitre 5.2.2). Ensuite, le/les lits suivants sont curés chaque année. Cette vidange anticipée permet aux derniers lits à curer de ne pas déborder jusqu'à ce qu'ils soient curés. Ensuite l'accumulation des boues sur chacun des lits est décalée dans le temps (cf. Figure 28), ce qui permet :

- Le remplissage (jusqu'à la capacité de stockage utile) de l'ensemble des lits jusqu'au prochain cycle de curage
- Une période de fonctionnement sans aucun curage, entre deux cycles de curage

Note sur le curage des lits :

Le curage du/des premiers lits est programmé en fonction de la capacité de stockage des derniers lits à curer qui devront accepter une surcharge durant tout le cycle de curage.

*La surcharge maximale acceptable au curage indiquée dans le Tableau 11 (par exemple 60 kg MS.m⁻².an⁻¹ pour une installation équipée de 8 lits en déblai-remblai) impose un **curage des lits deux par deux seulement dans le cas d'un nombre de lits > 8.***

En effet, lors du cycle de curage, les lits restés en fonctionnement doivent accuser la surcharge liée :

- à la mise au repos prolongé (4 à 6 mois) du **lit à curer**
- au redémarrage (à 25 kg MS.m⁻².an⁻¹) du **lit curé**

¹⁰ Protocole de prélèvement et de curage des boues dans les lits de séchage plantés de roseaux, en vue de leur épandage agricole, 2011, 28p. téléchargeable sur le site <http://epnac.irstea.fr>

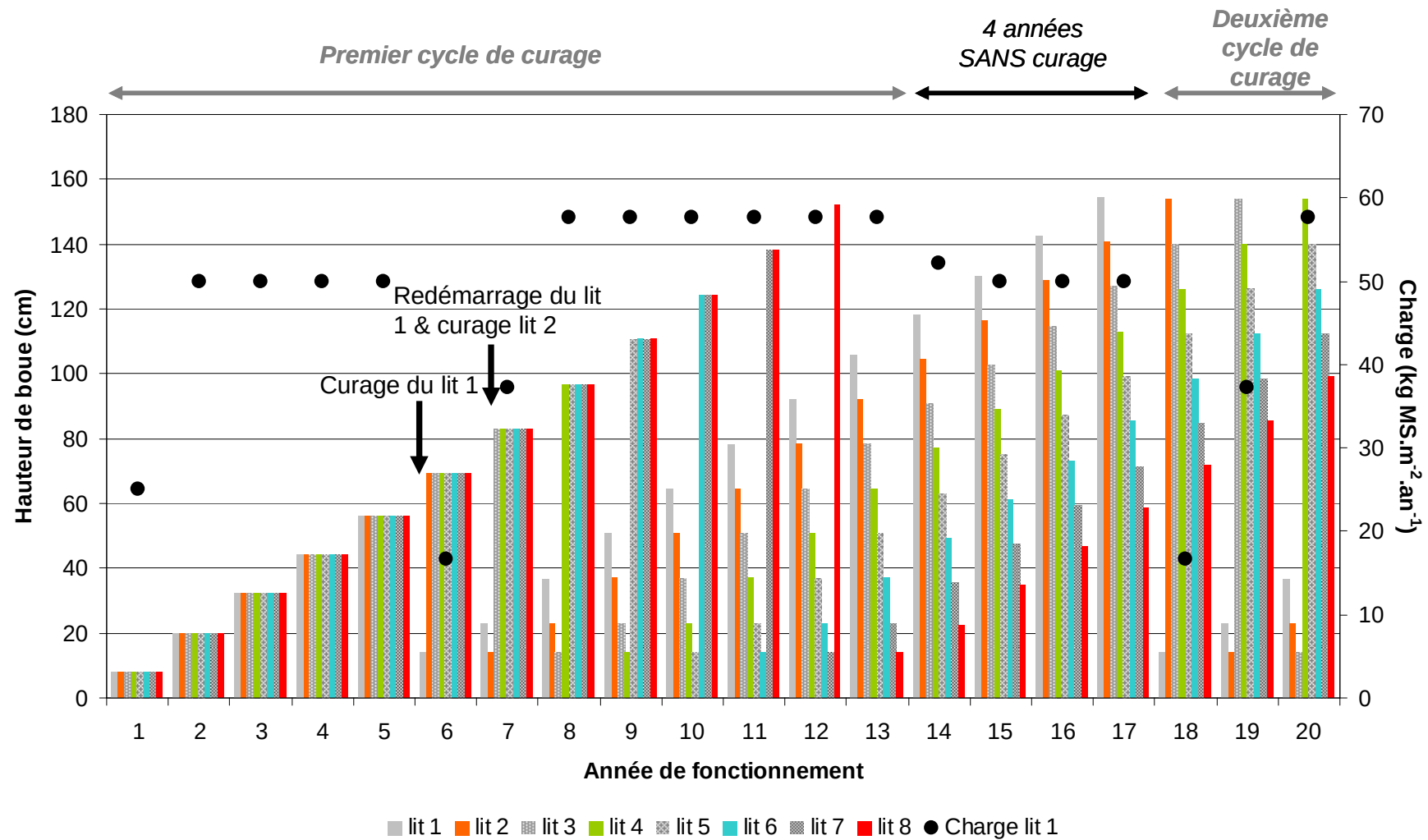


Figure 28 : Exemple d'un cycle de curage complet d'une installation comportant 8 lits, avec simulation de l'évolution de la hauteur de boue et de la charge reçue par le premier lit curé. Considérations : Périodes de repos prolongé de 6 mois (mars à août – année n)/Curage fin août/Redémarrage à 25 kg MS.m⁻².an⁻¹(septembre à juillet)/Passage au nominal 50 kg MS.m⁻².an⁻¹(en août – année n+1)

6.2 Cycles d'alimentation – repos

Si le ratio entre le nombre de jour d'alimentation et de repos est fixé par le nombre de lits, la détermination du nombre de jours d'alimentation et de repos dépend :

- de la **charge à traiter**,
- du **cycle de fonctionnement des lits** (c.-à-d. démarrage, nominal, curage, reprise),
- du **nombre de lits** mis en place.

Par conséquent, la fréquence d'alimentation d'une installation LSPR évolue au cours du temps (c.-à-d. démarrage, nominal, curage, reprise). L'essentiel du traitement de la boue (séchage et minéralisation) a lieu pendant les phases de repos. Elles doivent être assez longues pour garantir un séchage efficace permettant l'aération et donc la minéralisation du dépôt de boue, sans pour autant causer de stress hydrique aux roseaux. L'efficacité de séchage de la boue a tendance à diminuer au fur et à mesure de son accumulation : plus le dépôt est épais, plus il retient l'eau. Il convient donc d'allonger les cycles d'alimentation – repos au cours du vieillissement des lits pour profiter au maximum de l'évapotranspiration des roseaux. Finalement, la durée des cycles d'alimentation – repos dépend de l'âge du système et donc de la hauteur du dépôt (cf. Tableau 14).

6.2.1 Période de démarrage

Les charges surfaciques appliquées au démarrage (cf. Tableau 11) induisent de faibles lames d'eau sur les lits. A ce stade, les apports en boues sont donc fréquents et les temps de repos courts, pour préserver les roseaux de tout stress hydrique. D'autant plus que ces derniers ne disposent d'aucune réserve hydrique ; le dépôt de boue n'étant pas encore assez important (c.-à-d. hauteur < 30 cm, *Nielsen 2002*) pour satisfaire cette fonction.

La période estivale est donc à surveiller pour éviter le flétrissement prématuré des roseaux. Si un stress hydrique apparaît, visible par le jaunissement des feuilles, il est recommandé :

- D'accélérer la fréquence des cycles et donc raccourcir la durée du repos, en premier lieu,
- De saturer le massif filtrant (avec de l'eau de sortie de STEU) jusqu'à l'interface avec le dépôt de boue, si le stress persiste (nécessaire généralement pour la période avant la mise en route de la station ou en cas de forte sous charge au démarrage). En phase de fonctionnement de la station, la période de saturation ne doit pas dépasser 10 jours.

6.2.2 Fonctionnement nominal

L'augmentation de la charge surfacique (cf. Tableau 11) s'accompagne de l'augmentation de la charge hydraulique. Les roseaux disposent donc d'une plus grande réserve hydrique (lame d'eau plus importantes et stockage d'eau dans le dépôt de boue). Les périodes de repos peuvent donc être rallongées au cours du vieillissement des lits pour optimiser le séchage de la boue (cf. Tableau 14).

Tableau 14 : Evolution de la fréquence d'alimentation (c.-à-d. ratio entre le nombre de jours d'alimentation et de repos) en fonction de la phase de fonctionnement des LSPR

Traitement des boues activées (4 à 8 lits)			
Phase de fonctionnement	Années de service	Jours d'alimentation	Jours de repos
Démarrage	1	1 – 3	3 – 21
	2	2 – 4	6 – 28
Nominal	3	3 – 5	9 – 35
	4	4 – 6	12 – 42
	8	8 – 10*	56 – 70
Traitement des matières de vidange (4 à 6 lits)			
Phase de fonctionnement	Années de service	Jours d'alimentation	Jours de repos
Démarrage	1	1 – 2	3 – 10
	2	2 – 3	6 – 15
Nominal	3	3 – 4	9 – 20
	4	4 – 5	12 – 25**

* Ne pas dépasser **7 jours d'alimentation en hiver** pour les boues activées (**risque de colmatage**)

** Ne pas dépasser **25 jours de repos en été** pour les matières de vidange (**risque de stress hydrique**)

Il est important de retenir que la période de repos n'est pas figée dans le temps ; elle doit être adaptée à l'âge du système et au type de boue traité. Il est donc primordial de se fier à l'observation du comportement des lits (débit de ressuyage, état des roseaux, déshydratation du dépôt de boue) afin de réagir le plus rapidement possible et éviter tout dysfonctionnement. Les études menées sur les pilotes et les lits en taille réelle sur la station d'Andancette ont permis de faire ressortir quelques points essentiels par rapport à la gestion des cycles d'alimentation et de repos :

- Des **périodes d'alimentation trop longues** (> 10 jours) ralentissent le séchage du dépôt de boue pendant la période de repos,
- Des **surcharges en hiver** peuvent ralentir la reprise des roseaux au printemps, aussi il est important de veiller à répartir équitablement la charge hivernale sur tous les lits, quitte à raccourcir les périodes de repos. A cette période, la durée d'alimentation ne doit pas dépasser 7 jours.

La période de redémarrage après curage, du fait d'une charge appliquée plus faible que le nominal, induit une période d'alimentation plus courte. Même si la réserve hydrique est plus importante qu'au démarrage de l'installation (le système est mature et 10 cm de dépôt sont laissé en place), il faut tout de même observer l'état des roseaux et les débits de ressuyage pour, si nécessaire, adapter les cycles.

6.3 Problèmes de fonctionnement

La mauvaise déshydratation de la boue et la faible croissance des roseaux sont les conséquences invariables du dysfonctionnement du système. Différentes causes ont été listées par Nielsen (2005), les principales sont relatives à :

- un nombre insuffisant de lits entraînant un ratio phases d'alimentation/phases de repos trop important,
- une mauvaise construction du massif filtrant responsable d'un mauvais drainage (granulométrie, type de matériaux, réseau de drains et de d'aération ...)
- une absence de phase d'acclimatation,
- une surcharge des lits pendant la phase de démarrage, ou pendant le fonctionnement nominal,

- une mauvaise adaptation des roseaux pendant la phase de démarrage due à une densité de plantation trop faible, ou à une surcharge ralentissant la colonisation,
- la qualité de la boue,
- une mauvaise estimation de la production de boue entraînant une surcharge des lits.



Surcharge au démarrage (50 kg MES/m²/a) et nombre insuffisant de lits (4). *Photo Irstea*



Surcharge chronique (67 kg MS/m²/a). *Photo Irstea*



Plantation en décembre et alimentation directe. *Photo Irstea*

Figure 29: photos de lits ayant subi des dysfonctionnements

7 Valorisation agricole de la boue

Les boues traitées sur LSPR sont destinées à l'épandage sur terrains agricoles. Les doses à épandre sont établies en fonction :

- Des textes réglementaires, notamment l'arrêté du 08/01/98 relatif à l'épandage des boues. Il conviendra de vérifier les nouvelles réglementations en vigueur.
- Du plan d'épandage préétabli par le maître d'ouvrage

7.1 Qualité du produit final

7.1.1 Stabilité & Valeur agronomique

La stabilité de la matière organique (MO) est définie comme le **degré de biodégradation au-delà duquel l'activité biologique est fortement ralentie et ne redémarre pas**.

Différents paramètres sont mesurés sur les boues pour estimer la stabilité de la boue et son comportement lors du retour au champ. On distingue donc les indicateurs qui mesurent **l'impact agronomique** des boues, des **indicateurs de stabilité**.

Tableau 15 : Descriptif des différents tests de caractérisation des boues issues des LSPR

Indicateurs d'impact agronomique	Principe de la mesure
Indicateur de stabilité biologique (ISB, normalisé AFNOR, 2005)	Indique le pourcentage de matière organique potentiellement résistante à la minéralisation , donc stable, lors d'un retour au sol (<i>Trémier et al., 2007</i>)
Cinétique de minéralisation du carbone (norme expérimentale AFNOR XP U 44-162)	Estime le pourcentage de matière organique stable potentiellement transformable en humus, capable d'enrichir les sols récepteurs après épandage
Rapport C/N	Représente la potentialité de la boue à libérer de l'azote utilisable par les plantes
Indicateurs de stabilité	Principe de la mesure
Test de minéralisation du carbone (91 jours)	Estime à partir du dégagement de CO ₂ , le potentiel de minéralisation du carbone et permet d'extrapoler le comportement probable de la boue au champ sur les deux premières années suivant son épandage
L'activité respirométrique	Estime, à partir de la consommation d'oxygène, la biodégradabilité de la matière organique

En mai 2008, ces différents indicateurs ont été mesurés sur les lits en taille réelle d'Andancette (cf. Tableau 16). Quel que soit le type de boue, les résultats montrent :

- Des valeurs d'ISB proches de celles des tourbes (80 – 100 %), indiquant qu'une fois épandues les boues sont susceptibles d'améliorer les propriétés physiques du sol par apport d'humus stable lors de la dégradation de la MO. Toutefois, cet apport reste minime du fait des faibles teneurs en MO de la boue. En effet, les mesures montrent que plus de 70 % de la matière organique ont été stabilisés au cours du stockage sur les lits,
- Le rapport C/N supérieur à 7 traduit une élimination active de l'azote,
- Le potentiel de minéralisation du carbone indique une minéralisation notable de la matière organique. Les valeurs indiquées dans le tableau restent néanmoins proches du seuil de stabilisation fixé à 20 %. A titre d'exemple, notons que le coefficient de minéralisation de l'humus stable est de l'ordre de 2 – 3 %, celui des composts de déchets verts entre 5 et 15 %, tandis que celui des composts de boues/fumiers est

compris entre 15 et 30 %. Il apparaît donc que les boues issues des LSPR possèdent les caractéristiques d'amendement organique stabilisés à moyennement stabilisés et pauvre en matière organique.

Tableau 16 : Caractéristiques des LSPR taille réelle et pilotes d'Andancette et de la stabilité du dépôt de boue en fonction du type de boue traité

Type de boue	Boues activées	Matières de vidange	Mélange
Caractéristique des lits	Lit taille réelle	Pilote	Pilote
Charge moyenne sur 4 ans (en kg MS.m ⁻² .an ⁻¹) : depuis les 1 ^{ères} alimentations comprenant période acclimatation-démarrage	32,5	39	40
Jours de repos depuis la dernière alimentation	93	18	18
Siccité (%)	23,8	27,9	14,9
Matière volatile (% / MS)	60,55	58,8	54,4
Indicateurs d'impact agronomique			
ISB (% MO)	91,8	100	73,2
Matière organique stable (% MO)	77,2	70,9	71,1
Rapport C/N	7,9	8,6	7,8
Indicateurs de stabilité			
Potentiel de minéralisation du carbone en 91 jours (%)	22,8	29,1	28,9

En ce qui concerne la **valeur agronomique**, les boues, une fois traitées sur LSPR, présentent des teneurs de l'ordre de :

- Matière Organique : 50 – 60 % / MS,
- Azote global en N : 3 – 4 % / MS,
- Phosphore (sous forme de P₂O₅) : 5 – 7,5 % / MS. Dans certaines régions, ces teneurs suffisent à justifier l'épandage de boues,
- Potassium (sous forme K₂O) : 0,2 %. Bien qu'il soit peu retenu lors du traitement des eaux, il reste faiblement concentré dans les boues, surtout déshydratées.

Remarque sur l'azote : dans les boues des LSPR, l'azote est essentiellement présent sous forme organique. Aussi la minéralisation de la MO entraîne la libération d'azote minéral assimilable par les végétaux. L'épandage des boues de LSPR n'induit donc pas de phénomène d'immobilisation de l'azote.

Du point de vue structurel, les boues traitées peuvent être considérées comme un matériau solide qui résiste bien à la compression et non collant (*Liénard et al.*, 2008c). C'est donc un matériau bien structuré et peu déformable. L'obtention de ce statut de boues solides stabilisées (*Liénard et al.*, 2008c) permet des distances d'isolement plus faibles que pour d'autres type de boues (tableau 4 de l'arrêté du 8 janvier 1998) et permet de ne pas être obligé d'enfouir immédiatement les boues lorsque la distance par rapport aux berges d'un cours d'eau est supérieure à 5 m, et la pente du terrain supérieure à 7 %.

7.1.2 Mesures réglementaires

Depuis les années 70, le développement de la protection de l'environnement a abouti à l'évolution de la législation aux niveaux européen et national (*Fytli et Zabaniotou*, 2008). La Directive 86/278/CEE (du 12/06/86) encourage l'utilisation des boues en agriculture tout en s'assurant de la protection de l'environnement. Cette directive a été traduite en droit français par l'arrêté du 08/01/98, dont l'objet est de fixer les prescriptions techniques auxquelles doivent satisfaire les opérations d'épandage sur sols agricoles de boues issues du traitement

des eaux usées. L'arrêté prévoit donc des mesures de teneurs en **micropolluants** (organiques et métalliques) et en **germes pathogènes**.

i. Micropolluants

La réglementation impose des teneurs limites en métaux et en composés traces organiques dans les boues à épandre. En effet, l'aspect non biodégradable des métaux, conjointement à leur capacité d'adsorption à la matière organique, induit leur accumulation dans les boues qui peut empêcher leur valorisation agricole. Il en est de même pour les composés traces organiques, tels que les HAP (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques), les PCB (Polychlorobiphényles) et les produits dérivés, composés peu solubles qui peuvent également s'accumuler dans les boues. Toutefois, contrairement aux métaux, ces derniers sont potentiellement dégradables, mais à des vitesses de dégradation très lentes (durée de demi-vie inférieure à 6 mois pour des composés avec 2 ou 3 cycles benzéniques).

Les valeurs mesurées à Andancette sur les dépôts de boue des pilotes (traitant les boues activées, les matières de vidange et le mélange) et sur les lits en taille réelle (traitant les boues activées) sont comparées aux valeurs limites dans le Tableau 17.

Tableau 17 : Teneurs en micropolluants métalliques et organiques dans le dépôt de boue en fonction du type de boue traité.

Teneurs dans les boues (en mg/kg de MS)				
	Limite (arrêté du 08/01/98)	Boues activées Pilote / Taille réelle	Matières de vidange Pilote	Mélange Pilote
Micropolluants métalliques				
Cadmium (Cd)	10	2,3 / 2,3	2,6	1,7
Chrome (Cr)	1 000	44 / 45	31	32
Cuivre (Cu)	1 000	442 / 454	316	295
Mercuré (Hg)	10	1,8 / 1,8	1,7	1,6
Nickel (Ni)	200	35 / 37	20	22
Plomb (Pb)	800	61 / 64	52	50
Zinc (Zn)	3 000	968 / 993	1 180	1 012
Cr + Cu + Ni + Zn	4 000	1 488 / -	-	-
Micropolluants organiques				
Total des 7 principaux PCB (28, 52, 101, 118, 138, 153, 180)	0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8
Fluoreanthène	5	0,1 / 0,09	0,19	0,17
Benzo(b)fluoranthène	2,5	0,1 / 0,08	0,05	< 0,05
Benzo(a)pyrène	2	0,1 / 0,06	< 0,05	< 0,05

Si les teneurs dépendent fortement du type de réseau (séparatif au unitaire) ou encore des industries connectées (analyses à faire pour chaque cas), le choix de la technique de traitement doit être réalisée en veillant à caractériser les effluents d'entrée de station dans la mesure où les métaux se fixent principalement aux matières particulaires et se retrouvent donc dans la boue.

On retiendra, au regard des retours d'expérience en France sur ce type de traitement, que malgré une réduction de 50 % de la production de boues par les LSPR, les teneurs en métaux et en micropolluants organiques ne posent pas de problème au moment du curage selon les termes réglementaires actuels.

ii. Germe d'intérêt sanitaire

A Andancette, différents prélèvements de boue ont été réalisés :

- Dans les horizons profonds (cf. Tableau 18) des LSPR, en fin de repos (90 et 25 jours de repos pour les lits en taille réelle et les pilotes respectivement). Ces échantillons peuvent être considérés comme représentatifs de la qualité de la boue au moment du curage (c.-à-d. après la phase de repos prolongée),
- Sur les boues liquides traitées sur les LSPR : boues activées, matières de vidange, mélange des deux.

Les résultats (cf. Tableau 18) montrent un abattement effectif des indicateurs contamination bactériologique (E. Coli et Entérocoque) lors du traitement des boues sur LSPR

Tableau 18 : Teneur en indicateurs de traitement dans la boue liquide et dans le dépôt de boue accumulé sur les LSPR, en fin de période de repos (pilote = 25 jours, taille réelle = 90 jours)

	<i>Boue liquide</i>		<i>Dépôt de boue</i>			<i>Abattement</i>	
	E. Coli* (NPP/g MS)	Entéro.** (NPP/g MS)	Siccité (%)	E. Coli (NPP/g MS)	Entéro. (NPP/g MS)	E. Coli (Unité log ₁₀)	Entéro. (Unité log ₁₀)
Pilote : prélèvement à 10 cm de la surface du dépôt							
Matière de vidange	4,2.10 ⁶	5,9.10 ⁶	26,9	1,5.10 ⁴	2,8.10 ⁴	2,5	2,3
Mélange	1,4.10 ⁷	1,9.10 ⁶	24,9	1,2.10 ³	2,9.10 ⁴	4,1	1,8
Taille réelle : prélèvement à 30 cm de la surface du dépôt							
Boues activées	3.10 ⁶	2,1.10 ⁶	20,4	9,8.10 ²	7,8.10 ³	3,5	2,4

La norme NFU 44-095 (norme compost) fixe les teneurs limites (Tableau 19). Les mesures effectuées sur les horizons profonds pour chacun des paramètres exigés par la norme montrent que *Clostridium perfringens* est la bactérie la plus résistante parmi les indicateurs de traitement. Son élimination nécessite des périodes de repos prolongées (> 90 jours). La persistance d'œufs d'helminthes tend également à montrer l'importance d'un repos suffisamment long pour s'assurer de leur élimination.

Tableau 19 : Teneurs limites en indicateurs de traitement et en pathogènes pour l'utilisation des boues en agriculture (NFU 44-095)

	<i>Pilotes</i>		<i>Taille réelle</i>	<i>Boues à caractère hygiénisant (arrêté du 08/01/98)</i>	<i>Limite compost (NFU 44-095)</i>	
	Matières de vidange	Mélange	Boue activée		Toutes cultures (sauf maraîchères)	Cultures maraîchères
Indicateurs de traitement						
<i>Escherichia coli</i> (par g de MB*)	2,9.10 ³	3.10 ²	2.10 ²		10 ⁴	10 ³
<i>Entérocoques</i> (par g de MB*)	8,4.10 ³	7,2.10 ³	1,6.10 ³		10 ⁵	10 ⁵
<i>Clostridium perfringens</i> (par g de MB*)	6,5.10 ⁶	3.10 ⁶	1.10 ⁶		10 ³	10 ²
Agents pathogènes						
Oeufs d'helminthes viables (par g de MB*)	P*	P	Abs*	< 3/10 g MS	Abs/1g de MB	Abs/25g de MB
<i>Listeria monocytogenes</i> (par g de MB*)	Abs	Abs	Abs		Abs/1g de MB	Abs/25g de MB
<i>Salmonella</i> (par g de MB*)	Abs	Abs	Abs	< 8 NPP/10 g MS	Abs/1g de MB	Abs/25g de MB

* MB : Masse Brute, P : Présence, Abs : Absence

Selon l'arrêté du 08/01/98, les producteurs de boue doivent renseigner de manière précise la qualité et la quantité des boues produites afin de prévoir un plan d'épandage, dans un document de synthèse annuel. Ce document concerne à la fois la **qualité des boues à valoriser en agriculture** et la **qualité du sol récepteur** des boues. Il va de soi que le dépassement des limites fixées par la norme exclut leur utilisation en agriculture. Sur les LSPR, les résultats d'analyses des micropolluants métalliques et organiques du dépôt de boue doivent être connus avant le curage et l'épandage. Ces prescriptions réglementaires imposent finalement, un suivi précoce de la qualité du dépôt de boue sur les LSPR. L'étape d'échantillonnage doit être menée avec soin puisque la qualité des prélèvements et la réalisation de l'échantillon moyen déterminent la représentativité des résultats de l'analyse. La procédure recommandée et mise au point par le groupe de travail EPNAC, se résume en 5 points, développés ci-après.

Le chapitre suivant s'attache à présenter les **mesures réglementaires** et les **recommandations pratiques** pour réaliser ces mesures dans les meilleures conditions et ainsi disposer de résultats représentatifs de la qualité de la boue traitée sur LSPR.

7.2 Protocole de prélèvement

Le groupe de travail EPNAC ayant réalisé récemment un protocole de prélèvement détaillé spécifique aux LSPR (Protocole de prélèvement et de curage des boues dans les lits de séchage plantés de roseaux, en vue de leur épandage agricole, <http://epnac.irstea.fr>), dans ce guide nous résumons uniquement les points clés.

7.2.1 Déterminer le nombre d'échantillons moyens nécessaires

Les tableaux de l'Annexe IV de l'arrêté du 08/01/98 relative à la fréquence d'analyse des boues, précisent le nombre d'analyses à réaliser la première année de curage (Tableau 20) et en routine (Tableau 21). Toutefois, ces dernières sont à répartir dans le temps, pour :

- établir le **plan d'épandage** à partir des résultats des analyses réglementaires,
- caractériser la boue à un moment suffisamment proche du curage et ainsi **obtenir des données représentatives des boues à curer**.

Tableau 20 : Nombre d'analyses de boues lors de la première année (reproduction de l'annexe IV de l'arrêté du 08/01/98)

Tonnes de matières sèches épandues (hors chauds)	< 32	32 à 160	161 à 480	481 à 800	801 à 1 600	1 601 à 3 200	3 201 à 4 800	> 4 800
Valeur agronomique des boues	4	8	12	16	20	24	36	48
As, B	–	–	–	1	1	2	2	3
Eléments-traces	2	4	8	12	18	24	36	48
Composés organiques	1	2	4	6	9	12	18	24

Tableau 21 : Nombre d'analyses de boues en routine chaque année (reproduction de l'annexe IV de l'arrêté du 08/01/98)

Tonnes de matières sèches épandues (hors chauds)	< 32	32 à 160	161 à 480	481 à 800	801 à 1 600	1 601 à 3 200	3 201 à 4 800	> 4 800
Valeur agronomique des boues	2	4	6	8	10	12	18	24
Eléments-traces	2	2	4	6	9	12	18	24
Composés organiques	–	2	2	3	4	6	9	12

Remarque par rapport à la fréquence d'analyse : La fréquence d'analyse, exigée par la réglementation, est adaptée aux procédés produisant des boues régulièrement mais elle ne semble pas réaliste pour les LSPR qui allient traitement et stockage de la boue sur une longue durée (de 5 à 10 ans). Une réflexion avec les services en charge de la Police de l'Eau mérite d'être réalisée afin d'adapter la réglementation aux spécificités de ce type de traitement (ce que le groupe EPNAC réalise au niveau national).

Une attention particulière doit être portée aux délais nécessaires à l'obtention des résultats. En effet, l'incompressibilité des délais en laboratoire due au temps de l'analyse ne doit pas être négligée, puisque les résultats des campagnes doivent impérativement être connus avant l'épandage.

Par conséquent, nous pouvons proposer de procéder à deux campagnes de prélèvements ;

- la première pour s'assurer de la conformité des boues à l'épandage en réalisant les analyses des micropolluants métalliques et organiques. La moitié des mesures de

teneur en matières sèches et de valeur agronomique peuvent également être réalisées à cette campagne. Elle permettra, un an à l'avance de programmer les opérations d'épandage,

- la seconde pour estimer au mieux la quantité de matière sèche et la valeur agronomique de la boue épandue. Le reste des mesures de teneur en matières sèches et de valeur agronomique sont à réaliser au plus près de l'épandage, pour estimer les volumes à épandre et les comparer à ceux réellement épandus.

7.2.2 Déterminer le nombre de carottages nécessaires

Le nombre de carottages nécessaires est calculé à partir de la norme NF EN ISO 5667-13 relative à l'échantillonnage de boues provenant de tas et de stockage sur des installations de potabilisation et d'épuration. Le nombre de carottage (noté C) à réaliser pour constituer l'échantillon moyen est défini à partir du volume de boue brute stocké (noté V, en m³) comme suit : $C = \sqrt{V} / 2$ en arrondissant au nombre entier le plus proche. Un nombre minimal de 4 par lit est à prévoir.

7.2.3 Définir les emplacements où il est préférable de prélever

L'hétérogénéité spatiale des boues accumulées sur les LSPR impose de réaliser les prélèvements en différents points du lit de séchage prévu pour le curage. En effet, le dépôt de boue formé sur les LSPR présente des profils verticaux (liés à la stabilisation du produit plus minéralisé au fond qu'en surface) et horizontaux (liés à la répartition de la boue lors des alimentations) variables.

Les discussions du groupe de travail EPNAC à ce sujet, introduisent la nécessité d'identifier les différents horizons ou strates observables au sein de chaque carottage. Les conseils pratiques qui en ressortent, reposent sur le « bon sens » :

- Faire attention à ne pas carotter le massif filtrant, pour ne pas l'endommager et surtout pour ne pas fausser les résultats des analyses, notamment sur le paramètre matière sèche,
- Bien considérer l'importance relative de chacun des horizons identifiés, en d'autres termes, il faut veiller à ce que la quantité échantillonnée pour chaque horizon soit proportionnelle à son épaisseur.

7.2.4 Réaliser des carottages représentatifs

Lors des campagnes d'échantillonnage, différents points relatifs à la géométrie des lits sont à considérer, notamment la position : des points d'alimentations en boues, des drains et cheminées d'aération et des bords du lit. En résumé, il est recommandé d'éviter les prélèvements à moins d'un mètre de ces différents points, pour se placer dans des conditions représentatives.

Par ailleurs, il est avéré que la densité de roseaux impacte la qualité du dépôt de boue. Aussi dans le cas d'une répartition non homogène des roseaux, les carottages doivent être répartis dans différentes zones, en notant une estimation de leur densité respective. La schématisation des différents points de carottage et des observations notées lors des prélèvements pour chacun des lits fournira une aide précieuse lors de l'interprétation des résultats.

7.2.5 Confectionner des échantillons moyens

Cette étape est délicate et nécessite de bien considérer la hauteur de chacun des carottages effectués. La quantité de boue apportée par chaque carottage doit être proportionnelle à la

hauteur de ce dernier. Le point le plus délicat reste néanmoins, l'homogénéisation, car la texture de la boue évolue grandement d'un horizon à l'autre.

A ce jour, le protocole de prélèvement pour LSPR réalisé par le groupe de travail EPNAC, dont les points clefs ont été présentés, est le seul document d'appui technique. Pourtant, la valorisation potentielle de la boue traitée sur LSPR dépend des résultats des analyses réglementaires, eux-mêmes dépendants de la réalisation de l'étape d'échantillonnage. Néanmoins, il peut apparaître contraignant ou peu adapté aux réalités du terrain. C'est pourquoi un questionnaire est proposé sur le site EPNAC (<http://epnac.irstea.fr>). Les retours d'expérience ainsi recensés permettront de corriger et d'améliorer le protocole. Ce processus permettra également d'intéresser et de sensibiliser les personnes impliquées dans la gestion et le fonctionnement des LSPR.

7.3 Déroulement des phases de Curage & Epandage

On notera que la réalisation d'une plateforme de stockage de boue – de capacité suffisante pour stocker à tour de rôle les boues extraites des différents lits – sur le site paraît intéressante pour différents aspects :

- Elle facilite la réalisation de prélèvements représentatifs ; une campagne d'échantillonnage peut être réalisée pendant le transfert de la boue depuis le lit vers la plateforme.
- Elle facilite le plan d'épandage en apportant plus de souplesse par rapport aux délais entre curage et épandage (cf. disponibilité des champs), d'une part, et par rapport aux valeurs de siccité des boues, d'autre part (séchage supplémentaire sur la plateforme).

Il conviendra dans ce cas de prévoir de renvoyer les jus en tête de station, ou sur la filière de traitement des percolats dans le cas d'une unité décentralisée de traitement des matières de vidange.

7.3.1 Phase de curage

Les retours d'expérience relatifs au curage d'installation LSPR en taille réelle consignés dans le rapport de François Thirion (2007) permettent de préciser la marche à suivre. Les principaux points sont résumés ci-dessous :

- Le **broyage des parties aériennes** des roseaux avec une épareuse est recommandé. Cette pratique permet d'améliorer la visibilité du pelliste, et favorise également le mélange entre la boue et les roseaux lors de l'épandage.
- Une **dizaine de centimètres** de l'horizon profond du dépôt de boue doivent être laissés sur le lit (au-dessus de la couche de filtration) pour permettre la reprise des roseaux à partir des rhizomes ainsi laissés en place.
- Le curage par une benne preneuse n'est pas adapté car il peut entraîner une destruction partielle du massif filtrant. Il est préférable d'utiliser un **simple godet tranchant** (équipé d'une lame relativement tranchante à l'instar de celles utilisées pour le curage de fossés), le conducteur devra toutefois veiller à ne pas tasser le résiduel de boue laissé en place pour ne pas ralentir la repousse des nouvelles pousses.
- Il est important de veiller à assurer **l'accessibilité du site** aux engins de chantiers (pelleteuse, tracteur, épandeurs, etc.). En effet, ce point n'est pas toujours optimisé sur les installations LSPR, ce qui ralentit l'opération de curage et par conséquent augmente le coût de l'intervention (les entrepreneurs raisonnent par journées estimées d'immobilisation du matériel).
- Pour les lits en béton complètement hors sol, la hauteur de revanche peut gêner la visibilité du conducteur. Dans ce cas, il est préférable qu'une tierce personne pénètre dans le lit pour guider le conducteur, surtout à proximité des points d'alimentation ou des cheminées d'aération qui sont souvent endommagés.



Curage sur casier béton (crédit photo : Alliance Environnement)



Curage sur casier déblais-remblais (crédit photo : Irstea)



Curage avec descente de l'engin sur des plaques porteuses dans des lits de grande taille (crédit photo Orbicon/Steen Nielsen)



Boues curées stockées en bord de lit (crédit photo : Irstea)

Figure 30 : exemple de curage de lits de séchage de boues.

7.3.2 Phase d'épandage

La qualité rhéologique des boues issues des LSPR révèle leur aptitude à l'épandage. En effet, leur qualité structurée et non collante favorise un épandage homogène. D'ailleurs, les tests réalisés¹¹ sur la répartition au sol après épandage, avec des épandeurs à hérissons verticaux (les plus adaptés selon *Thirion, 2007*), montrent une répartition correcte de la boue au sol.

L'abondance de roseaux mélangés à la boue suscite quelques inquiétudes quant à :

- La possibilité de **bourrage des machines**. Cependant, avec des épandeurs à hérissons verticaux cette crainte est facilement écartée, car ils n'ont aucun problème à les absorber à condition que l'épandeur fonctionne en conditions optimales c'est-à-dire avec des couteaux bien aiguisés et une vitesse de rotation rapide des hérissons verticaux.
- L'éventualité de **reprise des roseaux au champ** après l'épandage. En premier lieu, rappelons que la législation interdit l'épandage sur sol hydromorphe (c.-à-d. humidité pondérale > 40 %). Néanmoins, le risque de reprise en condition de plein champ, non

¹¹ Normalement effectués selon la norme NF EN 13080, notons toutefois que les résultats évoqués ici ont été obtenus à partir d'un protocole simplifié consistant à utiliser des bacs de 50 x 50 cm espacés de 1 m, des carrés de moquette de même dimension placés sous le passage des roues complètent ce dispositif. Trois mesures sont réalisées

hydromorphe mais avec une saison des pluies, n'est pas négligeable. Il convient de proscrire ce risque de colonisation par des adventices et en conséquence de refus de l'épandage de boue issue de LSPR. Aussi pour annuler ce risque deux techniques ont fait leurs preuves :

- Le **déchiquetage des rhizomes à l'épandage**. Sur ce point, il est évident que le type d'appareil utilisé pour l'épandage joue sur l'aptitude à la repousse des roseaux à partir des rhizomes. Les épandeurs qui optimisent le déchiquetement des rhizomes sont les épandeurs à table d'épandage équipée de hérissons d'alimentation munis de couteaux broyeurs.
- La **dessiccation des rhizomes à l'air libre avant enfouissement**. Cette méthode reste néanmoins soumise à la possibilité réglementaire de différer l'enfouissement (c.-à-d. les rhizomes doivent être laissés à l'air libre lors de l'opération d'épandage) et à une période d'ensoleillement.



Epandage de boues sur parcelle agricole (crédit photo : Alliance Environnement)

Figure 31 : exemples d'épandage de boues

Par ailleurs, les retours d'expérience relatifs à l'épandage (Thirion, 2007¹²) pointent deux problèmes principaux liés à l'épandage :

- Les **faibles siccités** du dépôt de boue. La filière d'épandage souffre d'expériences malheureuses avec des boues pâteuses ou fluides. Dans cet état de consistance, les boues sont difficiles à transporter (important volume et possibilité de fuite lors du transport), odorantes et impossibles à stocker. De plus, même les épandeurs spécialisés maîtrisent difficilement leur débit d'épandage, ce qui conduit à une répartition désastreuse à la surface des champs. C'est pourquoi les boues pâteuses sont qualifiées d'inépandables. Il est donc primordial d'atteindre des siccités permettant d'atteindre une consistance solide. **Le seul moyen d'y parvenir et d'assurer un dimensionnement adéquat est une gestion adaptée et respectueuse des phases de fonctionnement des lits (acclimatation, démarrage et fonctionnement à la charge nominale).**
- **L'incertitude sur les volumes épandus**. Avant l'épandage, le volume de boues à épandre est estimé à partir de la surface des lits et de la hauteur du dépôt. Le calcul agronomique se base donc sur la quantité de MS¹³. S'il est difficile de peser les épandeurs, l'estimation des flux pourra être approchée par la densité volumique des boues sur la base de la Figure 32.

¹² Notons toutefois que ce rapport a été réalisé sur des installations qui n'étaient pas gérées de façon optimale au regard de l'état des connaissances accumulées dans le présent guide.

¹³ Remarquons toutefois que la facturation du chantier et le réglage des appareils se base sur la quantité de matière brute.

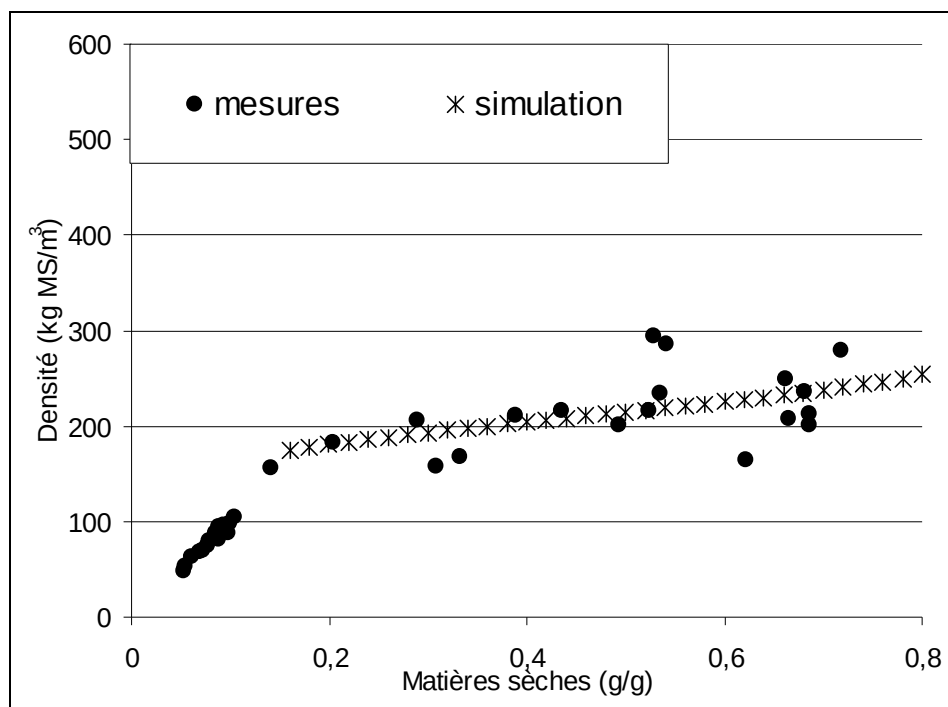


Figure 32 : densité des dépôts de boues activées et de MV en fonction de leur siccité (Vincent, J. 2011)

7.3.3 Intérêt d'une siccité accrue

Comme énoncé précédemment, ce guide vise à préciser les règles de dimensionnement et de gestion permettant d'obtenir des siccités supérieures à 25 % au moment du curage pour les boues activées et supérieure à 30 % pour les matières de vidange. Atteindre de telles siccités présente plusieurs avantages, à savoir :

- Eviter les boues inépendables (fluides ou pâteuses, malodorantes) qui discréditent la filière LSPR,
- Espacer les curages et ainsi diminuer le coût d'exploitation de la filière,
- Garantir le statut réglementaire de « boue stabilisées¹⁴ solides¹⁵ » permettant :
 - Le dépôt temporaire des boues sur la parcelle d'épandage (**intérêt** : possibilité de dissocier l'épandage du curage).
 - De ne pas imposer le délai d'enfouissement sous 48 h (**intérêt** : dessiccation des roseaux à l'air libre possible).
 - De passer la distance d'éloignement des berges de 35 m à seulement 5 m si l'enfouissement est immédiat (**intérêt** : augmente la surface d'épandage).
- Pouvoir descendre une pelle sur les lits (grande surface de lit) pour le curage.

Il est donc important de soigner le dimensionnement, la conception et la gestion des lits pour garantir de telle siccité au curage.

¹⁴ Boues dont la fermentation est soit achevée soit bloquée entre la sortie du traitement et la réalisation de l'épandage

¹⁵ Caractérisées par la possibilité de réaliser un talus « naturel » de 1 m de hauteur faisant un angle avec le sol supérieur à 30°

8 Conclusion

Ce guide est le résultat conjoint des récents travaux de recherche conduits de façon ininterrompue sur 6 ans sur le site d'Andancette, alliant dispositifs pilotes et en taille réelle et de la structuration du groupe de travail EPNAC qui permet de rassembler les « expériences du terrain ».

Il apporte la preuve que lorsqu'ils sont bien conçus/construits et gérés, les LSPR constituent une filière pertinente de déshydratation/stockage et minéralisation intégrée des boues des stations d'épuration qui, à investissement équivalent à celui de filières de déshydratation mécanique, apporte un produit stabilisé avec de surcroît, une réduction non négligeable des quantités à épandre et une gestion facilitée.

Néanmoins, ce procédé n'a pas toujours permis d'accéder aux espoirs qu'il pouvait légitimement susciter de la part des constructeurs et exploitants des stations d'épuration. Plusieurs causes peuvent être identifiées :

- Il met en œuvre des organismes vivants (les roseaux) qui sont par nature complexes à étudier et qui se développent dans un milieu artificiel non optimal. De plus, en cherchant à maximiser les performances pour réduire les surfaces en jeu (et donc les coûts d'investissement), les roseaux sont soumis à des conditions extrêmes qui influencent notablement leur développement et par ricochet, les performances escomptées.
- Les boues, qui constituent l'enjeu du procédé et dont la qualité finale est relativement codifiée pour une réutilisation sur terrains agricoles, sont d'une qualité dont la variabilité n'était pas initialement prise en compte dans le dimensionnement et la gestion.
- La recherche autour de ce procédé a longtemps été insuffisante. Cette recherche n'est pas facile à mettre en œuvre car elle nécessite des investissements lourds sur une longue période.
- Les acteurs qui conçoivent et construisent les lits sont très souvent différents de ceux qui les gèrent ensuite. Par ailleurs, le contexte extrêmement concurrentiel ne favorise pas l'échange de données et d'expérience qui sont pourtant indispensables au perfectionnement in-situ d'une filière de traitement qui doit nécessairement répondre, de façon aussi positive que possible, à de multiples impératifs (techniques, économiques, réglementaires, ...).

Les résultats obtenus à Andancette ont incontestablement apporté des connaissances fondamentales pour corriger des lacunes et mettre en évidence les paramètres clefs.

Ils démontrent aussi que le procédé est tout à fait adapté au traitement des matières de vidange issues de l'assainissement non collectif. C'est un point fondamental avec la mise en place des SPANC et l'augmentation croissante de boues de matières de vidange à traiter qui en découle. Cela permet d'envisager de réduire les transports de matières et de traiter aisément les boues au niveau local.

Ce guide permet ainsi de donner, en l'état actuel des connaissances, les clefs de conception et de gestion des ouvrages pour garantir des niveaux de siccité de 25 % pour les boues activées et de 30 % pour les matières de vidange.

Il faut désormais que tous les acteurs impliqués sur ce sujet mettent en pratique les recommandations contenues dans ce guide, qui nous l'espérons, suscitera un intérêt renouvelé pour échanger sur les connaissances et les expériences en termes de LSPR afin de perfectionner ce qui peut -et doit- encore l'être sur ce procédé.

9 Bibliographie

- ADEME (1996). Valeurs fertilisantes des boues d'épuration. Bases de référence pour leur intégration agronomique. Paris, *ADEME Editions*.
- Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes et M. Smith (1998). Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements, *United Nations FAO, Irrigation and Drainage Paper 56*, FAO, Rome, Italy.
- Armstrong, J., W. Armstrong et W. H. Van Der Putten (1996). Phragmites die-back: bud and root death, blockages within the aeration and vascular systems and the possible role of phytotoxins. *New Phytologist* **133**: 399-414.
- Bittmann, M. et K. Seidel (1967). Entwaesserung und aufbereitung von chemieschlamm mit hilfe von pflanzen. *GWF* **108**(18): 488.
- Brix, H. (1997). Do macrophytes play a role in constructed treatment wetlands ? *Water Science and Technology* **35**: 11-17.
- Boutin C., Gillot S., Heduit A., Mur I., Rish E., et Rous P. (2011). Modèle ACV - Filière de traitement des eaux usées par Boues Activées (BA). rapport d'ACV et données d'inventaire. Rapport d'étape Onema Aout 2011, 77p.
- Canler, J. P. (2010). Guide technique sur les matières de vidange issues de l'assainissement non collectif : caractérisation, collecte et traitements envisageables, *FNDAE n°37*.
- De Maeseneer, J. L. (1997). Constructed wetlands for sludge dewatering. *Water Science and Technology* **35**(5): 279-285.
- Deronzier, G. et J. M. Choubert (2004). Traitement du phosphore dans les petites stations d'épuration à boues activées. Comparaisons techniques et économiques des voies de traitement biologique et physico-chimique. Antony, *Cemagref Editions*
- Dominiak, D., M. L. Christensen, K. Keiding et P. H. Nielsen (2011). Sludge quality aspects of full-scale reed bed drainage. *Water Research* **45**(19): 6453-6460.
- Duchène, P. (1999). Estimation de la production des boues, *Cemagref Editions*.
- Frølund, B., R. Palmgren, K. Keiding et P. H. Nielsen (1996). Extraction of extracellular polymers from activated sludge using a cation exchange resin. *Water Research* **30**(8): 1749-1758.
- Fytili, D. et A. Zabaniotou (2008). Utilization of sewage sludge in EU application of old and new methods--A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **12**(1): 116-140.
- Gagnon, V., F. Chazarenc, Y. Comeau et J. Brisson (2007). Influence of macrophyte species on microbial density and activity in constructed wetlands. *Water Science and Technology* **56**(3): 249-254.
- Gagnon, V., F. Chazarenc, Y. Comeau et J. Brisson (2013). Effect of plant species on sludge dewatering and fate of pollutants in sludge treatment wetlands . *Ecological Engineering*, Vol 61, part B, 593-600.
- Hofmann, K. (1990). Use of phragmites in sewage sludge treatment. *Constructed Wetlands in Water Pollution Control (Adv. Wat. Pollut. Control)* Pergamon Press.
- Kaosal, T. (2007). Contribution à la caractérisation et à l'aptitude à la déshydratation des boues résiduelles urbaines. *Université des sciences et techniques de Montpellier 2, Montpellier*. 191 p.
- Kengne, I. M., A. Akoa, E. K. Soh, V. Tsama, M. M. Ngoutane, P. H. Dodane et D. Koné (2008). Effects of faecal sludge application on growth characteristics and chemical composition of *Echinochloa pyramidalis* (Lam.) Hitch. and Chase and *Cyperus papyrus* L. *Ecological Engineering* **34**(3): 233-242.
- Kickuth, R. (1969). Hoere wasserpflanzen und gewaesserreinigung. *Schriftenreihe Vereinigung Deutscher Gewaesserschutz* **19**: 3.
- Kim, B. J. et J. R. Cardenas (1990). Use of reed beds for dewatering sludge in the USA. *Constructed Wetlands in Water Pollution Control*, Pergamon Press.

- Lesavre, J. et A. Iwema (2002). Dewatering of sludge coming from domestic wastewater treatment plant by planted sludge beds. *8th International Conference on Wetland systems for Water Pollution Control, Arusha, Tanzania*.
- Liénard, A., Guellaf, H., Boutin, C. (2000) Choix du sable pour les lits d'infiltration percolation. *Ingénierie EAT*, n° special, pp 59-66.
- Liénard, A. (2004). Traitement des matières de vidange en milieu rural. Evaluation technico-économique des filières, *Cemagref Editions, Antony*.
- Liénard, A., J. P. Canler, M. Mesnier, S. Troesch et C. Boutin (2008a). Le traitement des matières de vidange: en station d'épuration ou en lits plantés de roseaux? *Ingénieries EAT* **53**: 35-48.
- Liénard, A., D. Esser, A. Deguin et F. Virloget (1990). Sludge dewatering and drying in reed beds : an interesting solution ? General investigation and first trials in France. *Constructed Wetlands in Water Pollution Control*, Pergamon Press.
- Liénard, A., S. Troesch et P. Molle (2006). Traitement et valorisation des boues par lits plantés de roseaux : bilans des réalisations françaises et danoises et perspectives d'avenir. *Colloque ADEME-CNISF: Quel devenir pour les boues de stations d'épuration urbaines ?*, Paris.
- Liénard, A., S. Troesch, P. Molle et D. Esser (2008b). Traitement des boues par lits plantés de roseaux : rappels des points clefs de cette technique. *Ingénieries EAT* N° **spécial**: 41-49.
- Liénard, A., S. Troesch, P. Molle, F. Thirion, P. Héritier, J.C. Baudez et D. Esser (2008c). Valorisation des boues traitées en lits plantés de roseaux : premiers retours d'expérience des curages épandage sur quelques stations Françaises. *Ingénieries EAT* N° **spécial**: 51-64.
- MEEDDAT (2009) Elements de contexte et réglementation française relatifs à la valorisation des boues issues du traitement des eaux usées. *MEEDDAT*. 15 p.
- Musy, A. et M. Soutter (1991). Physique du sol, *Presses polytechniques et universitaires romandes*.
- Nielsen, P. H., T. R. Thomsen et J. L. Nielsen (2004). Bacterial composition of activated sludge-importance for floc and sludge properties. *Water Science and Technology* **49**(10): 51-58.
- Nielsen, S. (1990). Sludge dewatering and mineralisation in reed bed systems. *Constructed wetlands in Water Pollution Control*: 245-255.
- Nielsen, S. (2002). Sludge drying reed beds. *8th International Conference on Wetland systems for Water Pollution Control, Arusha, Tanzania*.
- Nielsen, S. (2003). Sludge drying reed beds. *Water Science and Technology* **48**(5): 101-109.
- Nielsen, S. (2005). Sludge reed bed facilities: operation and problems. *Water Science and Technology* **51**(9): 99-107.
- Stricker, A.-E. et A. Héduit, (2010). Phosphore des eaux usées : Etat des lieux et perspectives. **Rapport Onema**: http://www.onema.fr/IMG/pdf/2010_026.pdf.
- Torrens, A., P. Molle, C. Boutin et M. Salgot (2006). Association of Stabilization Ponds and Intermittent Sand Filters: an appropriate wastewater treatment system for small communities. *7th Specialised IWA Conference on Small Water and Wastewater Systems, Mexico*.
- USEPA (1999). Septage treatment/disposal, Decentralized Systems Technology Fact Sheet, EPA 932-F-99-068.
- Vincent, J. (2011). Les lits de séchage plantés de roseaux pour le traitement des boues activées et les matières de vidange : adapter la stratégie de gestion pour optimiser les performances. *Université Montpellier 2, Irstea Lyon*. 236 p.
- Vincent, J., P. Molle, C. Wisniewski et A. Liénard (2011). Sludge drying reed beds for septage treatment: Towards design and operation recommendations. *Bioresource Technology* **102**(17): 8327-8330.

- Vincent, J., Forquet N., Molle P., et Wisniewski C. (2012). Mechanical and hydraulic properties of sludge deposit on sludge drying reed beds (SDRBs): Influence of sludge characteristics and loading rates. *Bioresource Technology*, vol 116, pp 161-169.
- Zwara, W. et H. Obarska-Pempkowiak (2000). Polish experience with sewage sludge utilization in reed beds. *Water Science and Technology* **41**: 65-68.

10 Table des illustrations

Figures :

Figure 1 : STEU de Kolding (Danemark) traitant 2000 T/an de MS (125 000 EH). Crédit photo Orbicon/Steen Nielsen.....	11
Figure 2: réduction de la production de boue par minéralisation pour les BA (gauche) et les MV (droite) et pour différentes charges appliquées.....	12
Figure 3 : Représentation schématique d'un lit de séchage de boues planté	13
Figure 4: processus impliqués dans les LSPR (adapté de Molle, 2012)	14
Figure 5 : Evolution du ratio volume drainé en 24 heures/concentration en MES du percolat en fonction du coefficient d'uniformité ($CU = d_{60}/d_{10}$) du matériau de filtration	16
Figure 6 : Evolution du volume drainé en 24 heures en fonction de la charge hydraulique appliquée par bâchée dans le cas des boues activées	17
Figure 7 : Evolution théorique (gauche) et réellement mesurée à Andancette (droite) du coefficient cultural en fonction du stade de développement de la plante (Vincent, 2011)	18
Figure 8 : Evolution de la valeur du coefficient de stress (K_s) en fonction de la siccité du dépôt de boue (Vincent, 2011)	19
Figure 9 : Présence de vers de compost au sein de la couche de boues accumulées en surface d'un lit. Crédit photo Irstea.	20
Figure 10 : anneaux libres autour des tiges, conséquence majeure du rôle mécanique des roseaux. Crédit photo Irstea.	22
Figure 11 : traitement conjoint des MV avec les BA.	24
Figure 12 : traitement direct des MV sur LSPR.....	25
Figure 13 : Schéma résumant les différents points à considérer en amont du dimensionnement (encadré pointillé bleu) et lors du dimensionnement de LSPR (Légende : BA = Boues Activées, MV = Matières de vidange, BA/MV = mélange boues activées et matières de vidange).....	29
Figure 14 : Exemple de décroissance des flux de DCO et de MES extraits des fosses toutes eaux en fonction du temps de séjour des matières de vidange dans la fosse (issue de Liénard et al. (2008a)	31
Figure 15 : Evolution de la siccité mesurée sur les pilotes de 2 m ² alimentés par des matières de vidange (MV) à différentes charges (c.-à-d. 30, 50 et 70 kg MES.m ⁻² .an ⁻¹), à Andancette (Drôme, 26)	34
Figure 16 : Evolution de la hauteur de boue accumulée en fonction des tonnes de MS reçues pour des installations équipées de 4 et 8 lits (Nielsen, 2005)	35
Figure 17 : Aire de dépotage de station traitant des matières de vidange.....	39
Figure 18 : photos de la cuve de stockage (6 jours) avec agitateur et hydroéjecteurs de la station de Nègrepelisse (11 000 m ³ /an).....	40
Figure 19 : Schéma fonctionnel de l'unité de traitement des matières de vidange de Nègrepelisse (82, 11 000 m ³ /an). Schéma Epur nature.	42
Figure 20 : mode constructif en a) déblais remblais, b) casier béton	43
Figure 21 : Evolution de la hauteur de boue accumulée et des années de fonctionnement nominal en fonction du dimensionnement des LSPR pour le traitement des boues activées	44
Figure 22 : Photo d'un carottage réalisé sur un lit garni de compost trop fin et donc imperméable (crédit photo : Irstea)	46
Figure 23 : Exemple de géogrille tridimensionnelle commercialisée par ENKAMAT®.....	46
Figure 24 : Schématisation de la disposition des fentes d'aération et de drainage	48
Figure 25 : Enregistrement continu du débit de drainage sur un lit en taille réelle à Andancette chargé à 30 kg MS.m ⁻² .an ⁻¹ de boues activées (débit d'alimentation de 0,28 m ³ .m ⁻² .h ⁻¹).....	50
Figure 26 : dynamique d'évolution du dépôt de boue sur des pilotes de 2 m ² (Vincent J., 2011)	51
Figure 27 : représentation de lits avec une densité de tige supérieure à 250/m ² (crédit photo ARPE PACA).....	55
Figure 28 : Exemple d'un cycle de curage complet d'une installation comportant 8 lits, avec simulation de l'évolution de la hauteur de boue et de la charge reçue par le premier lit curé. Considérations : Périodes de repos prolongé de 6 mois (mars à août – année n)/Curage fin août/Redémarrage à 25 kg MS.m ⁻² .an ⁻¹ (septembre à juillet)/Passage au nominal 50 kg MS.m ⁻² .an ⁻¹ (en août – année n+1)	59
Figure 29: photos de lits ayant subi des dysfonctionnements.....	62
Figure 30 : exemple de curage de lits de séchage de boues.....	71
Figure 31 : exemples d'épandage de boues	72
Figure 32 : densité des dépôts de boues activées et de MV en fonction de leur siccité (Vincent, J. 2011).....	73

Tableaux :

Tableau 1 : Présentation des avantages et inconvénients de chacune des stratégies imaginées pour le traitement des matières de vidange	25
Tableau 2 : Composition de différents types de boue issues de l'assainissement collectif, selon la littérature	26
Tableau 3 : Composition des matières de vidange selon leur provenance	28
Tableau 4 : Quelques exemples de facteurs k calculés pour différentes STEU équipées d'un traitement biologique à boues activées (Duchène, 1999)	30
Tableau 5 : Choix de la charge surfacique de dimensionnement et du nombre de lits à mettre en place pour le traitement des boues activées en fonction de la capacité de la STEU sur laquelle sont installés les LSPR	32
Tableau 6 : Choix de la charge et du nombre de lits à mettre en place en fonction du volume de matière de vidange à traiter	34
Tableau 7 : Qualité des percolats obtenue au nominal pour le traitement des boues activées sur pilotes de 2 m ² d'Andancette, en fin de période d'alimentation	38
Tableau 8 : Estimation de la proportion des flux de polluants en sortie des lits par rapport au flux entrant sur la station (hypothèse d'une STEU de 10000 EH à charge nominale avec 8 lits)	38
Tableau 9 : Qualité des percolats obtenue au nominal lors du traitement des matières de vidange sur des pilotes de 2 m ²	41
Tableau 10 : Inventaire des avantages et inconvénients des deux types de construction (Casiers béton ou Déblai-Remblai) actuelles des LSPR	43
Tableau 11 : charge surfacique maximale à appliquer en fonction du type de boue et du dimensionnement de l'installation pour différentes phases	53
Tableau 12 : Evolution de la charge surfacique à appliquer lors du traitement des boues activées (exprimée en kg MS.m ⁻² .an ⁻¹) jusqu'à atteindre la charge surfacique de dimensionnement (c.-à-d. 50 kg MS.m ⁻² .an ⁻¹)	56
Tableau 13 : Evolution de la charge surfacique à appliquer lors du traitement des matières de vidange (exprimée en kg MES.m ⁻² .an ⁻¹) jusqu'à atteindre la charge surfacique de dimensionnement (c.-à-d. 50 kg MES.m ⁻² .an ⁻¹)	57
Tableau 14 : Evolution de la fréquence d'alimentation (c.-à-d. ratio entre le nombre de jour d'alimentation et de repos) en fonction de la phase de fonctionnement des LSPR	61
Tableau 15 : Descriptif des différents tests de caractérisation des boues issues des LSPR	63
Tableau 16 : Caractéristiques des LSPR taille réelle et pilotes d'Andancette et de la stabilité du dépôt de boue en fonction du type de boue traité	64
Tableau 17 : Teneurs en micropolluants métalliques et organiques dans le dépôt de boue en fonction du type de boue traité	65
Tableau 18 : Teneur en indicateurs de traitement dans la boue liquide et dans le dépôt de boue accumulé sur les LSPR, en fin de période de repos (pilote = 25 jours, taille réelle = 90 jours)	66
Tableau 19 : Teneurs limites en indicateurs de traitement et en pathogènes pour l'utilisation des boues en agriculture (NFU 44-095)	67
Tableau 20 : Nombre d'analyses de boues lors de la première année (reproduction de l'annexe IV de l'arrêté du 08/01/98)	68
Tableau 21 : Nombre d'analyses de boues en routine chaque année (reproduction de l'annexe IV de l'arrêté du 08/01/98)	68

11 Remerciements

Les auteurs remercient Alain Liénard, pour sa relecture avisée, ainsi que le Syndicat Intercommunal d'Assainissement du Pays d'Albon et Olivier Reveillard (exploitant de la station d'Andancette) pour l'accueil lors de nos expérimentations sur leur station d'épuration. De même, Steen Nielsen (smni@orbicon.dk), Alliance environnement et la Communauté de Communes Terrasses et Vallée de l'Aveyron sont remerciés pour les photographies fournies pour ce guide.

Onema

Hall C – Le Nadar
5, square Félix Nadar
94300 Vincennes

01 45 14 36 00

www.onema.fr

Irstea

5 rue de la Doua,
CS 70077
69 626 Villeurbanne Cx, France

04 72 20 87 87

www.irstea.fr