



HAL
open science

Étude du traitement des boues par minéralisation sur lits plantés de roseaux : méthodes comparées et vidange des lits

Marion Bazinette

► **To cite this version:**

Marion Bazinette. Étude du traitement des boues par minéralisation sur lits plantés de roseaux : méthodes comparées et vidange des lits. Sciences de l'ingénieur [physics]. 2012. dumas-01654580

HAL Id: dumas-01654580

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01654580>

Submitted on 6 Jan 2022

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

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

TRAVAIL DE FIN D'ETUDES

Etude du traitement des boues par minéralisation sur lits plantés de roseaux

Méthodes comparées et vidange des lits



Source : Pouilley Les Vignes, EMCH+BERGER 2010.

Mémoire présenté pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur de l'ENGEES

Projet réalisé du 16 janvier au 24 août 2012

Apprentie
Marion BAZINETTE
ENGEES
Promotion FES
2012

Tuteur Ecole
Marianne BERNARD
Ingénieur
ENGEES

Maitre d'Apprentissage
Rémy JACKY
Gérant
EMCH+BERGER Strasbourg

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier tout particulièrement Monsieur Rémy JACKY, Gérant de la société EMCH+BERGER basée à HOENHEIM (67), sans qui non seulement ce travail de fin d'études n'aurait pas été possible, mais également ma formation d'ingénieur de l'ENGEES par la voie de l'apprentissage.

J'accorde également une pensée particulière à l'ensemble des employés de la société qui m'ont accueillie chaleureusement et qui ont tout mis en œuvre pour que cette première expérience professionnelle se déroule du mieux possible.

Toute ma reconnaissance s'adresse également à Monsieur Pascal MOLLE de l'IRSTEA (anciennement CEMAGREF) de Lyon pour ses conseils et son aide quant à une meilleure compréhension de l'approche « Française » des lits plantés de roseaux pour le traitement des boues. Egalement de m'avoir accompagné et permis d'accéder à la station de traitement des eaux usées d'Andancette (26) afin d'y effectuer des relevés indispensables à ce mémoire de fin d'études.

Je remercie aussi Monsieur Patrick MEIER, Mesdames Marie-Pierre OTTERMATE et Carole LUTZ, respectivement Responsable et Techniciennes du Laboratoire d'Etude des Eaux de l'ENGEES pour leur aide tout au long des analyses ainsi que leurs conseils quant aux procédures de prélèvements et validité des données.

De plus, je tiens à remercier Julien LAURENT, Maître de Conférences à l'ENGEES, pour ses conseils lors de l'interprétation des données récoltées.

Ce travail est également le fruit d'une large collaboration positive avec des différents acteurs m'ayant fourni des informations ainsi que leurs remarques constructives. Je souhaite donc souligner leur implication dans ce projet : Patricia LARS du SDEA du Bas-Rhin, Amaranta SANTISTEBAN du bureau d'études Suisse HOLINGER, Jean-Pierre RUCKLIN Maire de Vieux-Ferrette, Christophe BARBOT de la Chambre d'Agriculture du Bas-Rhin ainsi que l'ensemble des entreprises contactées au cours de l'analyse technico-économique.

Enfin je remercie Madame Marianne BERNARD et Mademoiselle Céline ADNET, respectivement Ingénieur ENGEES et Responsable de la Formation d'Ingénieurs par Apprentissage, pour m'avoir suivi et épaulé tout au long de la formation et de ce travail de fin d'études.

RESUME

Etude du traitement des boues par minéralisation sur lits plantés de roseaux **Méthodes comparées et vidange des lits**

Au cours de ma formation d'ingénieur de l'ENGEES par apprentissage, j'ai été amenée à réaliser un travail de fin d'études au sein de ma structure d'accueil.

Ce stage de fin d'études a été consacré au traitement des boues par minéralisation sur lits plantés de roseaux. L'objectif de ce projet est double. Premièrement, comparer les filtres plantés de roseaux dimensionnés suivant les préconisations de l'IRSTEA et ceux à partir des préconisations Allemandes (d'un point de vue de la « structure » de l'installation et des préconisations de chacun, mais aussi de l'évolution de la qualité des boues et des percolats). Par la suite, réaliser une étude technico-économique de vidange des lits.

Pour ce faire, une implication dans la compréhension du sujet a été nécessaire, ainsi qu'un suivi et une analyse comparative de données récoltées aussi bien bibliographiques qu'expérimentales. De plus, le travail en équipe et la contribution de chacun au sein de la société EMCH+BERGER Strasbourg a été un réel atout dans l'aboutissement de ce projet de fin d'études.

En ce qui concerne les résultats des filtres plantés de roseaux, des disparités ont été relevées, notamment en France. Ces écarts dans les performances de traitement peuvent s'expliquer par la méthode utilisée : IRSTEA ou Allemande. Les différences d'une approche à l'autre proviennent de facteurs, tel que par exemple : l'origine des boues, la charge surfacique, la structure du massif filtrant et les plans d'alimentation des lits.

De plus, grâce à l'étude technico-économique de vidange des lits, cela mettra en évidence les devenir possibles des boues ainsi que les couts.

En conclusion, des premiers éléments de réponse à la problématique de l'influence des deux méthodes sur la qualité des boues seront avancés ainsi que de possibles devenir de celles-ci. Cependant il faudra certainement attendre plusieurs années avant de répondre définitivement à la question du dimensionnement optimum et de l'exploitation idéale d'une filière de minéralisation des boues sur lits plantés de roseaux.

ABSTRACT

Study of sewage sludge treatment by mineralization on reed beds **Compared methods and beds emptying**

During my engineering education at the ENGEES by apprenticeship, I have been directed to do a final 6-months report in my company.

This final internship was dedicated to the sewage sludge treatment on reed beds. The aim of this project is twofold. Firstly, to compare reed beds designed by the IRSTEA method and the German method (to the point of view of the structure itself and the evolution of sludge quality and percolates). Secondly, to complete a technical-and economic study about sludge evacuation from planted filters.

An implication about the subject comprehension has been necessary, as a following and comparative analyze from bibliographic and experimental data. Moreover, team work and each one contribution in the company EMCH+BERGER Strasbourg as been a real advantage to succeed.

With results from reed beds to treat sludge discrepancies have been noted, especially in France. These differences about the performances and the design are explained by the method used: IRSTEA or German method. Some factors are responsible of that, such as: sludge origin, surface load, filtering massif structure and beds feeding plan.

Moreover, the technical and economic study of planted beds sludge evacuation will show the possible futures of the sludge.

To finish, the first parts of an answer about the influence of each method on sludge quality are given in this dossier. However, it will take years before the problem of determining an optimum design and an ideal way of exploitation will be completely solved.

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS	2
RESUME	4
ABSTRACT	5
LISTES DES TABLEAUX ET DES EQUATIONS	9
LISTE DES FIGURES	10
LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS	11
INTRODUCTION	12
PARTIE 1 : CONTEXTE DE L'ETUDE	14
1. EMCH + BERGER	14
1.1 Historique	14
1.2 La société EMCH + BERGER Strasbourg	15
1.2.1 Les activités de la société	16
1.2.2 Les moyens humains	16
2. OBJECTIFS DU PROJET ET METHODOLOGIE	16
2.1 Minéralisation des boues sur lits plantés de roseaux : Etat de l'art	16
2.2 Les objectifs et les enjeux	17
2.3 La méthodologie	17
PARTIE 2 : PRESENTATION DES LITS PLANTES DE ROSEAUX	18
1. PRINCIPES DES OUVRAGES	18
1.1 Objectif	18
1.2 Description générale de la structure	19
1.2.1 Roseau et substrat	19
1.2.2 Le système de drains	20
1.3 Le fonctionnement	20
1.3.1 Réaction physique : Le Roseau	20
1.3.2 Réaction chimique : Le Rhizome	21
1.3.3 Le curage	22
2. METHODES COMPAREES: ELEMENTS BIBLIOGRAPHIQUES	22
2.1 Dimensionnement : Boues et charge surfacique	22
2.1.1 La production de boues	23
2.1.2 La charge surfacique	24
2.1.3 Calculs de surface et nombre de lits	25
2.2 Origines des boues	26
2.3 Le massif filtrant	26
2.4 Alimentation des lits	28
2.5 Les roseaux	29
2.6 Tableau récapitulatif	30
PARTIE 3 : INFLUENCES SUR DES CAS PRATIQUES	32
1. MISE EN PLACE DES CAMPAGNES DE MESURES	32
1.1 Choix des stations de traitement des eaux usées	32

Etude du traitement des boues par minéralisation sur lits plantés de roseaux
Méthodes comparées et vidange des lits

1.1.1	Préconisations Allemandes	33
1.1.1.1	Ingolsheim (67).....	33
1.1.1.2	Ferrette (68).....	34
1.1.2	Préconisations de l'IRSTEA	35
1.1.2.1	Andancette (26).....	35
1.2	Procédure de prélèvement.....	36
1.2.1	Sécurité et matériel	36
1.2.1.1	Sécurité	36
1.2.1.2	Matériel.....	37
1.2.2	Les boues.....	37
1.2.2.1	Boues issues de l'alimentation des lits	37
1.2.2.2	Boues des lits plantés.....	38
1.2.3	Les filtrats.....	39
1.3	Paramètres à analyser et contraintes.....	39
2.	EXPLOITATION DES RESULTATS.....	40
2.1	Bilan des campagnes de mesures	41
2.1.1	La première campagne	41
2.1.2	La deuxième campagne	41
2.2	Les résultats.....	41
2.2.1	Compte rendu et analyse des données des prélèvements.....	42
2.2.1.1	Ingolsheim (67) / Préconisations Allemandes.....	42
2.2.1.2	Ferrette (68) / Préconisations Allemandes.....	45
2.2.1.3	Andancette (26) / Préconisations de l'IRSTEA	48
2.2.2	Prise en compte des données pluviométriques	50
2.2.2.1	Relevés manuels sur site / Ingolsheim (67).....	50
2.2.2.2	Bâle-Mulhouse / Ferrette (68).....	51
2.2.2.3	Lyon-Bron / Andancette (26).....	52
2.3	Interprétation.....	53
2.3.1	Les phénomènes de déshydratation et de minéralisation	53
2.3.1.1	Les boues d'alimentation.....	53
2.3.1.2	Les boues des lits plantés de roseaux.....	55
2.3.1	Les retours en tête de station.....	59
2.4	Synthèse sur les méthodes.....	63
	PARTIE 4 : ETUDE TECHNICO ECONOMIQUE DE VIDANGE DES LITS	64
1.	CHOIX DU CONTEXTE.....	64
1.1	Résumé.....	64
1.2	La station de traitement des eaux usées d'Ingolsheim (67)	64
1.2.1	Généralités	64
1.2.2	Le lit n°1 « coté rivière ».....	65
2.	LE SCENARIO DE CURAGE.....	66
2.1	Solution technique.....	66
2.1.1	Les roseaux.....	66

Etude du traitement des boues par minéralisation sur lits plantés de roseaux
Méthodes comparées et vidange des lits

2.1.2	Le curage	66
2.1.3	Devenir des boues	67
2.1.3.1	<i>Choix principal : Le compostage</i>	68
2.1.3.2	<i>Choix annexe : La valorisation agricole</i>	69
2.2	Analyse économique.....	70
2.2.1	La vidange du lit planté de roseaux.....	70
2.2.2	Comparaison avec une filière de déshydratation classique : Le filtre presse mobile.....	72
CONCLUSION		74
GLOSSAIRE		76
BIBLIOGRAPHIE		80
ANNEXES		84

LISTE DES TABLEAUX

	Pages
Tableau 1 : Tableau récapitulatif des éléments de comparaison bibliographiques.....	31
Tableau 2 : Récapitulatif des paramètres analysés.....	40
Tableau 3 : Planning prévisionnel des analyses.....	40
Tableau 4 : Récapitulatif des incertitudes de mesure et limites de quantification (LEE).....	41
Tableau 5 : Résultats du silo d'Ingolsheim (67).....	43
Tableau 6 : Résultats des boues des lits d'Ingolsheim (67).....	44
Tableau 7 : Résultats des percolats d'Ingolsheim (67).....	45
Tableau 8 : Résultats du silo de Ferrette (68).....	46
Tableau 9 : Résultats des boues des lits de Ferrette (68).....	47
Tableau 10 : Résultats des percolats de Ferrette (68).....	47
Tableau 11 : Résultats du bassin d'aération d'Andancette (26).....	48
Tableau 12 : Résultats des boues du lit planté d'Andancette (26).....	49
Tableau 13 : Résultats des percolats d'Andancette (26).....	49
Tableau 14 : Valeurs de siccités connues sur d'autres STEU en France (Thirion, 2007).....	56
Tableau 15 : Récapitulatif des volumes influant la quantité de percolats renvoyée en tête de station.....	62
Tableau 16 : Valeurs agronomiques du lit à l'arrêt de la STEU d'Ingolsheim.....	69
Tableau 17 : Etude économique de vidange du lit n°1 (côté rivière) de la STEU d'Ingolsheim (67).....	71
Tableau 18 : Comparaison du prix du curage dans différentes unités.....	72
Tableau 19 : Etude économique de déshydratation par filtre presse mobile.....	72
Tableau 20 : Comparatif économique des deux filières de traitement.....	73

LISTE DES EQUATIONS

	Pages
Équation 1 : Formule d'Eckenfelder.....	23
Équation 2 : Formule dite "du binôme".....	24
Équation 3 : Transformation Tonnes vers Mètres cubes.....	24
Équation 4 : Formule de dimensionnement de la surface des lits.....	25
Équation 5 : Détermination du nombre de carottages à effectuer dans les lits.....	38

LISTE DES FIGURES

	Pages
Figure 1 : Implantation des Sociétés et Filiales EMCH+BERGER Allemagne, France et Autriche.....	14
Figure 2 : Implantations EMCH+BERGER Suisse.....	14
Figure 3 : Situation géographique EMCH+BERGER Strasbourg	15
Figure 4 : Evolution du nombre de lits plantés de roseaux pour le séchage des boues, 2003	16
Figure 5 : Filtre de traitement des boues - Configuration générale.....	19
Figure 6 : Hauteur de calcul de la charge surfacique des lits en déblai-remblai IRSTEA	25
Figure 7 : Structure du massif filtrant préconisée par l'IRSTEA (Issu d'une unité pilote).....	27
Figure 8 : Structure du massif filtrant préconisée par la méthode Allemande.....	27
Figure 9 : Carte des sites de minéralisation des boues accessibles (Est de la France)	33
Figure 10 : Vue aérienne de la STEU d'Ingolsheim (67).....	33
Figure 11 : Vue aérienne de la STEU de Ferrette (68).....	34
Figure 12 : Vue aérienne de la STEU d'Andancette (26).....	35
Figure 13 : Illustration de la localisation d'un point de prélèvement suivant le cas de lits en béton ou déblai-remblai	39
Figure 14 : Pluviométrie des mois de mai, juin et juillet 2012 à Ingolsheim	51
Figure 15 : Pluviométrie des mois de mai et juin 2012 à la station Bâle-Mulhouse	52
Figure 16 : Pluviométrie des mois de mai et juin 2012 à la station Lyon-Bron.....	52
Figure 17 : Evolution de la fraction organique et minérale des boues d'alimentation par rapport aux paramètres MES et MVS	53
Figure 18 : Evolution de la fraction organique et minérale des boues d'alimentation suivant les paramètres azotés.....	54
Figure 19 : Comparaison de la siccité des boues d'alimentation et des lis plantés au repos	55
Figure 20 : Evolution de la fraction organique et minérale des boues d'alimentation et des lits plantés de roseaux au repos suivant les paramètres MES et MVS	57
Figure 21 : Graphique de l'évolution de la fraction organique et minérale des boues d'alimentation et des lits plantés de roseaux suivant les paramètres azotés.....	58
Figure 22 : Evolution des concentrations en DCO, NTK, NH ₄ et Pt sur les STEU d'Ingolsheim, Ferrette et Andancette	60
Figure 23 : Concentration en MES (mg/l) dans les percolats retournés en tête de station	61
Figure 24 : Plan de localisation de la STEU d'Ingolsheim (67)	64
Figure 25 : Photo du lit à vidanger (lit n°1 « coté rivière »)	65
Figure 26 : Photo des roseaux depuis l'intérieur du lit	66
Figure 27 : Extrait du plan du lit n°1 "coté rivière" de la STEU d'Ingolsheim (67)	67
Figure 28 : Périmètre d'épandage possible (SIAR, 2000).....	70

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

AERM : Agence de l'Eau Rhin-Meuse

CEMAGREF : Centre nationale du Machinisme Agricole, du Génie Rural, des Eaux et Forêts

CG : Conseil Général

DBO : Demande Biologique en Oxygène

DCO : Demande Chimique en Oxygène

E+B : EMCH+BERGER

EH : Equivalent Habitant

ENGEES : Ecole Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement de Strasbourg

EP : Eaux Pluviales

ETM : Eléments Traces Métalliques

EU : Eaux Usées

H₂SO₄ : Acide Sulfurique

IRSTEA : Institut national de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture

LEE : Laboratoire d'Etude des Eaux

MES : Matières En Suspension

MMS : Matières Minérales en Suspension

MO : Matière Organique

MS : Matières sèches

MV : Matières de Vidange

MVS : Matières Volatiles en Suspension

NH₄ : Azote Ammoniacal

NO₃⁻ : Nitrates

NTK : Azote Total Kjeldahl

ONEMA : Office Nationale de l'Eau et des Milieux Aquatiques

PH : Potentiel Hydrogène

Pt : Phosphore total

SBR : Sequential Batch Reactor / *Réacteur Biologique Séquentiel*

SDEA : Syndicat Des Eaux et d'Assainissement

STEU : Station de Traitement des Eaux Usées

TFE : Travail de Fin d'Etudes

INTRODUCTION

L'assainissement est une démarche permettant de veiller à la préservation de l'environnement dans ses différentes composantes tel que la gestion des déchets ou encore le traitement des eaux usées.

Dans le processus de traitement des eaux usées, des boues d'épuration sont alors créées. Bien qu'à ce jour plusieurs types de boues soient identifiables, l'intérêt de cette étude se porte sur les boues biologiques. Riches en matières organiques et en bactéries, elles sont idéales pour une minéralisation sur lits plantés de roseaux.

Le fonctionnement de ces installations réside globalement dans le développement des plants de roseaux à travers les boues épandues sur les lits favorisant la minéralisation. De plus, l'évaporation par les plantes ainsi que les systèmes de drainage des eaux à travers le substrat facilite la déshydratation. Bien que nécessitant une surface disponible conséquente, les frais d'exploitation très réduits de par l'économie d'énergie et de personnel, mais aussi l'absence d'additifs tels que des polymères font de cette méthode dite « extensive » un mode de traitement des boues intéressant pour les collectivités rurales.

Populaire en Allemagne et au Danemark depuis plus d'une vingtaine d'années, le procédé fait son apparition en France grâce à des recherches menées par l'IRSTEA et des bureaux d'études comme ici EMCH+BERGER Strasbourg conservant la méthodologie germanique. Cependant, des disparités et des dysfonctionnements sont observés. Comment peut-on les expliquer : les méthodes de conception et de gestion des lits sont-elles à l'origine de ces problèmes ?

Après une présentation du contexte de l'étude et des lits plantés de roseaux pour le traitement des boues, nous tenterons d'apporter des premiers éléments de réponses à ces disparités à l'aide de données aussi bien bibliographiques qu'expérimentales. Par la suite nous étudierons d'un point de vue technique et économique la question de la vidange des lits plantés ainsi que du devenir des boues minéralisées.

PARTIE 1 : CONTEXTE DE L'ETUDE

1. EMCH + BERGER

1.1 Historique

EMCH + BERGER a été fondé dans les années cinquante à Berne et à Soleure par deux ingénieurs suisses : Fritz BERGER et Willy EMCH. Aujourd'hui, on compte près de 600 collaborateurs répartis entre la Suisse, l'Allemagne, la France et l'Autriche.



Source internet, <http://www.emchetberger.fr/>.

Figure 1 : Implantation des Sociétés et Filiales EMCH+BERGER Allemagne, France et Autriche



Source internet, <http://www.emchetberger.fr/>.

Figure 2 : Implantations EMCH+BERGER Suisse

Lors de la création de l'entreprise, le secteur industriel était en plein essor, ce qui lui permit de faire des débuts prometteurs en 1972 en Allemagne grâce au chantier d'électrification des chemins de fer de la Schwarzwaldbahn¹. D'autres chantiers suivirent permettant à l'entreprise de grandir et d'ouvrir alors un bureau à Karlsruhe, puis cinq en République Fédérale Allemande et cinq autres en ex République Démocratique Allemande après la réunification (EMCH + BERGER, 2012).

Les principaux domaines d'actions d'EMCH+BERGER dans sa globalité sont :

- Travaux publics (voiries, ouvrages d'art, tunnels, réseaux divers...)
- Trafics
- Topographie et les Systèmes d'Information Géographique
- Hydraulique (protection contre les crues et les dangers naturels)
- Ingénierie informatique
- Autre domaines : Management, Immobilier, Architecture.

En 2002, le transfert des parts de la société aux salariés de la maison mère provoqua l'indépendance des agences EMCH + BERGER, permettant à celle de Strasbourg de devenir une SARL² (EMCH + BERGER, 2012). Son indépendance est également liée au mode de gestion de la société lui permettant une totale liberté dans le choix de ses projets.

C'est aujourd'hui pour cette diversité et son emplacement géographique que l'entreprise est reconnue et appréciée. C'est également dans ses projets de lits plantés de roseaux que la société a choisit de se démarquer en conservant la méthode Allemande issue de ses origines germaniques et de l'expérience de son gérant.

1.2 La société EMCH + BERGER Strasbourg

La société EMCH+BERGER Strasbourg existe depuis 1994. Initialement située en centre-ville, son siège est à l'heure actuelle à Hœnheim (67).



Source internet, <http://www.sig-strasbourg.net/>.

Figure 3 : Situation géographique EMCH+BERGER Strasbourg

¹ Réseau ferré de la Forêt Noire.

² SARL : Société Anonyme à Responsabilité Limitée.

1.2.1 Les activités de la société

Gérant de la société depuis 1997, Monsieur Rémy JACKY est, parmi ses fonctions, en charge de diriger plusieurs équipes attachées à différents domaines aussi bien techniques qu'administratifs.

Ces axes de travail sont :

- Aménagement urbain / Ouvrages d'arts : Voirie, éclairage public, lotissement, etc.
- Hydraulique Urbaine : Eau potable, assainissement, Station de Traitement des Eaux Usées (STEU), etc.
- Suivi de Chantier : Contrôle de l'avancement des travaux et réception.
- Service Administratif : Création courriers, offres, mise en forme, etc.

Il convient de souligner que l'entreprise PLANTEO intervient en tant que constructeur des lits plantés de roseaux pour EMCH+BERGER.

1.2.2 Les moyens humains

L'organigramme de la société est fourni en [Annexe 1](#).

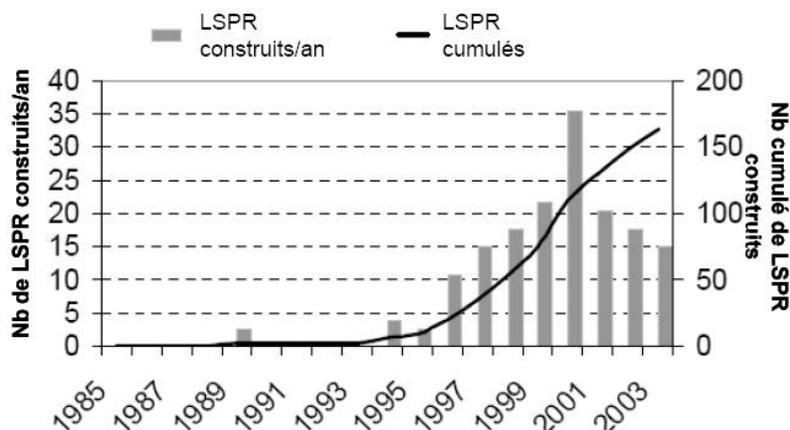
2. OBJECTIFS DU PROJET ET METHODOLOGIE

2.1 Minéralisation des boues sur lits plantés de roseaux : Etat de l'art

Initialement non plantés, de nombreuses recherches ont conduits à la plantation des lits afin d'éviter des soucis de colmatage (Liénard *et al.*, 1994).

Rapidement mis en œuvre en Allemagne et au Danemark, ce procédé s'est implanté en France dans le courant des années 1990 suite à des recherches menées par l'IRSTEA à la demande de la société SAUR (Liénard *et al.*, 2008).

On estime à plus de 300 le nombre de stations équipées de ce type de traitement des boues. Leurs capacités sont comprises principalement dans un intervalle de 700 à 4 000 Equivalent-Habitants (EH). Malgré tout, les installations tendent à s'agrandir, certaines dépassent déjà les 10 000 EH (Liénard *et al.*, 2008).



Source thèse Julie VINCENT, 2011.

Figure 4 : Evolution du nombre de lits plantés de roseaux pour le séchage des boues, 2003

Toutefois les performances atteintes en France sont loin des 40 % de siccité constatés au Danemark (Nielsen, 2003 ; Nielsen, 2007).

2.2 Les objectifs et les enjeux

Face à ce nouvel engouement pour les techniques de minéralisation plus rustiques, ce projet de fin d'études pourra représenter un atout certain pour la société. En effet, il présentera un retour d'expérience sur le traitement des boues par minéralisation sur lits plantés de roseaux et deux différentes techniques d'appréhension de ce procédé. Cette réflexion représentera sans conteste un avantage pour les futurs projets de ce type et donc un atout commercial et technique pour l'entreprise.

Afin de mener ce projet à bien et d'en conforter l'utilité, voici les deux axes à suivre :

- Réaliser une comparaison et un suivi des installations afin de déterminer l'influence des préconisations utilisées pour concevoir et exploiter les filtres plantés (IRSTEA et Allemande),
- Effectuer une étude technico-économique de vidange des lits afin d'apporter des solutions aux possibles devenir des boues.

Dans l'optique de répondre à ces objectifs il est important de s'organiser dans le temps autour d'un certains nombres de tâches à accomplir.

2.3 La méthodologie

Les actions à mettre en œuvre sont aussi bien bibliographiques qu'expérimentales, en passant par la prise de contact avec des intervenants du domaine étudié ou encore la réalisation d'une étude technico économique de vidange des lits.

Pour réaliser ce projet, il a donc été nécessaire de :

- Prendre connaissance du sujet,
- Rechercher et consulter les documents disponibles afin d'approfondir et d'enrichir cette étude au maximum,
- Rencontrer et communiquer avec les personnes ressources afin d'obtenir les informations relatives au fonctionnement des lits plantés de roseaux, principe de dimensionnement ainsi qu'avis sur le déroulement de ce travail de fin d'études,
- Se rendre sur site, procéder et participer à des analyses après détermination des paramètres sur lesquels nous avons choisi de nous focaliser,
- Rassembler sous forme de fiches techniques/références les informations relatives aux installations de minéralisation des boues disponibles.

Cette première partie rédactionnelle et analytique autour de la comparaison des deux méthodes de dimensionnement permettra d'apporter les premiers éléments de réponse quant à un choix directionnel de conception et d'exploitation des installations de minéralisation des boues par lits plantés de roseaux.

D'autre part, l'étude technico économique de vidange des lits est également issue de l'enchaînement de plusieurs tâches :

- Rechercher des données de coûts existants,
- Comprendre et intégrer les notions de fréquence de curage des lits,
- Créer cette étude sur la base d'une installation conçue suivant les préconisations Allemandes.

PARTIE 2 : PRESENTATION DES LITS PLANTES DE ROSEAUX

1. PRINCIPES DES OUVRAGES

A l'heure actuelle, deux aspects des lits plantés de roseaux sont exploités : le traitement des eaux usées et le traitement des boues. Comme expliqué dans l'introduction, l'intérêt de ce projet est recentré sur la problématique des boues d'épuration.

Jusqu'ici destiné aux petites stations de traitement de type boues activées en aération prolongée, le procédé connaît un réel engouement de la part des collectivités. En effet, le passage sur filtre planté entraîne des réactions de déshydratation et de minéralisation offrant une solution aux problèmes de gestion et de devenir des boues. Bien que présent en France depuis le début des années 1990 (Troesch et al., 2009), le procédé présente des résultats qui diffèrent d'un ouvrage à l'autre.

Afin d'approcher la problématique de la comparaison des méthodes de conception de ces ouvrages, il est important tout d'abord de comprendre l'installation dans son ensemble sans apporter trop de détails, sans quoi, il ne serait pas possible de mettre en parallèle chaque méthode. Par la suite, nous aborderons les différences relatives à chacune des deux approches étudiées : IRSTEA (Française) et EMCH+BERGER (Allemande).

1.1 Objectif

Une STEU comprend deux filières de traitement : la filière eau et la filière boue.

Quel que soit le traitement il y a production de boues en quantités plus ou moins importantes. Cette boue est issue, dans le cadre d'un traitement biologique, de l'activité des micro-organismes vivants dans les ouvrages de traitement.

On peut distinguer plusieurs technologies (Conseil Général de la Seine et Marne, 2012) de traitement des boues. Par exemple, les « filières liquides », tel que le silo à boues, ou encore les « filières solides ». Celles-ci sont caractérisées par les traitements mécaniques (centrifugeuse, filtre à bandes, table d'égouttage, etc.), les lits de séchages, et ce qui nous intéresse : les lits plantés de roseaux.

Cette méthode présente des avantages (Atouboues, 1999 ; Nielsen, 2007 ; Aquarama ; EKO-PLANT, 2012 ; Gödecke, 2004) justifiant son utilisation, en voici quelques-uns :

- Siccité \approx 30 %,
- Stockage des boues dans les lits \approx 10 ans,
- Réduction du volume des boues stockées,
- Possibilité d'adaptation sur des stations existantes,
- Faible coûts d'exploitation.

D'un point de vue du fonctionnement, pour ce procédé, c'est une séparation de l'eau et des Matières En Suspension (MES) qui constitue le traitement (Liénard et al., 2008). L'enjeu majeur de cette installation est le traitement par minéralisation permettant d'envisager plusieurs filières d'élimination des boues tels que le compostage ou encore l'épandage agricole.

1.2 Description générale de la structure

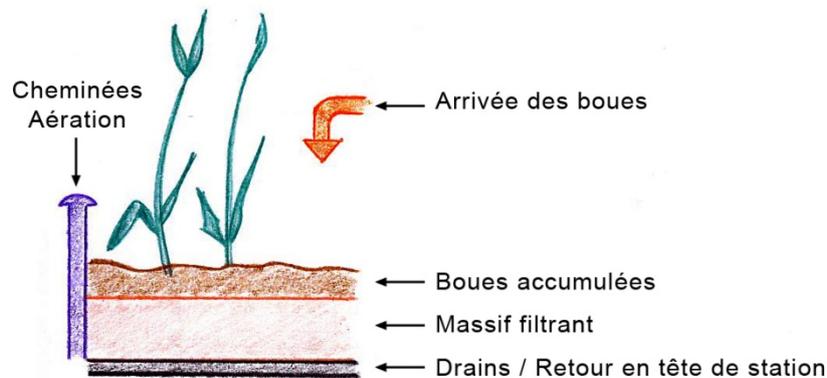
Une installation de lits plantés de roseaux pour la minéralisation des boues est constituée de plusieurs casiers ou bassins suivant la technique de conception utilisée et évidemment de la quantité de pollution à traiter.

Ils sont généralement en béton coulé en place ou terrassés. Les bassins sont alors étanchés par une géomembrane (Liénard, 1999).

De manière générale, la construction du massif filtrant est basée sur (Paulus, 2011 ; Sadowski, 2012) :

- Le substrat,
- Les roseaux,
- Le système de drains en fond du lit.

Le schéma ci-dessous illustre cette structure.



Source dessin personnel, 2012.

Figure 5 : Filtre de traitement des boues - Configuration générale

1.2.1 Roseau et substrat

Hors drains, le massif filtrant se compose donc de la couche drainante et des roseaux. La séparation de la phase solide et de la phase liquide constitue la base du traitement.

De même que pour les filtres de traitement des eaux usées, ce procédé a pour principe la séparation au niveau de la surface du substrat des molécules d'eau, qui ruissellent vers les drains, et des MES trop denses pour percoler (Liénard *et al.*, 2008).

Au-dessus de la couche drainante se situe la couche dite de « filtration de surface ». Celle-ci permet d'éviter le colmatage des filtres lors de la mise en service ou la réalimentation après curage des lits. La nature de celle-ci dépend de la méthode de conception utilisée (sable, compost, etc.). Il en est de même pour la composition de la couche drainante notamment de la granulométrie. Celle-ci doit être adaptée afin de retenir le maximum de matière organique à la surface du lit tout en laissant l'eau s'écouler. Néanmoins, bien que chaque constructeur ait sa formule, elle est toujours voisine de la configuration ci-dessous figure 3.

Le substrat ralentit également la circulation du liquide et allonge le temps de contact nécessaire à la survie des bactéries. En effet, elles se nourrissent des polluants dissous contenus dans les boues liquides.

Grâce aux rhizomes, les roseaux créent des « chemins » dans la boue qui guident l'écoulement des eaux. De plus, ils libèrent de l'oxygène utile aux bactéries aérobies par photosynthèse. Le roseau a donc à la fois un rôle dans la couche granulaire mais aussi dans les boues qui s'accumulent en surface du substrat (voir paragraphe **1.3 Le fonctionnement de la Partie 2**).

1.2.2 Le système de drains

Les drains en fond de lits plantés ont deux fonctions :

- L'évacuation des percolats vers la tête de station (Gödecke, 2004) afin de les renvoyer dans le système de traitement,
- L'aération du lit par le fond (Drescher, 2003).

Majoritairement en PVC, les drains sont refendus et remontent en surface sous forme de cheminée d'aération terminée par un chapeau d'entrée d'air (Nielsen, 2003).

En effet, sans apport d'oxygène, les risques de fermentation sont importants dus à la présence de matières organiques en grande concentration dans les boues.

1.3 Le fonctionnement

Comme expliqué précédemment, la déshydratation des boues sur lits plantés de roseaux repose sur la mise en place d'un massif filtrant artificiel sur lequel les boues en excès issues de la STEU sont réparties uniformément (Bischof et al. , 2001) à intervalles de temps bien définis (EKO-PLANT, 2012).

Le bon fonctionnement est alors lié au développement abondant des roseaux, des tiges et des rhizomes (Pauly, 2012) le long desquels s'écoule l'eau interstitielle provenant des apports de boues fraîches.

En plus de cette évacuation gravitaire du filtrat, les roseaux vont accélérer la déshydratation par évapotranspiration. Ce phénomène résulte de la quantité d'eau transférée vers l'air par le sol et la transpiration des plantes (Bischof et al. , 2001).

La minéralisation de la matière organique est source : de rejet d'eau, de sels minéraux dissous, de gaz carbonique (ou dioxyde de carbone). Elle est également responsable de la diminution du volume de boues et des fréquences de curage.

Les propriétés physiques et chimiques des végétaux sont alors exploitées.

1.3.1 Réaction physique : Le Roseau

Les roseaux sont des végétaux de la famille des poacées, c'est-à-dire des plantes herbacées dont certaines peuvent produire des rhizomes. Ces plantes de grande taille, à tige creuse et rigide plus ou moins ligneuse sont favorables aux sols frais et humides. De plus elles résistent au phénomène de stagnation de l'eau. Les roseaux possèdent un système racinaire très puissant : les rhizomes (Liénard, 1999). Voir **1.3.2 Réaction chimique : le Rhizome de la Partie 1**.

Les *Phragmites* sont une variété de roseaux très appréciée dans la phyto-épuration. De plus, ils ont tendance à devenir envahissants quand ils poussent dans un milieu humide.

Les roseaux possèdent deux propriétés physiques de traitement bien distinctes concernant la séparation eaux/boues :

- La création d'un réseau de ressuyage,
- L'évapotranspiration.

Dès l'implantation sur le massif filtrant, le roseau forme un anneau libre (Liénard *et al.*, 2008) autour de la tige, et progressivement sur la couche de boues accumulées (Bischof *et al.*, 2001). Un réseau de ressuyage de l'eau interstitielle est alors créé (Drescher, 2003). L'eau peut donc s'écouler vers les drains à la base du massif et les MES être retenues en surface dans le but de s'amasser et se minéraliser.

Les filtrats sont renvoyés en tête de station (Liénard, 1999 ; Bischof *et al.*, 2001) par le réseau de drains. En effet, ils ne sont pas censés être septiques et ne peuvent donc pas favoriser le développement de certaines bactéries filamenteuses qui pourraient nuire au fonctionnement de la station en amont (foisonnement et moussage).

De plus, le roseau consomme et transpire une partie des eaux, c'est l'évapotranspiration. Ce phénomène est un réel avantage au processus de déshydratation des boues.

Il paraît évident que pour que ces réactions soient maximales, la population de roseaux doit être dense et répartie de façon uniforme sur les filtres.

L'autre avantage de cette densité et de cette répartition homogène des roseaux est une meilleure aération du lit profitable aux bactéries aérobies. Ainsi on améliore le développement des roseaux et on évite la fermentation des boues.

L'influence et l'essentialité des plantes rendent l'installation de traitement totalement tributaire de la bonne santé des végétaux. En période hivernale, les performances épuratoires sont largement ralenties suivant que les conditions climatiques soient plus ou moins rudes. Le début de mise en route des lits (et/ou après curage) connaît aussi des résultats plus faibles, les charges polluantes appliquées étant croissantes afin de ne pas étouffer les roseaux (Barjenbruch *et al.*, 2001 ; Bischof *et al.*, 2001).

L'augmentation des performances épuratoires en période estivale (climat plus chaud favorable au développement des roseaux) pourrait peut-être être adaptée à des communes balnéaires ou à fort intérêt touristique (Paulus, 2011 ; Kuhlendahl *et al.*, 2011).

1.3.2 Réaction chimique : Le Rhizome

Le rhizome est la partie souterraine de la tige du roseau. Il est important de ne pas le confondre avec la racine. En effet, celui-ci a des nœuds et des bourgeons permettant la subdivision.

Il se répand alors dans le massif filtrant et les boues contribuant au décolmatage des sols et des sédiments superficiels, et donc à leur aération.

Pour sa croissance, en particulier lorsque les températures sont plus clémentes, les rhizomes consomment l'azote et le phosphore présent dans son environnement, soit l'eau et les boues, également, ils favorisent le développement des bactéries participant à la minéralisation des boues en dégageant de l'oxygène (Pauly, 2012).

Des conditions aérobies (Satin et Belchir, 2006) et l'application d'une charge organique adaptée sont des facteurs indispensables au bon fonctionnement de l'installation. Lorsque ces conditions ne sont pas respectées, la surcharge pourrait « étouffer » les végétaux (Barjenbruch *et al.*, 2001 ; Bischof *et al.*, 2001), également ils ne peuvent consommer les sels minéraux que sous forme oxydée.

De ce fait, on peut accorder une importance tout particulière aux cycles d'alimentation/repos. Cette alternance est liée au métabolisme des roseaux et à la charge appliquée. Plus elle est élevée, plus le temps de repos sera long.

Chaque constructeur met donc en place un « plan d'alimentation » pour ses lits plantés.

En hiver, lorsque la partie supérieure du roseau est flétrie, les rhizomes restent actifs et profitent des réserves amassées dans les boues au cours de l'automne pour les percer au cours de l'hiver (Liénard *et al.*, 2008 ; Pauly, 2012). Ainsi, au printemps de nouvelles pousses traversent toute la hauteur de boue pour atteindre la lumière du jour (Pauly, 2012).

1.3.3 Le curage

Tout d'abord, cette étape du fonctionnement des lits nécessite une grande organisation. En effet, l'opération doit être préparée et programmée. Il est important de prévoir dès la phase d'étude les voiries autour et/ou pour les entrées dans les lits (Paulus, 2011). Les engins mécaniques doivent pouvoir circuler sans problème.

Pour les lits en déblai-remblai, le curage nécessite un certain savoir-faire afin de ne pas abimer la géomembrane (ONEMA et CEMAGREF, 2011).

Les filtres plantés de roseaux présentent des impératifs. La saison de curage doit être définie en fonction, des quantités de pollution reçues à la station (pic saisonnier), de l'entreprise de curage (congés annuels, disponibilité des machines), des conditions météorologiques et du devenir des boues (épandage agricole à certaines périodes) (Troesch *et al.*, 2008).

Tous ces paramètres peuvent s'avérer incompatibles.

Plus il y a de lits, plus le curage peut être organisé et l'alternance des lits facilitée.

En premier, il faut commencer par mettre le lit au repos pendant une période donnée avant d'envisager une quelconque vidange. Ce temps de repos permet d'augmenter la siccité des boues.

Lors du curage, une partie des boues résiduelles est volontairement laissée au fond des ouvrages pour faciliter la repousse à partir des rhizomes conservés (Troesch *et al.*, 2008 ; Pauly, 2012). Les conditions permettent alors la reprise des végétaux et ne risque pas d'altérer le massif filtrant avec les engins mécaniques.

2. METHODES COMPAREES: ELEMENTS BIBLIOGRAPHIQUES

Maintenant que nous avons vu le fonctionnement et l'utilité d'un tel procédé de lits plantés, des premiers éléments de comparaison peuvent être apportés. Bien que les analyses permettent de mettre en parallèle des résultats/performances de traitement de chaque installation, la conception et le fonctionnement sont des facteurs importants à prendre en compte dans cette étude.

En effet, dès le départ du projet chaque méthode présente déjà des différences et des points communs.

Il paraît donc essentiel de commencer par la phase de dimensionnement : la conception et toutes les étapes qui y sont liées.

2.1 Dimensionnement : Boues et charge surfacique

Chaque projet est un cas bien particulier se rattachant à une STEU propre. Les filtres plantés de roseaux sont des traitements des boues venant s'ajouter au traitement des eaux usées d'une collectivité. A chaque projet il y a donc une charge de pollution différente, un climat différent, des contraintes topographiques variables et un contexte économique disparate, sans oublier l'environnement et son milieu récepteur.

Le dimensionnement global des lits est donc un paramètre important au bon développement des roseaux et à l'atteinte des performances de traitement attendues, c'est-à-dire un objectif de siccité et une stabilisation des boues.

Grâce aux données de production de boue annuelle, leur qualité, le nombre de bassins que l'on préconise et la charge surfacique nominale avec laquelle on souhaite dimensionner, on peut en déduire la surface de lits.

Chaque lit est dans la mesure du possible de même surface afin de répartir au mieux la quantité de boue à traiter. Sur une installation, les quantités produites dépendent principalement en dehors de l'effluent d'entrée, du procédé de traitement.

Les deux valeurs indispensables sont donc la production de boues et la charge surfacique que nous allons voir en détails, suivi du dimensionnement.

2.1.1 La production de boues

La production de boues est une quantité de pollution à traiter en kilogrammes de matières sèches (kgMS).

La différence se fera d'un point de vue du volume dépendant de la siccité des boues et donc de leurs origines, voir chapitre **2.3 Origines des boues de la Partie 2**.

Afin d'obtenir cette valeur, il existe deux solutions possibles :

- La mesure sur site de la production de boues de la STEU,
- L'estimation à l'aide d'une formule.

Lorsque la valeur réelle mesurée n'est pas disponible, l'estimation de la production de boues prend toute son importance. En effet, celle-ci doit tenir compte des spécificités de traitement des eaux usées. La production dépend du type de réseau, de la charge du procédé, du fonctionnement de la station, de la présence d'éventuelles matières de vidanges et de possibles traitements physico-chimiques impliquant l'ajout de réactifs (ONEMA et CEMAGREF, 2011).

L'IRSTEA prend alors en compte :

- La formule d'Eckenfelder servant de référence au calcul des boues résiduaire urbaines. Pour un effluent domestique :

$$MS \text{ (kg/j)} = a_m \times L_e - b \times S_v + S_{\min} + S_{\text{dur}} + S_{\text{eff}}$$

Équation 1 : Formule d'Eckenfelder

Avec :

L_e : La masse de Demande Biologique en Oxygène sur 5 jours (DBO_5) éliminée par jour (kg DBO_5 /j),

S_v : Masse de boues organiques ou volatiles (kg Matières Volatiles en Suspension [MVS]),

S_{\min} : Masse de matières minérales en suspension,

S_{eff} : Masse de matières en suspension difficilement biodégradable (20 à 30% des MVS),

a_m : 0,6. Fraction de matière vivante éliminée en aération prolongée,

b : 0,06 à 0,05 j^{-1} . Fraction de la matière vivante détruite par auto-oxydation.

Des incertitudes existent quant à cette formule, notamment à faible charge massique. Des méthodes plus simples comme la formule suivante donnent une estimation des boues à 10% près.

- La formule dite « du binôme ». La production de boues est alors estimée à partir de la quantité moyenne journalière rejetée par un EH pour les paramètres de la DBO et les MES.

$$MS (kg/j) = 0,84 \times \frac{(DBO + MES)}{2}$$

$$MS (kg/j) = 0,84 \times DBO$$

Équation 2 : Formule dite "du binôme"

Cette constante de 0,84 est utilisée en assainissement pour déterminer la quantité de boues issue d'un réseau de type séparatif. Pour les réseaux de type unitaire la constante peut s'élever à 1,02 (Duchène, 1999).

Il faudra multiplier le tout par le nombre d'EH et par 365 afin d'obtenir une production annuelle en tonnes de Matières Sèches (MS)³ par an (t_{MS}/an).

- En cas de déphosphatation physico-chimique, on constate une surproduction de boues de 20 % (Deronzier et Choubert, 2004), cependant cette valeur tend à diminuer à 10 % (Liénard *et al.*, 2008).

C'est pourquoi des valeurs mesurées de production de boues sont à privilégier.

Bien que chaque concepteur possède la même valeur, la siccité des boues jouera un rôle primordial dans le volume à épandre dont la méthode Allemande tient compte :

$$Volume\ de\ boues\ (m^3/an) = \frac{Production\ de\ boues\ annuelle\ (t_{MS}/an)}{Siccité\ (\%)}$$

Équation 3 : Transformation Tonnes vers Mètres cubes

2.1.2 La charge surfacique

En terme de définition, la charge surfacique correspond à la charge polluante que l'on va appliquer en fonctionnement nominal de l'installation par mètre carré. Cette quantité de pollution se mesure donc en kilogrammes de MS par mètre carré et par an (kg MS/m²/an).

Les deux méthodes s'accordent sur une charge jusqu'ici fixée à 50 kgMS/m²/an. Ce chiffre est étroitement en lien avec les expériences menées au Danemark (Nielsen, 2003).

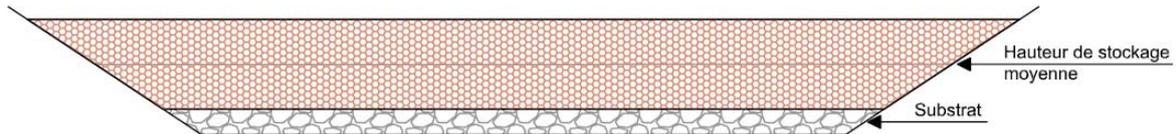
De plus, la charge surfacique doit prendre en compte les surcharges passagères et donc ne pas dépasser les 60 kgMS/m²/an suivant les préconisations françaises (CEMAGREF, 2010).

En ce qui concerne le type de construction, les lits en déblai-remblai et les casiers béton peuvent être utilisés (Reinhofer et Berghold, 2004 ; Liénard *et al.* , 2008). Le choix du type de construction est alors une question de budget et de surface disponible. Les casiers béton étant plus cher mais moins gourmand en surface.

³ La différence entre MS et MES vient des sels minéraux dissous pris en compte dans les MS. Cependant cette quantité est toujours assez faible permettant alors de considérer l'hypothèse MS=MES utilisée la plupart du temps en assainissement, sauf pour les Matières de Vidange (MV).

Pour les lits en béton à parois verticales, le calcul de la surface est une simple multiplication longueur par largeur (ONEMA et CEMAGREF, 2011).

Pour les lits en déblai-remblai, une grande prudence doit être accordée au choix de la surface à prendre en compte dans le dimensionnement. Pour l'IRSTEA la surface considérée se situe à la moitié de la hauteur de stockage maximale des boues (Liénard *et al.*, 2008).



Source dessin personnel, 2012.

Figure 6 : Hauteur de calcul de la charge surfacique des lits en déblai-remblai IRSTEA

Cependant, le choix de cette surface pose le problème du bon développement des roseaux et donc des fonctions de minéralisation et d'augmentation de la siccité des boues.

En effet, une charge plus importante sera appliquée sur la surface au-dessus du substrat risquant alors d'étouffer les jeunes pousses lors de la mise en service de l'installation.

A contrario, la méthode actuellement utilisée par le bureau d'études EMCH + BERGER favorise un dimensionnement à la surface au-dessus du substrat. En effet, les expériences du bureau d'études ont démontré l'importance de ne pas surcharger les roseaux lors de la période de croissance. Cependant, la contrainte de l'emprise parcellaire ne permet pas toujours d'utiliser cette surface, la hauteur moyenne est alors prise en compte.

Pour la méthode d'origine Allemande, on considère la hauteur maximum de 2 mètres en rapport avec la charge volumique admise pour le dimensionnement.

Quant aux préconisations de l'IRSTEA, la hauteur de 1,50 à 1,80 mètres est retenue mais seulement en termes de hauteur de stockage.

2.1.3 Calculs de surface et nombre de lits

Afin de dimensionner la taille/surface des lits sur laquelle les boues vont être épandues pour être déshydratées et minéralisées, les deux données de production annuelle de boues et de charge surfacique vues en détails aux paragraphes 2.1.1 et 2.1.2 de la Partie 2 doivent être utilisées.

On obtient alors un rapport nous permettant de déterminer une surface en mètres carrés.

Suivant chaque type de préconisation, celle-ci sera divisée en un nombre de lits, généralement 4 pour la méthode d'origine Allemande et 6 minimums pour la méthode développée par l'IRSTEA.

$$\text{Surface des lits (m}^2\text{)} = \frac{\text{Production annuelle de boues (t}_{MS}\text{/an)}}{\text{Charge surfacique (kg}_{MS}\text{/m}^2\text{/an)}} \times 1000$$

Équation 4 : Formule de dimensionnement de la surface des lits⁴

⁴ On ajoute un facteur multiplicateur de 1000 afin de transformer les tonnes de MS en kilogrammes de MS.

Dans le cas des prescriptions de l'IRSTEA, la charge de 50 kgMS/m²/an est appliquée sur la totalité des lits. De ce fait, lorsque l'un des lits sera au repos, la charge appliquée sur les autres sera supérieure à la valeur de dimensionnement sans jamais dépasser les 60 kgMS/m²/an.

En ce qui concerne la méthode Allemande, celle-ci dimensionne sur 3 lits avec la charge nominale mais en construit 4 (Hruschka et al., 1999) en réalité. En effet, celle-ci tient compte du fait qu'un des lits sera au repos et donc que l'installation de minéralisation disposera de 25% de surface active en moins. La charge sera comprise entre 30 et 50 kgMS/m²/an (Barjenbruch et al., 2001). Dans certains cas, les contraintes parcellaires entraînent un dimensionnement sur 3 lits afin d'optimiser la surface active.

2.2 Origines des boues

Ces boues biologiques sont issues de STEU de type boues activées, disques biologiques, lits bactériens, etc. Leur particularité est qu'elles sont riches en Matière Organique (MO) les rendant idéales pour la minéralisation sur lits plantés.

Dans son processus de traitement, l'IRSTEA préconise l'utilisation de boues issues directement du bassin d'aération. A ce stade du traitement des eaux usées, les boues sont liquides. La consistance de l'état physique de ces boues résulte d'une siccité d'environ 0,5%. Les boues sont dites « fraîches » (ADEME, 2012) car riches en MO et nitrates (NO₃⁻) chargés en oxygène. De plus, ce pourcentage de matière sèche permet de faciliter le pompage (CEMAGREF, 2002).

A l'inverse, la méthode utilisée d'origine Allemande préconise de pomper les boues depuis le silo à boues (Hruschka et al., 1999) équipé d'un agitateur pour une question d'homogénéité de la matière.

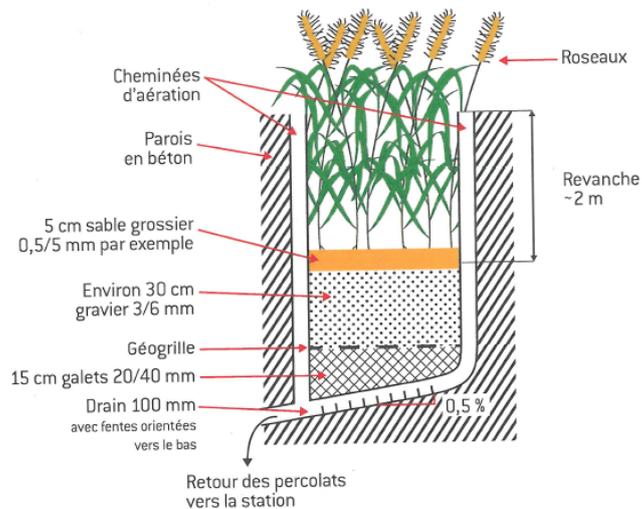
Le rôle de cet ouvrage est d'épaissir les boues et de diminuer leur taux d'humidité afin de pouvoir les renvoyer avec un degré de concentration satisfaisant (Hydranet, 2012). La siccité des boues à épandre retenue est de 2,5% (EMCH + BERGER, 2010), ce qui a pour but de limiter la taille des lits en termes de volume contrairement à l'IRSTEA qui résonne uniquement en termes de surface. De plus le silo permet un stockage des boues extraites afin de respecter la contrainte de charge volumique mais aussi de servir d'ouvrage tampon en cas d'arrêt de la station (problème, gel, etc.).

Quelle que soit la méthode, l'alimentation se fait par bâchée ce qui permet une meilleure répartition de l'apport de boues sur l'ensemble de la surface des lits. La boue épandue entraîne lors de son application des molécules d'oxygène vers le massif filtrant.

2.3 Le massif filtrant

Comme expliqué au chapitre précédent, le massif filtrant est constitué des végétaux, des drains/aération et différentes couches formant la structure propre à chaque méthode.

La structure qui semble la plus complexe à réaliser est celle issue de la méthode de l'IRSTEA. En effet, on peut constater une succession de strates de différentes natures et épaisseurs s'enchainant dans un ordre précis. Elles sont disposées sur un radier à fond étanche.



Source IRSTEA Lyon.

Figure 7 : Structure du massif filtrant préconisée par l'IRSTEA (Issu d'une unité pilote)

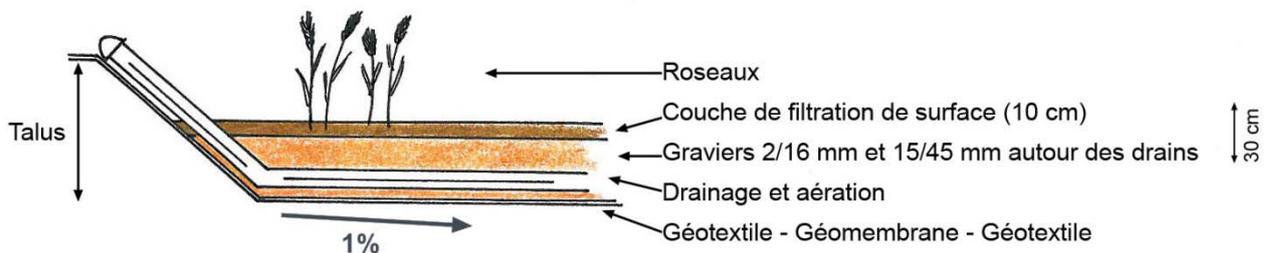
De bas en haut, on retrouve la première couche de gros gravier de 30/60 mm sur une épaisseur de 15 cm. C'est également dans cette couche que sont placés les drains d'un diamètre minimum de 100 mm (ONEMA et CEMAGREF, 2011) afin de retourner les percolats en tête de station. L'acheminement se fait de façon gravitaire à l'aide d'une pente de 0,5%.

Au-dessus se trouve la couche de transition. Epaisse de 10 cm, comme son nom l'indique elle est d'une taille de particules intermédiaires (15/25 mm) entre les couches inférieure et supérieure. L'IRSTEA soumet l'éventualité de mise en place d'une géogrille de type tridimensionnel en remplacement de cette strate.

La couche suivante est constituée de gravillons plus fins, 2/6 mm sur 20 cm. Toutefois ils ne doivent pas être inférieurs à 2/4 mm afin de ne pas migrer vers le fond du lit.

Pour finir il reste la couche de filtration de surface allant de 5 à 10 cm d'épaisseur. Ici encore, les chercheurs préconisent l'utilisation d'amendement organique de type « compost vert » ou sable (Vincent *et al.*, 2011).

En ce qui concerne la méthode dite « Allemande », la structure du lit est « simplifiée », dans le sens où les enchainements de couches à certaines granulométries sont moins stricts.



Source dessin personnel, 2012.

Figure 8 : Structure du massif filtrant préconisée par la méthode Allemande

En effet, le massif filtrant est composé de la couche principale de 30 cm à laquelle vient s'ajouter la couche de filtration de surface.

Il ne faut pas oublier que le massif assure une fonction « basique » de drainage. Cette fonction est assurée de façon gravitaire grâce à un réseau de drains à 1 % de pente.

Cette couche principale se compose donc de graviers de deux granulométries différentes. La première de 2/16 mm, la seconde de 15/45 mm. La plus grosse se situe autour des drains. L'étanchéité des bassins est réalisée par une géomembrane de 2 mm d'épaisseur protégée par un géotextile posé sur les deux faces.

Pour ce qui est de la couche de filtration de surface, le massif est complété d'une couche de compost de 10 cm mélangée avec 1 kg/m³ de chaux (EMCH + BERGER, 2010). Le compost remplira une fonction d'apport de MO et de filtre au démarrage de l'installation. La chaux favorisera la formation d'agrégats et permettra une bonne stabilité du substrat nécessaire à la fonction de filtre. En effet, lors de l'alimentation des lits, l'infiltration dans le substrat n'est pas immédiate et provoque la formation d'une couche de surface qui permet une bonne répartition des boues sur la totalité des bassins. De plus, la chaux étant de pH basique, elle permet l'augmentation du Potentiel Hydrogène (PH) acide du substrat alimenté en boues.

2.4 Alimentation des lits

Afin de répandre les boues sur les lits de minéralisation, un plan d'alimentation doit être mis en place et adapter sur site afin d'optimiser la capacité de traitement des lits (EMCH + BERGER, 2010).

Le plan d'alimentation doit être choisit et adapté en fonction :

- Des éléments techniques à disposition, (ex : la capacité de stockage du silo à boues pour la méthode d'origine Allemande),
- Capacité saisonnière de traitement des bassins et tolérance de la végétation,
- Des hauteurs de surhaussement.

L'alternance des lits alimentation/repos est liée au métabolisme des roseaux. Cependant, l'importance de la charge organique impose des temps de repos plus long. De plus il faut surveiller que l'accumulation des boues ne soit pas trop importante pour ne pas être fatale aux plantes.

La gestion des lits de minéralisation des boues sera programmée de sorte que l'alimentation du premier lit à vidanger sera arrêtée auparavant de manière à le laisser se reposer et augmenter la siccité des boues par déshydratation. Les autres ouvrages recevront durant cette période une charge d'alimentation supplémentaire.

Lors de la première vidange, un lit sur quatre sera vidé. Les trois autres continueront à se remplir. Il est important avant curage de laisser le lit au repos au moins une saison (Bischof et al. , 2001), l'hiver n'étant pas pris en compte.

On considère :

- Novembre à Mars : Période de repos des plantes,
- Avril à Octobre : Période de végétation, soit de croissance et de développement des roseaux.

Ces phases coïncident avec le cycle naturel des végétaux et non pas des saisons du calendrier. Cependant, les conditions météorologiques changeantes au cours de l'année peuvent présenter des écarts avec ces phases.

On peut alors en déduire que la période d'avril à octobre est idéale pour la mise en route des lits. En effet, c'est pendant cette période que la plante développe tout son système de rhizome.

De novembre à mars, l'alimentation se fait de manière égale.

Cependant, la méthode Allemande suggère les cycles d'alimentation suivants (EMCH + BERGER, 2010) :

- La mise en service (1 à 2 ans) : Alimentation uniforme de tous les bassins, la charge est réduite car tous les lits sont alimentés,
- Assèchement intermédiaire (3 à 4 ans) : Répartition des boues à épandre dans les bassins au cours d'une période de végétation (avril à octobre) avec mise au repos d'un lit à chaque fois,
- Période de préparation (1 à 2 ans) : Epandage alterné sur tous les bassins,
- Vidange (3 à 4 ans) : Mise hors service du bassin à curer au début d'une période de végétation et prise en charge de l'ensemble de la production de boues de la STEU par les bassins restants.

En ce qui concerne la méthode développée par l'IRSTEA, celle-ci dispose d'un plan d'alimentation différent.

Ce plan est alors défini en quatre temps (Paulus, 2011) :

- Le développement (1 à 2 ans) : On applique au maximum la moitié de la charge nominale, soit 25 kgMS/m²/an,
- La phase de croisière (4 à 8 ans) : On applique la charge de 50 kgMS/m²/an,
- Le repos complet (4 à 6 mois) : Arrêt complet de l'alimentation avant curage,
- La repousse (1 à 2 ans) : Réduction de la charge le temps de la repousse des roseaux, soit de 30 à 40 kgMS/m²/an.

La période de mise en route des lits idéale se situe d'avril à août.

La période d'acclimatation des roseaux est cruciale. Elle doit durer au minimum un an jusqu'à que la densité des roseaux atteigne 250 tiges/m² (CEMAGREF, 2010).

Cependant, des questions se posent quant à la valeur des 25 kgMS/m²/an. En effet, qu'advient-il de l'autre moitié des boues produites pour laquelle les lits ont été conçus ? A cette question l'IRSTEA répond qu'au démarrage d'une nouvelle STEU la charge nominale en entrée de station est rarement atteinte. Egalement, au vue de la période de développement des roseaux (une à deux premières années), la charge de 50% serait idéale. Dans le cas contraire ou dans celui d'une réhabilitation, un traitement annexe des boues en excès est à prévoir.

La vidange est programmée en été pour tirer parti de l'évapotranspiration des roseaux. La mise au repos prolongée d'un lit avant curage permet d'accroître la siccité des boues.

2.5 Les roseaux

Là encore, on retrouve des disparités entre les deux méthodes.

En effet, la densité de plantation, la période d'implantation ainsi que les variétés des végétaux diffèrent.

Dans les préconisations de l'IRSTEA, des roseaux de type *phragmites communis* ou *australis* sont implantés avec une densité de 4 pots/m² (Liénard *et al.*, 2008), soit plusieurs tiges, au moins 5 par pot (ONEMA et CEMAGREF, 2011), déjà âgée de 2 ans. Ils colonisent alors progressivement le massif à l'aide d'autres tiges émises depuis les rhizomes. La période de plantation idéale se trouvant d'avril à août.

Pour ce qui est de la méthode Allemande, la densité de plantation des roseaux est de 3 conteneurs par m², où un conteneur contient de 3 à 6 roseaux âgés de 2 ans (EMCH +

BERGER, 2010). Les variétés implantées sont de type *communis* (Bischof et al. , 2001) ou *giants*⁵. Elles sont implantées de préférence du mois d'avril au mois de juillet.

2.6 Tableau récapitulatif

Afin de mieux comprendre tous ces éléments, les voici rassemblés de façon synthétique dans le tableau de la page ci-après.

De plus, deux schémas de chaque filière de traitement suivant les préconisations Allemandes et de l'IRSTEA sont joints en [Annexes 2 et 3.](#)

⁵ Cette variété de roseau plus grande que la moyenne est développée spécifiquement par l'entreprise Allemande VEGHA.

Etude du traitement des boues par minéralisation sur lits plantés de roseaux
Méthodes comparées et vidange des lits

	<u>Méthode IRSTEA</u>	<u>Méthode Allemande</u>
Origine des boues	Bassin d'aération Siccité 0,5%	Silo à boues Siccité 2,5%
Nombres de lits	Minimum 6 lits	4 lits (parfois 3 selon contraintes parceliaires)
Charges	50 kgMS/m ² /an sur tous les lits	50 kgMS/m ² /an sur les lits en service Charge volumique maximum 2 m ³ /m ² /an
Construction du massif filtrant	<p>Cheminée d'aération Couche de filtration de surface (5-10 cm) Gravier 2/6 mm (20 cm) Couche de transition 15/25 mm (10 cm) Gros gravier 30/60 mm (15 cm) Drainage et aération Parcelles Hauteur de revanche Roseaux</p>	<p>Roseaux Couche de filtration de surface (10 cm) Graviers 2/16 mm et 15/45 mm autour des drains Drainage et aération Géotextile Talus 1%</p>
Alimentation des lits	<p>Le développement (1 à 2 ans) : On applique la moitié de la charge, soit 25 kgMS/m²/an,</p> <p>La phase de croisière (4 à 8 ans) : On applique une charge de 50 kgMS/m²/an,</p> <p>Le repos complet (4 à 6 mois) : Arrêt complet de l'alimentation avant curage,</p> <p>La repousse (1 à 2 ans) : Réduction de la charge le temps de la repousse des roseaux, soit de 30 à 40 kgMS/m²/an.</p>	<p>La mise en service (1 à 2 ans) : Alimentation uniforme de tous les bassins, la charge est réduite car tous les lits sont alimentés</p> <p>Assèchement intermédiaire (3 à 4 ans) : Répartition des boues à épandre dans les bassins au cours d'une période de végétation (avril à octobre) avec mise au repos d'un lit à chaque fois,</p> <p>Période de préparation (1 à 2 ans) : Epandage alterné sur tous les bassins,</p> <p>Vidange (3 à 4 ans) : Mise hors service du bassin à curer au début d'une période de végétation et prise en charge de l'ensemble de la production de boues de la STEU par les bassins restants.</p>
Les roseaux	Densité d'implantation de 4 pots/m ² Variété <i>Communis</i> ou <i>Australis</i> Période de plantation : Avril à Août	Densité d'implantation de 3 conteneurs/m ² Variété <i>Communis</i> ou <i>Giants</i> Période de plantation : Avril à Juillet de préférence

Tableau 1 : Tableau récapitulatif des éléments de comparaison bibliographiques

PARTIE 3 : INFLUENCES SUR DES CAS PRATIQUES

1. MISE EN PLACE DES CAMPAGNES DE MESURES

Dans le but de comprendre l'impact du dimensionnement et de la gestion des lits, des mesures sur stations doivent être effectuées.

Elles permettront de mettre en évidence les conséquences des préconisations de chacun ainsi que leurs degrés d'influence afin de pouvoir les comparer. En effet, nous avons pu constater dans la **Partie 2**, de nombreuses différences liées au dimensionnement des lits et à la gestion de l'alimentation. Egalement elles fourniront un premier retour d'expérience sur les installations conçues suivant les préconisations Allemandes en France.

Bien que rustiques, ces installations de minéralisation sur lits plantés de roseaux présentent une certaine fragilité, le traitement reposant essentiellement sur la bonne santé des végétaux et le respect des quantités de boues apportées.

1.1 Choix des stations de traitement des eaux usées

Plusieurs références de stations de traitement équipées de lits plantés de roseaux pour le traitement des boues sont accessibles pour y faire des prélèvements. La majorité est issue d'une conception basée sur les préconisations Allemandes. Seule une station issue des préconisations de l'IRSTEA pourra être étudiée en comparaison. En effet, il est plus difficile d'accéder à des stations de traitement conçues par une méthode « concurrente » et/ou d'obtenir des résultats d'analyses.

Les analyses sont faites au Laboratoire d'Etude des Eaux (LEE) de l'Ecole Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement de Strasbourg (ENGEES) avec ma participation du prélèvement jusqu'à l'obtention des résultats.

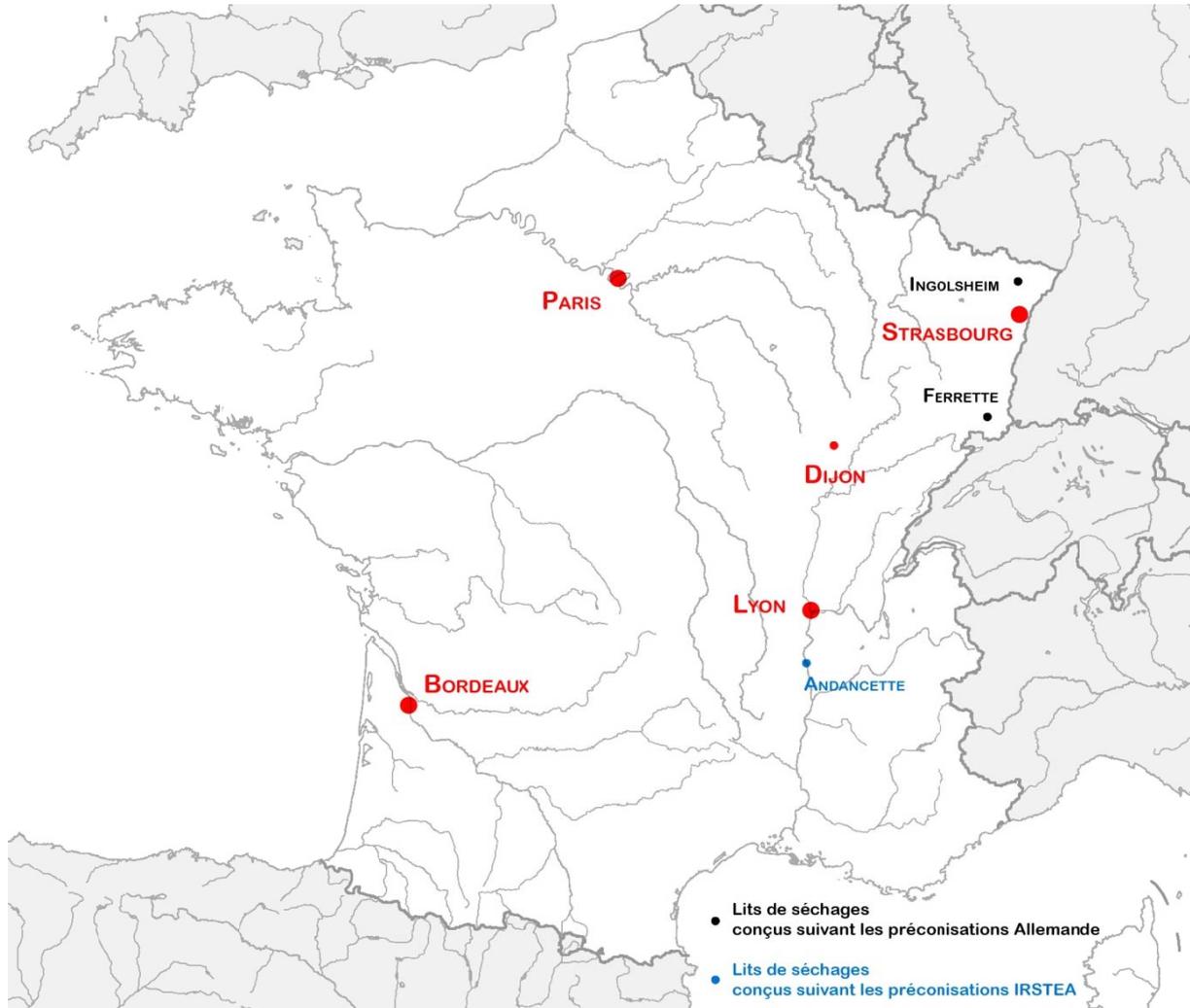
Dans un souci de proximité des sites de prélèvement avec le LEE et de préservation des échantillons les sites étudiés, dans le cas des installations dimensionnées suivant la méthode Allemande, sont Ingolsheim (67) et Ferrette (68) (voir paragraphe **1.1.1 Préconisations Allemandes de la Partie 3**).

Le site de comparaison est la station d'Andancette (26), située à 60 kilomètres au sud de Lyon, les prélèvements se feront en partenariat avec Monsieur Pascal MOLLE de l'IRSTEA de Lyon (voir paragraphe **1.1.2 Préconisations de l'IRSTEA de la Partie 3**).

De plus, nous disposons de quelques analyses complémentaires comme un bilan 2009 sur des installations du Bas-Rhin (CONSEIL GENERAL DU BAS-RHIN, 2009), dont Ingolsheim. Egalement, deux thèses (Vincent, 2011 ; Troesch, 2009) m'ont été communiquées par l'IRSTEA me fournissant des informations complémentaires sur la STEU d'Andancette. Sans oublier la contribution des exploitants de chaque site disposant d'analyses antérieures et de données de gestion des lits.

La mise en commun de toutes ces données constitue alors la base de cette étude.

Ces stations sont représentées sur la carte ci-après :



Source fond de carte internet, <http://www.upload.wikimedia.org/>

Figure 9 : Carte des sites de minéralisation des boues accessibles (Est de la France)

Une description succincte de chaque installation étudiée est donnée ci-dessous.

1.1.1 Préconisations Allemandes

1.1.1.1 Ingolsheim (67)



Source site internet <http://www.géoportail.fr>.

Figure 10 : Vue aérienne de la STEU d'Ingolsheim (67)

Informations générales :

- Capacité : 3 500 EH (dont 100 EH issus d'activités et 155 EH de la STEU de Bremmelbach),
- Type de traitement des eaux usées : Boues activées
- Type d'effluents : Domestiques et activités,
- Type de réseau : 75% unitaire et 25% séparatif,
- Taux de charge organique de la station : 74% (moyenne 2008-2011 SDEA),
- Origine des boues : Silo,
- Charge surfacique lit n°1 : 41 kgMS/m²/an (moyenne 2004-2008 SDEA),
- Mise en service : 2004.

La station est équipée d'un poste de relèvement en entrée, un dégrilleur, un dessableur-déshuileur, un bassin biologique (993 m³), un ouvrage de dégazage, un clarificateur, un canal de comptage, un silo à boue (150 m³) et trois lits de minéralisation plantés de roseaux (surface au sol 1 200 m²).

Les objectifs / garanties de traitement des boues :

- Cycle : 7 à 11 ans,
- Siccité : 25 à 50 %.

Remarque : Le lit n°1 (côté rivière) est à l'arrêt depuis le début de l'année 2012 (assèchement intermédiaire voir paragraphe 2.4 Alimentation des lits de la Partie 2).

1.1.1.2 Ferrette (68)



Source site internet <http://www.géoportail.fr>.

Figure 11 : Vue aérienne de la STEU de Ferrette (68)

Informations générales :

- Capacité : 2 350 EH,
- Type de traitement des eaux usées : Boues activées en aération prolongée,
- Type d'effluents : Domestiques,
- Type de réseau : 75% unitaire et 25% séparatif,
- Taux de charge organique de la station : 29 % (moyenne 2009-2011),
- Origine des boues : Silo,
- Charge surfacique lit n°4 : 25 kgMS/m²/an (moyenne 2009-2011),
- Mise en service : 2008.

La station est équipée d'un ouvrage de régulation, un relevage des eaux, un dégrilleur, un dessableur, le système de traitement par boues activées en aération prolongée, un canal de rejet, un silo à boue (115 m³), un poste toutes eaux et quatre lits plantés de roseaux pour le traitement des boues (surface au sol 784 m²).

Les objectifs / garanties de traitement des boues :

- Cycle : 10 ans,
- Siccité : 35 % à ± 5%.

Remarque : Le lit n°4 est à l'arrêt depuis le mois de mars 2012 (assèchement intermédiaire voir paragraphe 2.4 Alimentation des lits de la Partie 2). L'industrie de pneus raccordée sur la STEU a fermé en 2011.

1.1.2 Préconisations de l'IRSTEA

1.1.2.1 Andancette (26)



Source site internet <http://www.géoportail.fr>.

Figure 12 : Vue aérienne de la STEU d'Andancette (26)

Informations générales :

- Capacité : 13 000 EH,
- Type de traitement des eaux usées : Boues activées en aération prolongée,
- Type d'effluents : Domestiques,
- Type de réseau : Séparatifs et semi-séparatifs,
- Taux de charge organique de la station : 50% (IRSTEA),
- Origine des boues : Bassin d'aération,
- Charge surfacique du lit n°E : 26 kgMS/m²/an (moyenne 2004-2005 IRSTEA) et 45 kgMS/m²/an (moyenne 2006-2010 IRSTEA),
- Mise en service : 2004.

La station est équipée d'un poste de relèvement, un dégrilleur, un dessableur, un dégraisseur, un bassin d'aération, un clarificateur, un canal de comptage des eaux traitées et huit lits plantés de roseaux pour le traitement des boues.

Elle est également équipée de 16 casiers pilotes de 2 m² chacun.

Remarque : Le lit n°E est à l'arrêt depuis le mois de janvier 2012 en vue d'un curage prévu en août 2012.

1.2 Procédure de prélèvement

Afin de s'assurer d'avoir des résultats d'analyses représentatifs, la réalisation d'échantillons moyens, et de qualité est déterminante. Pour ce faire, les paramètres à analyser doivent être fixés et un protocole de prélèvement adapté à cette étude et ses attentes doit être créé.

Cette procédure inspirée du « Protocole de prélèvement pour l'échantillonnage des boues dans les lits de séchage plantés de roseaux en vue de leur qualification agricole » (ONEMA et CEMAGREF, 2011), s'articule autour des points suivants :

- Déterminer le nombre d'échantillon et la quantité à prélever en fonction des analyses prévues,
- Déterminer un nombre de prélèvement pour les boues des lits afin d'obtenir un échantillon moyen homogène et proportionnel aux différentes couches de boues,
- Repérer les emplacements idéaux qui faciliteront l'échantillonnage,
- Remplir les fiches des prélèvements⁶ (jointes en [Annexe 4](#)).

Il faut maintenant déterminer les préconisations d'échantillonnage ainsi que les paramètres à analyser pour les trois types de prélèvements suivants :

- Boues issues de l'alimentation des lits (silo ou bassin d'aération),
- Boues des lits plantés de roseaux (lit à l'arrêt),
- Filtrats issus de la percolation à travers les lits.

Le détail pour chaque « lieu » de prélèvement est donné après les conseils de sécurité et le matériel à employer.

1.2.1 Sécurité et matériel

Avant de détailler les prélèvements, il est indispensable de rappeler les mesures de sécurité à mettre en œuvre ainsi que le matériel à utiliser.

1.2.1.1 Sécurité

Quel que soit les lieux de prélèvement, par sécurité deux personnes doivent être présentes. En particulier au niveau des risques d'enlèvement dans les lits ou encore des prises d'échantillons à l'aide d'une canne de prélèvement.

En ce qui concerne les lits plantés, il n'est pas recommandé de s'éloigner des bords à plus de deux mètres (ONEMA et CEMAGREF, 2011). Bien évidemment si l'aspect visuel des lits présente des anomalies de siccité ou un éventuel dysfonctionnement aucun risque ne doit être pris et les prélèvements doivent être effectués depuis l'extérieur des bassins dans la mesure du possible.

⁶ La fiche de prélèvement a elle aussi été créée sur la base du document de l'ONEMA et du CEMAGREF (2011) et adaptée pour répondre aux attentes de ce projet de fin d'études.

1.2.1.2 Matériel

Afin d'effectuer au mieux nos prélèvements, nous utilisons le matériel suivant :

- Fiche de prélèvement,
- Tarière de prélèvement, carotteur ou pelle pour pouvoir prélever dans les lits,
- Gants,
- Bottes,
- Canne de prélèvement,
- Sacs en plastique ou flacons à col large pour homogénéiser les boues des lits,
- Contenants pour les boues liquides et les percolats,
- Eau pour rincer les échantillons,
- Chronomètre pour d'éventuelles estimations de débits,
- Outils de mesure de la hauteur de boue (règle graduée dans les lits ou mètre)
- Glacière et plaques de froid pour le transport et la conservation des échantillons jusqu'au laboratoire.

1.2.2 Les boues

Parmi nos trois différents prélèvements, deux seront des boues. Le premier sera constitué de boues liquides issues du silo à boues dans le cas des préconisations Allemandes et du bassin d'aération pour les préconisations de l'IRSTEA. Le second sera constitué de boues en cours de minéralisation sur les lits plantés de roseaux.

1.2.2.1 Boues issues de l'alimentation des lits

Dans les préconisations Allemandes, la filière de traitement est composée d'un silo à boue permettant de pré-épaissir celles-ci. En effet, en plus de la charge surfacique le résonnement Allemand tient compte du volume de boue (voir paragraphe **2.2 Origines des boues de la Partie 2**).

Ce silo soulève alors des questions concernant en particulier un objectif de siccité ($\approx 2,5\%$) des boues qui en sont extraites.

Pour ce qui est des préconisations de l'IRSTEA les boues sont directement extraites du bassin d'aération ($\approx 0,5\%$).

Afin de prélever des échantillons de qualité en toute sécurité, il y a plusieurs possibilités :

- La canne de prélèvement : La prise d'échantillon se fera depuis le dessus de l'ouvrage à au moins 15 centimètres sous la surface, le milieu doit être homogène,
- L'alimentation des lits : La prise d'échantillon se fait alors à la sortie des tuyaux d'alimentation dans les lits, cette méthode implique d'alimenter les lits au moment de l'intervention sur site.

Bien évidemment, ces solutions ne sont pas exhaustives. La réalité du terrain pouvant nous amener à utiliser un autre moyen d'échantillonnage qui sera alors précisé sur la fiche de prélèvement.

1.2.2.2 Boues des lits plantés

Tout d'abord, l'intérêt de l'analyse de cette boue est certes en vue d'une valorisation agricole mais plus particulièrement d'un objectif de siccité, point important de comparaison entre les deux méthodes de conception/exploitation étudiées.

C'est pourquoi les analyses se font sur des lits à l'arrêt.

Afin de réaliser des prélèvements des boues en cours de minéralisation dans les lits plantés de roseaux, il est important de réaliser plusieurs carottages afin de recréer un échantillon représentatif.

La norme NF EN ISO 5667-13 (ONEMA et CEMAGREF, 2011) relative à l'échantillonnage de boues provenant d'installation de traitement de l'eau et des eaux usées, pour l'échantillonnage des boues à partir de tas et de stockages, donne des indications sur un nombre de carottage qu'il faudra effectuer dans ce but, grâce à la formule ci-dessous :

$$C = \frac{\sqrt{V}}{2}$$

Équation 5 : Détermination du nombre de carottages à effectuer dans les lits

- V : Volume en m³ de boues dans les lits à vidanger,
- C : Nombre de carottages arrondi au nombre entier le plus proche (compris entre 4 et 30).

Bien qu'elle s'applique en vue d'un proche curage, nous conserverons cette méthode afin d'obtenir nous aussi un échantillon représentatif et homogène. En effet, selon un profil vertical, la boue peut avoir des âges et des degrés de minéralisation différents.

Dans le cas des lits à l'arrêt depuis peu, la boue à la surface est « fraîche », issues des dernières bâchées. A contrario, les couches de boues plus profondes sont plus anciennes et donc la siccité est normalement plus importante. Il est en de même en cas de pluie, ce qu'il faut prendre en compte dans l'exploitation des résultats.

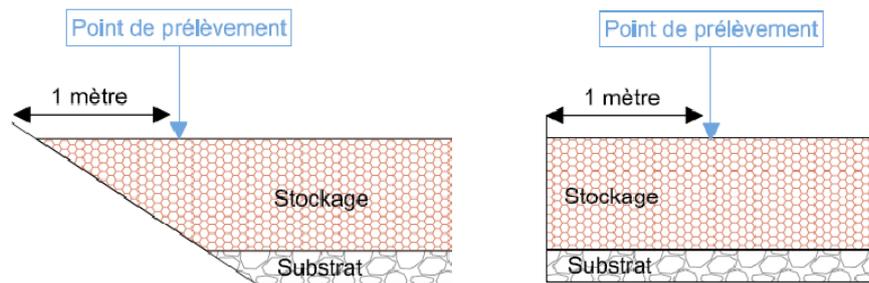
Au cours du prélèvement des boues il faudra essayer d'identifier visuellement les éventuelles strates, aussi, il est important de ne pas prélever dans le massif filtrant, élément de structure du lit (voir paragraphe **2.3 Le massif filtrant de la Partie 2**). En effet, cela pourrait fausser les analyses, en particulier concernant la teneur en matière sèche.

De ce fait il est important de bien choisir l'endroit où effectuer les carottages.

D'un point de vue positionnement, les points suivants sont à prendre en compte (ONEMA et CEMAGREF, 2011) :

- Les points d'alimentation,
- Les drains et cheminées d'aération,
- Les bords des lits,
- La densité de colonisation des roseaux.

Il est également conseillé de prélever à au moins un mètre des trois premiers points listés précédemment comme le montre le schéma ci-après en ce qui concerne les bords des lits.



Source dessin personnel, 2012.

Figure 13 : Illustration de la localisation d'un point de prélèvement suivant le cas de lits en béton ou déblai-remblai

Dans le cas où la densité de roseaux sur les lits n'est pas homogène, les carottages doivent se faire dans chaque zone toujours par soucis de représentativité de l'échantillon.

Une fois les échantillons récoltés, il faut les regrouper dans un même contenant en s'étant assuré au préalable d'avoir retiré les plus gros rhizomes ou tout corps issus du massif filtrant lui-même. Il ne reste alors plus qu'à mélanger l'échantillon pour un rendu homogène.

1.2.3 Les filtrats

L'intérêt de l'analyse des filtrats est l'impact qu'ils peuvent avoir sur la station. En effet, ceux-ci sont renvoyés directement en tête de STEU.

La principale difficulté sera certainement de recueillir quantité suffisante de percolats sur les petites installations, mais aussi de données du débit recirculé.

Les prélèvements se feront dans les regards des drains ou à l'arrivée des boues dans le poste toutes eaux.

1.3 Paramètres à analyser et contraintes

Pour le choix des paramètres à analyser, nous faisons face à plusieurs contraintes.

Tout d'abord, les intérêts portés sur les boues et les percolats imposent une liste de paramètres à prendre en compte.

En effet, la siccité sur les boues liquides et solides ainsi que la fraction minérale et organique (MES et Matières Volatiles en Suspension [MVS]) sont des critères indispensables. Les paramètres d'azote et de phosphore, indicateurs de pollution, sont eux aussi importants dans cette étude.

Le choix du LEE comme laboratoire représente des avantages non seulement pédagogiques (participation aux analyses), mais aussi économiques et géographiques. Néanmoins, ce choix présente également des inconvénients relatifs au panel de mesures disponibles. En conséquence, nous avons décidé de ne pas mesurer le potassium total et la septicité. En effet, la septicité permettrait de mettre en évidence un dysfonctionnement de la station (OTV, 1997), hors aucun problème n'a été signalé sur les STEU étudiées. En revanche, pour aller plus loin dans notre raisonnement, nous pouvons dans le futur faire appel à un laboratoire externe.

Des analyses de la Demande Chimique en Oxygène (DCO) sont prévues afin de déterminer les matières organiques dissoutes. Ainsi, sur les conseils de Pascal MOLLE, nous pourrions la conserver dans un délai supérieur à 24 heures. En effet, elle peut être acidifiée à l'aide d'acide sulfurique (H_2SO_4).

Bien évidemment tous les prélèvements quels qu'ils soient seront transportés en glacière.

Au vu des objectifs finaux de ces analyses ainsi que des contraintes liées aux paramètres, le tableau ci-dessous récapitule les analyses sélectionnées et la quantité d'échantillons à prélever.

<i>Bassin d'aération / Silo à boues</i>	<i>Boues des lits plantés</i>	<i>Percolats</i>
1 L	1 kg	1 L
Siccité	Siccité	PH
MES	Matière Minérale	DCO
MVS	Matière Organique	Azote Kjeldahl (NTK)
PH	PH	Azote Ammoniacal
DCO	Azote Kjeldahl (NTK)	Phosphore total (Pt)
Azote Kjeldahl (NTK)	Azote Ammoniacal	MES
Azote Ammoniacal	Calcium total	MVS
	Phosphore total (Pt)	
	Magnésium total	

Tableau 2 : Récapitulatif des paramètres analysés

Il est aussi important de planifier chaque intervention sur site avec les élus et/ou exploitants afin de mieux maîtriser le contexte des prélèvements ainsi que de prévoir une deuxième personne par sécurité pour la prise d'échantillons.

Là encore il faut s'adapter aux disponibilités de chacun mais aussi de tenir compte du respect des délais de rendu du projet. Sans oublier les impératifs économiques limitant le nombre d'analyses.

En ce qui concerne le nombre de campagne il est fixé à deux afin d'obtenir des échantillons suffisamment représentatifs en cas de remise en question des premiers résultats obtenus. Par soucis économique et temporel le nombre de campagne pour ce rapport ne peut être plus élevé. Dans cette logique, la STEU d'Andancette (26) sera étudiée une fois.

Le planning ci-dessous récapitule l'organisation des dates et lieux de prélèvements ainsi que les analyses.

<i>Dates de prélèvement</i>	<i>Dates d'analyse au LEE</i>	<i>Sites étudiés</i>	<i>Planning</i>
Mercredi 06 juin	Jeudi et vendredi 07 et 12 juin	<i>FERRETTE (68)</i>	Juin
Mercredi 13 juin	Jeudi 14 juin	<i>ANDANCETTE (26)</i>	
Mardi 19 juin	Jeudi 21 juin	<i>INGOLSHEIM (67)</i>	
Lundi 09 juillet	Mardi et Jeudi 10 et 12 juillet	<i>INGOLSHEIM (67)</i>	Juillet

Tableau 3 : Planning prévisionnel des analyses

2. EXPLOITATION DES RESULTATS

Avant de commencer l'exploitation des résultats obtenus, un bilan des campagnes de mesures doit être fait afin de mieux appréhender le contexte et les difficultés rencontrées. Pour plus de précisions, les fiches des prélèvements sont jointes en [Annexe 4](#).

2.1 Bilan des campagnes de mesures

2.1.1 La première campagne

Cette première campagne a eu lieu au mois de juin 2012, elle concerne alors 3 STEU situées dans le Haut-Rhin (68), Bas-Rhin (67) et la Drôme (26).

Les principaux impératifs ont été climatiques. En effet le temps plutôt instable de ce mois de juin a rendu difficile la programmation des prises d'échantillons à l'avance, plus particulièrement au niveau du moment des prélèvements (alimentation des lits, homogénéisation du silo, etc.) mais aussi de la disponibilité de chacun.

Sur ces trois stations, aucun élément perturbateur ni d'un point de vue fonctionnement ni conception n'a empêché la prise d'échantillons.

La STEU de Ferrette (68), première station sur laquelle des prélèvements ont été effectués, est un site remarquable. Son bon fonctionnement a permis notamment la prise d'échantillons dans un lit où la siccité élevée et surprenante à l'œil nu permet de marcher sur la boue « comme dans un champ » grâce à un aspect et une texture se rapprochant du terreau, ce malgré un temps aléatoire et légèrement humide.

Le constat est le même sur le lit planté à l'arrêt de la STEU d'Ingolsheim (67).

2.1.2 La deuxième campagne

Cette campagne concerne uniquement la station d'Ingolsheim par soucis de temps et d'aléas climatiques.

De plus, la STEU de Ferrette présentant des problèmes de charge massique dans le bassin d'aération, l'extraction des boues vers le silo a été stoppée et donc l'alimentation des lits aussi, ne permettant donc pas de prélever ni dans le silo, ni dans le regard de retour en tête des percolats.

2.2 Les résultats

Rappel : l'interprétation de ces résultats est basée sur les prélèvements effectués au cours du TFE complétés par des analyses antérieures connues.

Avant de rendre compte des données et de les interpréter, Il faut se questionner quant à la validité des résultats et leurs expressions. Le tableau ci-dessous résume les incertitudes des mesures et les limites de quantification :

Paramètre	Incertitude	Limite
MES	20%	0,005 g/l
MVS	20%	0,005 g/l
PH	5%	2 chiffres significatifs
DCO	15%	20 mg d'O ₂ /l
Azote Ammoniacal	10%	0,08 mg/l
Calcium total		10 mg/l
Phosphore total (Pt)		0,30 mg/l
Magnésium total		5 mg/l

Tableau 4 : Récapitulatif des incertitudes de mesure et limites de quantification (LEE)

Ces valeurs prennent en compte les méthodes d'analyses ainsi que les résultats obtenus par rapport à d'autres laboratoires nationaux lors de « campagnes test ».

En ce qui concerne les micro-méthodes et les analyses de boues solides réalisées sur des lixiviats (cas des lits plantés), les valeurs d'incertitudes ne sont pas connues.

2.2.1 Compte rendu et analyse des données des prélèvements

En vue de l'interprétation des résultats, il est indispensable de présenter en premier les données dont nous disposons pour chaque station, permettant alors de dresser un portrait de la situation et d'établir des liens entre les composantes étudiées. Ainsi, ces caractéristiques faciliteront la démarche.

Un premier tri des données disponibles a été effectué afin de ne conserver que les éléments comparables et utiles à cette étude (Cf. récapitulatifs des données en [Annexe 5](#)).

Par la suite, il faut définir les limites de l'analyse. Une attention particulière doit être portée aux analyses des boues des lits plantés, en particulier concernant celles sur des lixiviats. En effet, les analyses de pH, NTK, NH₄, calcium, phosphore et magnésium se font sur des lixiviats de boues solides prélevées dans les lits. Cette technique ne permet pas de garantir les valeurs obtenues, néanmoins elle permet d'étudier une « tendance ».

Remarques : Les valeurs en rouge sont jugées incohérentes, dû à un problème lors du prélèvement, du transport ou encore de l'analyse au LEE. Elles peuvent également s'expliquer par des conditions climatiques difficiles (pluie, etc.). De ce fait elles ne seront pas intégrées dans l'interprétation. Les valeurs en italiques sont quant à elles calculées à partir de résultats d'analyses, afin de pouvoir les comparer avec d'autres données dans des unités identiques.

2.2.1.1 Ingolsheim (67) / Préconisations Allemandes

Pour la station d'Ingolsheim, après un tri des données disponibles intéressantes, nous sommes parvenus à une sélection issue des sources suivantes :

- EMCH+BERGER (E+B) – 19/07/2012,
- EMCH+BERGER – 09/07/2012,
- Conseil Général du Bas-Rhin (CG 67) – 2008,
- Conseil Général du Bas-Rhin – 2009,
- Syndicat Des Eaux et d'Assainissement (SDEA) – 2012,
- Agence de l'Eau Rhin-Meuse (AERM) – 2006.

Ces valeurs sont reprises dans les tableaux ci-après.

- **Silo à boues**

BOUES DU SILO						
	E+B 19/06/12	E+B 09/07/12	SDEA 2012	CG 67 2009	CG 67 2008	Unité
Analyse physico-chimique						
Siccité	2,3	2,8	3,1	2,2	3,0	%
Matières Minérales en Suspension (MMS)	50,8	50,7	42,4	47,9	43,6	%
Matières Volatiles en Suspension (MVS)	49,2	49,3	57,6	52,1	56,4	%
pH	6,21	6,64	6,00	6,10	6,20	--
Demande Chimique en Oxygène (DCO)	31040,00	48537,60				mg d'O ₂ /l
Azote Kjeldhal (NTK)	2089,61	1768,48	1020,21	504,33		mg/l
Azote Ammoniacal (N-NH ₄)	72,00	74,00	86,41	82,52	75,29	mg N/l

Tableau 5 : Résultats du silo d'Ingolsheim (67)

Le silo à boues présente une siccité moyenne de 2,7% en accord avec la siccité attendue comprise entre 2 et 5%.

D'après les analyses EMCH+BERGER du 19 juin 2012, la fraction organique mesurée est de 49,2%, soit le rapport de MVS⁷ par rapport aux MES. En considérant une incertitude des MES et des MVS de 20%, on obtient alors un intervalle de valeurs similaires.

Le pH est plutôt stable au cours des différentes campagnes, mais légèrement acide, probablement du au temps de séjour des boues dans le silo.

On constate une boue très chargée de part sa concentration en DCO et en NTK. A première vu des doutes ont été émis sur la validité de ces valeurs, car jugées importantes, cependant les analyses du SDEA confirment cette tendance pour le paramètre NTK mais ne vérifient pas les valeurs.

En ce qui concerne l'azote ammoniacal, sa faible concentration par rapport au NTK concorde sur l'ensemble des données connues. Cette « petite » valeur résulte du traitement spécifique de l'azote (nitrification-dénitrification) au cours du traitement biologique (file eau) (Deronzier et al., 2001).

⁷ Les MVS étant la partie organique des MES.

• **Lit planté de roseaux n°1 (côté rivière)**

BOUES DES LITS PLANTES			
	E+B 19/06/12	E+B 09/07/12	Unité
Analyse physico-chimique			
Siccité	36,1	52,7	%
Matières minérale	89,2	84,2	%
Matière Organique	10,8	15,8	%
pH	5,62	5,54	--
Analyse de la valeur agronomique			
Azote Kjeldhal (NTK)	1611,11	1217,15	mg/kg
Azote Ammoniacal (N-NH ₄)	387,81	391,84	mg N/kg
Calcium total	513,90	493,36	mg/kg
Phosphore total (Pt)	879,17	1203,04	mg/kg
Magnésium total	<95	<95	mg/kg

Tableau 6 : Résultats des boues des lits d'Ingolsheim (67)

Remarque : On retrouve signalé par une flèche sur l'ensemble des tableaux relatifs aux lits plantés de roseaux, les valeurs issues d'analyses sur des lixiviats de boues plus ou moins déshydratées. C'est sur ces valeurs numériques qu'il faut être prudent et faire le choix de plutôt étudier une « tendance ».

Les valeurs de siccité de 36,1% et de 52,7% sont très élevées, cependant elles reflètent la réalité du terrain observée lors des prélèvements sur place. La siccité la plus élevée a été mesurée 3 semaines après la première au cours d'une période estivale. On peut alors tenter d'expliquer un tel écart avec l'influence du climat (temps sec, etc.).

La fraction organique est beaucoup moins importante que dans le silo.

Le caractère acide du pH plutôt constant est certainement lié à l'âge des boues ainsi qu'au pH déjà inférieur à 7 des boues épandues issues du silo. Il est à noter que l'effluent en entrée de station présente en moyenne un pH de 7,4⁸.

Dans la continuité de l'évolution de la fraction organique par rapport à la fraction minérale, l'augmentation de la part d'azote ammoniacal sur la part d'azote Kjeldhal témoigne une nouvelle fois du phénomène de minéralisation.

Egalement, on constate des traces de calcium et de phosphore dans les boues, quant au magnésium elles sont infimes.

⁸ Données d'exploitation fournies par le SDEA.

• **Percolats**

PERCOLATS DES LITS PLANTES					
	E+B 19/06/12	E+B 09/07/12	CG 67 2008	AERM 2006	Unité
Analyse physico-chimique					
pH	6,96	6,91	7,00		--
Demande Chimique en Oxygène (DCO)	770,60	683,50	577,00	433,00	mg d'O ₂ /l
Azote Kjeldhal (NTK)	423,67	610,71	226,00	62,40	mg/l
Azote Ammoniacal (N-NH ₄)	212,00	193,00	192,00		mg N/l
Phosphore total (Pt)	31,10	123,50	48,40	43,00	mg/l
Matières en Suspension (MES)	150	316	140	170	mg/l
Matières Volatiles en Suspension (MVS)	48	44			mg/l

Tableau 7 : Résultats des percolats d'Ingolsheim (67)

En considérant une incertitude de 5%, les valeurs de pH sont considérées comme neutres pour l'ensemble des valeurs connues.

On constate des percolats très chargés. Si un seul paramètre ou une seule valeur étaient concernés, on pourrait envisager une erreur de type analytique par exemple, or dans notre cas, la grande majorité des valeurs coïncident entre elles, rendant alors ces conclusions légitimes.

Seules 3 valeurs semblent incohérentes, elles sont alors mises en évidence en rouge.

De plus, les paramètres azotés ainsi que de matières en suspension indiquent des percolats moins organiques que les boues épandues.

2.2.1.2 Ferrette (68) / Préconisations Allemandes

Dans le cas de cette station, nous disposons des résultats des sources suivantes :

- EMCH+BERGER – 06/06/2012,
- Agence de l'Eau Rhin-Meuse – 2011,
- HOLINGER – 2008/2011.

Pour le paramètre DCO sur les boues du silo et des percolats, les valeurs jugées élevées ont été vérifiées par micro-méthode. Cela consiste à déterminer par photométrie la diminution de concentration en chromates après oxydation à l'aide de dichromate de potassium, d'acide sulfurique et de sulfate d'argent.

• **Silo à boues**

BOUES DU SILO				
	E+B 06/06/12	AERM 2011	Moyenne HOLINGER 2008-2011	Unité
Analyse physico-chimique				
Siccité	1,3	2,1	2,4	%
Matières Minérales en Suspension (MMS)	20,3	34,9		%
Matières Volatiles en Suspension (MVS)	79,7	65,1		%
pH	7,08	6,80		--
Demande Chimique en Oxygène (DCO)	9008,00			mg d'O ₂ /l
Azote Kjeldhal (NTK)	757,81			mg/l
Azote Ammoniacal (N-NH ₄)	11,00			mg N/l

Tableau 8 : Résultats du silo de Ferrette (68)

La valeur de siccité de 1,3% mesurée lors des prélèvements du 6 juin 2012 est inférieure aux autres valeurs connues. Ceci s'explique car la prise d'échantillon a eu lieu au moment de l'alimentation du silo, les boues n'ont donc pas eu le temps d'épaissir jusqu'à l'obtention d'une siccité moyenne supérieur à 2%.

La valeur retenue est 2,3% (moyenne hors valeur EMCH+BERGER).

De même, la fraction organique mesurée est de 79,7% (soit 10588/13291 mg/l), en considérant une incertitude de 20%, la valeur est toujours supérieure à celle de l'AERM. Comme la valeur de siccité, ceci s'explique par le phénomène de minéralisation qui commence dès le stockage des boues dans le silo.

On peut observer un pH moyen quasi neutre.

Bien qu'élevée, la DCO est cependant cohérente avec les MVS mesurées (8 330 mg/l). en effet, cette valeur est vérifiable à l'aide d'un rapport de 1,42⁹.

Le faible rapport de NH₄ par rapport au NTK est lui aussi le signe d'une fraction organique importante, l'azote ammoniacal étant la partie minérale de l'azote Kjeldhal (Deronzier et al., 2001). La faible quantité de NH₄ est liée à l'unité de nitrification du traitement biologique.

⁹ DCO (g d'O₂/l) ≈ MVS (g/l) × 1,42. Ce ratio est purement théorique et ne tient pas compte de la fraction minérale de la DCO. Cependant il permet de vérifier des ordres de grandeur.

• **Lit planté de roseaux n°4**

BOUES DES LITS PLANTES		
	E+B 06/06/12	Unité
Analyse physico-chimique		
Siccité	39,9	%
Matières minérale	60,2	%
Matière Organique	39,8	%
pH	6,26	--
Analyse de la valeur agronomique		
Azote Kjeldhal (NTK)	613,20	mg/kg
Azote Ammoniacal (N-NH ₄)	461,25	mg N/kg
Calcium total	<30	mg/kg
Phosphore total (Pt)	115,63	mg/kg
Magnésium total	<60	mg/kg

Tableau 9 : Résultats des boues des lits de Ferrette (68)

La siccité mesurée de 39,9% est un résultat qui reflète ici encore la réalité du terrain observée lors de la prise d'échantillons, notamment l'aspect « terreau » de la boue.

La fraction organique d'environ 40% est un bon indice de minéralisation en comparaison avec les résultats obtenus pour la boue du silo, bien qu'inférieure aux autres stations de cette étude.

Le pH quant à lui est légèrement acide, influencé par les caractéristiques de la boue du silo.

Les valeurs de calcium et de magnésium sont très faibles, puisqu'en dessous des limites de la méthode utilisée en laboratoire, néanmoins on constate des traces de phosphore.

• **Percolats**

PERCOLATS DES LITS PLANTES		
	E+B 06/06/12	Unité
Analyse physico-chimique		
pH	7,60	--
Demande Chimique en Oxygène (DCO)	451,80	mg d'O ₂ /l
Azote Kjeldhal (NTK)	119,30	mg/l
Azote Ammoniacal (N-NH ₄)	49,40	mg N/l
Phosphore total (Pt)	11,40	mg/l
Matières en Suspension (MES)	223	mg/l
Matières Volatiles en Suspension (MVS)	12	mg/l

Tableau 10 : Résultats des percolats de Ferrette (68)

Il n'y a pas de soucis d'acidité au niveau du paramètre pH.

Ici encore, on constate des percolats chargés notamment en MES. En effet, lors du prélèvement, des particules en suspension étaient visibles à l'œil nu.

En revanche, la part organique est moins importante que celles des boues du silo.

2.2.1.3 Andancette (26) / Préconisations de l'IRSTEA

Les analyses dont nous disposons sont :

- EMCH+BERGER – 13/06/2012,
- Thèse (fournie par l'IRSTEA) – 2011,
- Thèse (fournie par l'IRSTEA) – 2009.

Pour le paramètre DCO sur les boues du silo et des percolats, les valeurs ont été vérifiées par micro-méthode.

D'après un échange de mails avec Monsieur Pascal MOLLE, quelques valeurs sont ressorties comme étant incohérentes. Les précautions prises lors des prélèvements suggèrent un souci d'ordre analytique ou d'une influence négative du climat.

Remarque : la corrélation de la minéralisation vue précédemment ne s'applique pas qualitativement aux boues du bassin d'aération.

- **Bassin d'aération**

BOUES DU BASSIN D'AERATION				
	E+B 13/06/12	THESE 2011	THESE 2009	Unité
Analyse physico-chimique				
Siccité	0,4	0,2	0,2	%
Matières Minérales en Suspension (MMS)	53,8	29,2	19,0	%
Matières Volatiles en Suspension (MVS)	46,2	70,8	81,0	%
pH	7,12		7,10	--
Demande Chimique en Oxygène (DCO)	2476,80	2400,00	2160,00	mg d'O ₂ /l
Azote Kjeldhal (NTK)	251,51	117,00	133,00	mg/l
Azote Ammoniacal (N-NH ₄)	3,10	1,90	2,00	mg N/l

Tableau 11 : Résultats du bassin d'aération d'Andancette (26)

On observe une siccité constante et cohérente au vue du système de traitement des eaux usées.

En revanche d'après les données dont nous disposons ainsi que le rapport MVS/MES, la valeur en MES de 4190 mg/l est incohérente pour une STEU de type boues activées, faussant alors les pourcentages des parts organique et minérale. On peut tenter d'expliquer cette valeur par une dilution provoquée par des évènements pluvieux récents combinée à l'extraction de boues vers les lits. En effet, la fraction organique devrait être beaucoup plus importante, ce qui est confirmé par le rapport NH₄/NTK.

Ici encore, la faible valeur d'azote ammoniacal témoigne du traitement spécifique de la pollution azotée dans le traitement biologique (Deronzier et al., 2001).

Hormis les valeurs de MMS / MVS, Monsieur Pascal MOLLE a validé ces résultats.

• **Lit planté de roseaux n°E**

BOUES DES LITS PLANTES		
	E+B 13/06/12	Unité
Analyse physico-chimique		
Siccité	26,4	%
Matières minérale	88,7	%
Matière Organique	11,3	%
pH	6,45	--
Analyse de la valeur agronomique		
Azote Kjeldhal (NTK)	1323,85	mg/kg
Azote Ammoniacal (N-NH ₄)	556,82	mg N/kg
Calcium total	94,70	mg/kg
Phosphore total (Pt)	280,77	mg/kg
Magnésium total	<95	mg/kg

Tableau 12 : Résultats des boues du lit planté d'Andancette (26)

On constate une siccité « satisfaisante » bien qu'elle soit inférieure aux autres stations.

En revanche, la fraction organique mesurée par EMCH+BERGER soulève des questions dans le sens où elle est très faible. En effet, toujours d'après l'avis de Pascal MOLLE et les valeurs constatées dans les archives de l'IRSTEA, celle-ci ne devrait pas descendre sous les 40% de fraction organique. Cependant, ces anciennes valeurs ne concernent pas des lits au repos, de plus, des valeurs similaires mesurées sur Ingolsheim laissent supposer que ces pourcentages sont plausibles.

Le pH est légèrement acide, dans la lignée des valeurs relevées jusqu'à présent.

L'augmentation de la quantité de l'azote ammoniacal par rapport à l'azote Kjeldhal appui une nouvelle fois le processus de minéralisation.

De même que sur Ingolsheim, on retrouve des traces de calcium et de phosphore.

• **Percolats**

PERCOLATS DES LITS PLANTES		
	E+B 13/06/12	Unité
Analyse physico-chimique		
pH	6,55	--
Demande Chimique en Oxygène (DCO)	100,80	mg d'O ₂ /l
Azote Kjeldhal (NTK)	<5,00	mg/l
Azote Ammoniacal (N-NH ₄)	3,60	mg N/l
Phosphore total (Pt)	21,90	mg/l
Matières en Suspension (MES)	6	mg/l
Matières Volatiles en Suspension (MVS)	2	mg/l

Tableau 13 : Résultats des percolats d'Andancette (26)

Globalement, les percolats apparaissent très peu chargés aussi bien sur les paramètres de MES, de DCO et d'azote.

Il peut y avoir plusieurs explications à ce phénomène en lien avec le climat (pluie), la siccité de la boue épandue ou encore la structure du massif filtrant.

2.2.2 Prise en compte des données pluviométriques

Après avoir analysé les résultats disponibles, il est nécessaire de livrer le sens de ces données. En effet, en associant les résultats de ces campagnes de mesures avec leurs contextes respectifs (méthode de dimensionnement, charge, pluviométrie, etc.) nous serons à même d'obtenir des réponses aux questions soulevées dans cette étude ainsi que d'envisager des pistes de poursuite des recherches.

Tout au long du mémoire, les contextes « techniques » de chaque station ont été décrits, reste alors à mettre en parallèle la pluviométrie, très influente sur le traitement des boues par lits plantés de roseaux.

Les données pluviométriques retenues concernent les 3 stations de mesures les plus proches de chaque STEU ainsi que des relevés manuels, soit :

- Relevés manuels sur la station d'épuration (SDEA) pour Ingolsheim (67),
- Station Bâle-Mulhouse (Météo France) pour Ferrette (68),
- Station Lyon-Bron (Météo France) pour Andancette (26).

Lors de nos campagnes de mesures, nous avons tenu compte du climat pour fixer des dates de prélèvements et intervenir à des moments favorables (période sèche, etc.). Cependant, dans le cas d'Andancette, étant donné la distance (environ 600 km) ainsi que les contraintes d'emploi du temps de Pascal MOLLE pour l'accès au site et les prises d'échantillons, l'intervention a été programmée plusieurs semaines à l'avance, ne permettant pas d'apprécier les conditions météorologiques à si grande échelle dans le temps.

En effet, la pluie influence grandement, mais pas seulement, la siccité des boues, éléments de comparaison majeur de cette étude.

Egalement elle dilue les retours en tête des lits plantés de roseaux. Lors de son infiltration-percolation à travers les lits, elle crée des lixiviats des boues qui se mélangent aux percolats.

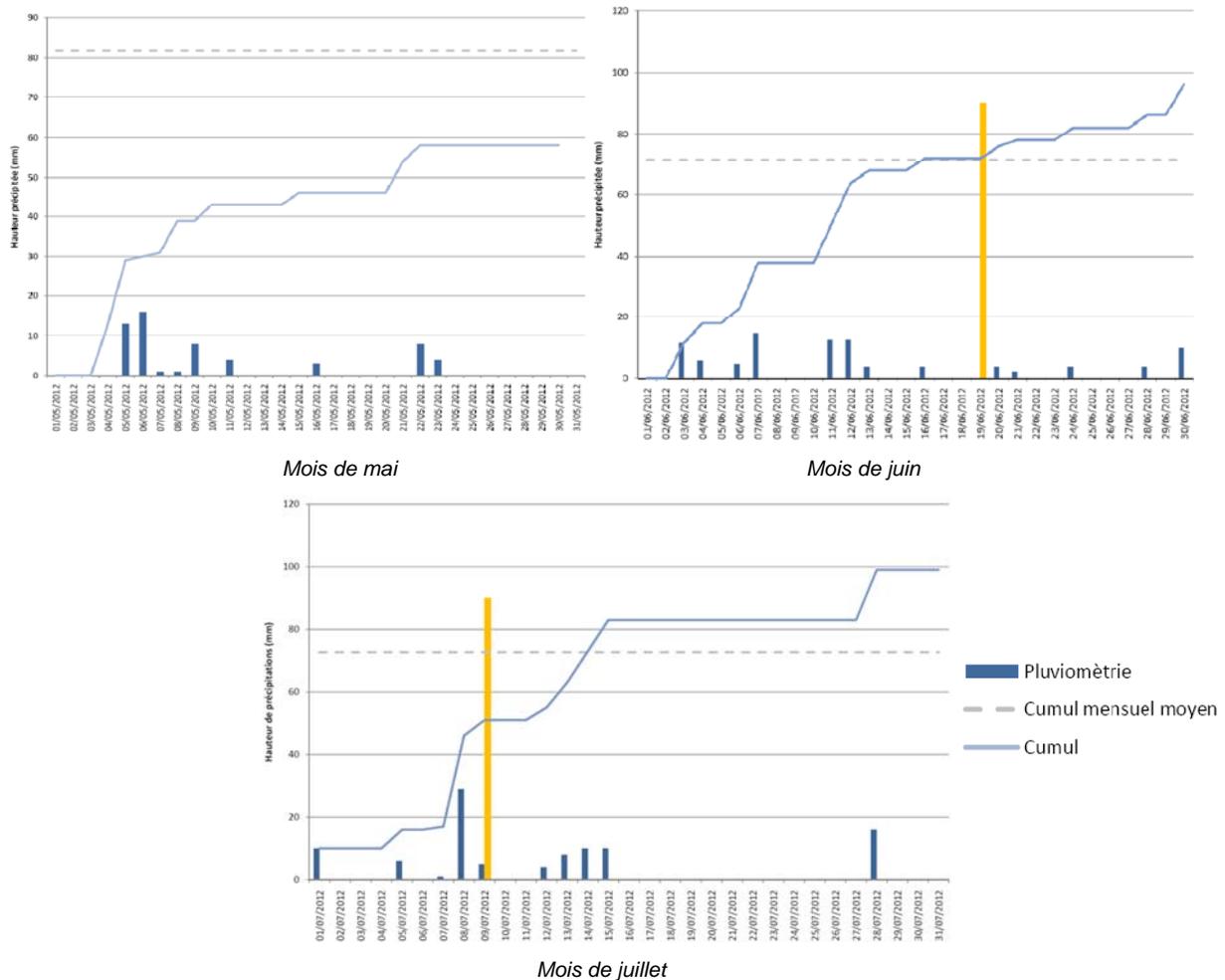
Remarque : Les traits orange sur les graphiques de pluviométrie marquent le jour où les prélèvements ont été effectués.

2.2.2.1 Relevés manuels sur site / Ingolsheim (67)

Les prélèvements sur cette station ont eu lieu les 19 juin et 9 juillet 2012.

Afin d'aborder au mieux l'influence de la pluviométrie sur les résultats de mesures obtenus, les données étudiées doivent être proches des mesures dans le temps, soient les mois de mai, juin et juillet 2012.

Etude du traitement des boues par minéralisation sur lits plantés de roseaux Méthodes comparées et vidange des lits



Source relevés manuels SDEA

Figure 14 : Pluviométrie des mois de mai, juin et juillet 2012 à Ingolsheim

Sur le premier graphique, la pluie cumulée (58 mm) est de 23 mm en dessous du cumul mensuel moyen (1981-2010) d'un mois de mai. On remarque également un faible nombre de jours de pluie, ce qui est favorable au fonctionnement de l'installation.

En ce qui concerne le mois de juin, le cumul mensuel moyen, soit 72 mm, est déjà atteint le jour du prélèvement, ce qui démontre un mois plus humide que la moyenne.

De plus, suite aux fortes chaleurs de la deuxième moitié du mois, les orages ponctuels du 30 juin et 1 juillet apparaissent clairement sur les relevés du SDEA.

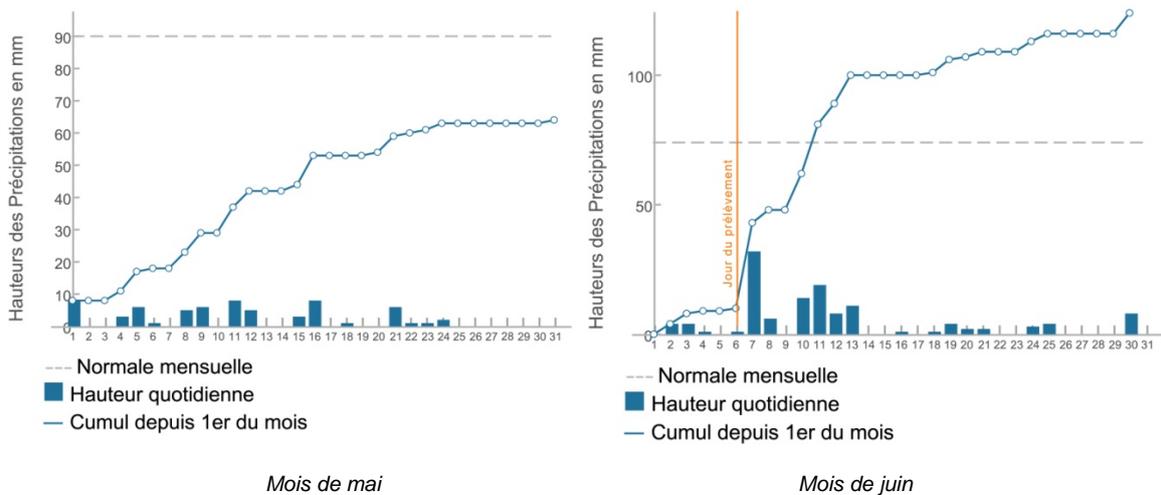
Néanmoins, le début du mois de juillet précédant la campagne du 9, présente une accalmie. En revanche des précipitations sont constatées les 7 et 8 juillet. A noter qu'en valeurs cumulées nous sommes toujours inférieurs aux moyennes de saison.

Pour cette station, la pluie a pu engendrer une légère humidité dans les boues au mois de juin et de juillet.

2.2.2.2 Bâle-Mulhouse / Ferrette (68)

Le prélèvement a eu lieu le 6 juin 2012, pour cela nous avons étudié la pluviométrie en remontant au mois de mai 2012.

Etude du traitement des boues par minéralisation sur lits plantés de roseaux Méthodes comparées et vidange des lits



Source site internet <http://climat.meteofrance.com>.

Figure 15 : Pluviométrie des mois de mai et juin 2012 à la station Bâle-Mulhouse

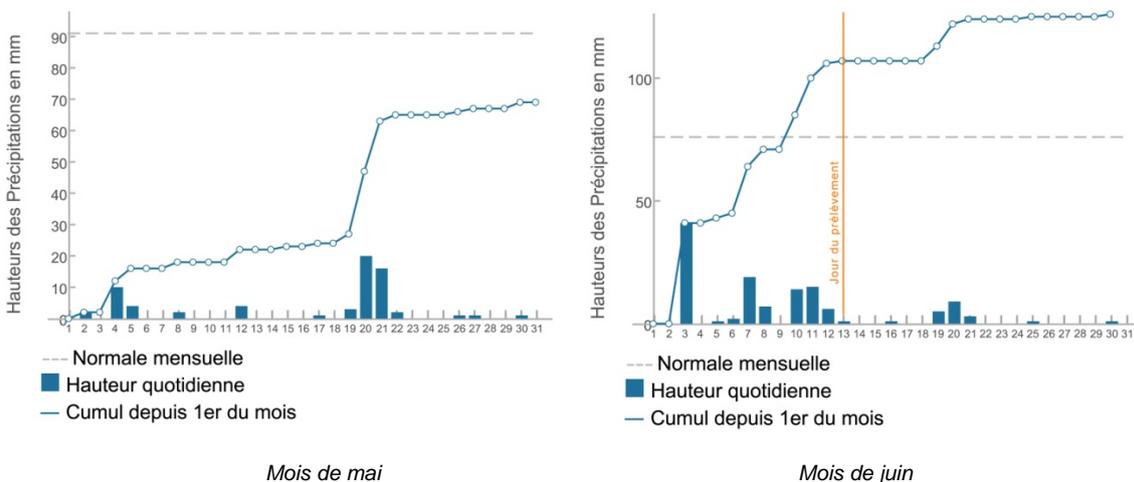
De même que pour les relevés sur la STEU d'Ingolsheim (67), le mois de mai est très sec, environ 26 mm de moins que le cumul moyen mensuel. Notamment on observe une période sèche sur les 7 derniers jours du mois.

Bien que le début du mois de juin ai été légèrement humide, les précipitations restent faibles, de l'ordre de 2 mm/jour sur les 6 premiers jours. Au vue de la pluviométrie du 7, les prélèvements ont eu lieu au bon moment.

Comme observé sur le cas d'Ingolsheim, il y a de faibles précipitations les jours précédents les mesures, mais toujours en faibles quantités ayant alors peu d'impact sur cette étude.

2.2.2.3 Lyon-Bron / Andancette (26)

Comme pour la station de Ferrette, le prélèvement ayant eu lieu le 13 juin, le mois de mai est aussi étudié.



Sources site internet <http://climat.meteofrance.com>.

Figure 16 : Pluviométrie des mois de mai et juin 2012 à la station Lyon-Bron

Toujours suivants les mêmes tendances, le mois de mai est de nouveau plus sec que les moyennes de saison avec une pluviométrie inférieure au cumul mensuel moyen de 22 mm.

En revanche la situation est plus compliquée pour le mois de juin. En effet, les précipitations quasi continues des 12 jours précédents les mesures engendrent une humidité dans les boues avec une moyenne de précipitation journalière de 9 mm.

2.3 Interprétation

Grâce à l'ensemble des données recueillies tout au long de cette étude, il est maintenant possible d'interpréter le comportement de chacune de ces installations, et en particulier d'apporter des éléments de réponse à la problématique des « méthodes comparées ».

Afin d'appréhender de façon claire et précise les questions soulevées, l'interprétation est structurée en deux parties :

- Les phénomènes de déshydratation et de minéralisation : comparaison des performances de chaque station d'un point de vue des boues (siccité, fraction organique, etc.),
- Les retours en tête de station : comparaison de la qualité des percolats renvoyés dans la filière de traitement des eaux usées.

2.3.1 Les phénomènes de déshydratation et de minéralisation

Rappel : la minéralisation des boues sur lits plantés consistent à la déshydratation des boues combinée à la transformation de la part organique en part minérale.

2.3.1.1 Les boues d'alimentation

En premier lieu, il s'agit d'identifier les boues d'alimentation des lits plantés. En effet, dans les préconisations « Allemandes », l'utilisation d'un silo épaisseur implique une boue épandue qui sera différente d'un point de vue physico-chimique de celle issue du bassin d'aération suivant les préconisations de l'IRSTEA.

D'après les analyses, la première différence se situe au niveau de la siccité, comme indiqué d'après les éléments bibliographiques. On observe alors une siccité moyenne en sortie des silos d'Ingolsheim et Ferrette de 2,7 et 2,3%, contre 0,3% pour la boue du bassin d'aération d'Andancette. Plus la siccité est basse, plus la boue est riche en eau.

D'autre part, le silo engendre un début de minéralisation comme démontré ci-dessous :

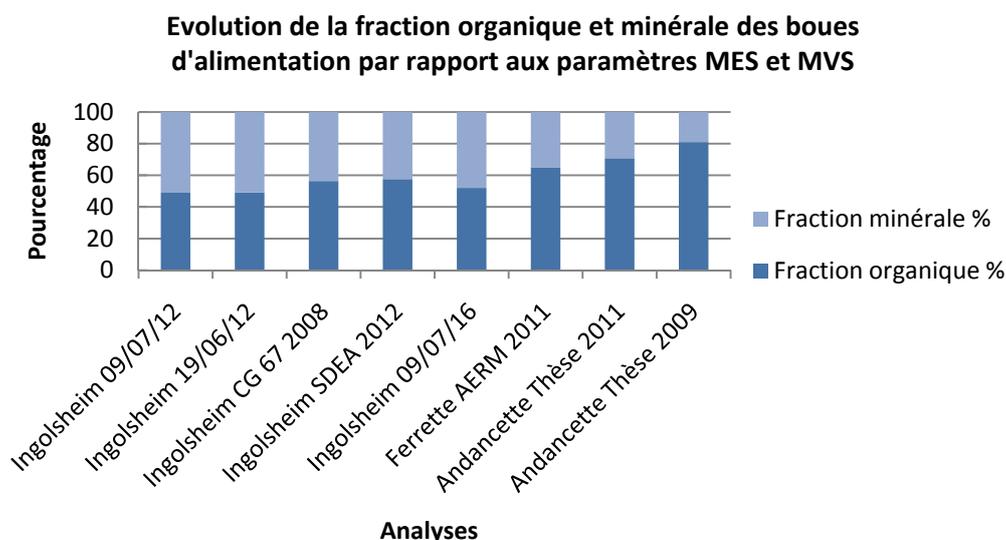


Figure 17 : Evolution de la fraction organique et minérale des boues d'alimentation par rapport aux paramètres MES et MVS

Sur Ingolsheim, les parts organique et minérale sont quasiment égales. A l'origine, les boues qui alimentent le silo sont issues du traitement biologique des eaux usées et sont donc très organiques, comme c'est le cas sur Andancette avec des taux de MVS par rapport aux MES oscillants de 70 à 81%.

L'analyse du silo de Ferrette par l'AERM présente une fraction organique plus élevée. Cette fraction pourrait s'expliquer par la qualité de l'effluent en entrée de station. En effet il n'apparaît pas de conclusions significatives au regard des paramètres de DCO, DBO₅, MES et Pt, cependant, au vu des concentrations en azote, on constate un effluent plus organique à Ferrette (cf. Effluents en entrée de station d'Ingolsheim et Ferrette [Annexe 6](#)). Egalement, le temps de séjour dans le silo au moment de la prise d'échantillons joue un rôle important sur la minéralisation, le pourcentage de MVS étant directement en lien avec la siccité et se rapprochant alors de l'organicité de l'effluent dans le bassin d'aération.

Au cours de l'interprétation des valeurs de pH, on constate une nette différence entre les boues du silo et du bassin d'aération.

Si l'on compare Ingolsheim et Andancette, l'écart de pH est très visible, avec respectivement des valeurs oscillants autour de 6,20 et 7,10. On peut alors en conclure qu'au cours du stockage et de l'épaississement dans le silo, le pH diminue par rapport à celui de la biologie.

Dans cette logique, le pH légèrement diminué de Ferrette (6,80) confirmerait la récente alimentation du silo au moment du prélèvement.

Pour les paramètres de la DCO, du NTK et du NH₄, les eaux usées d'Ingolsheim apparaissent comme particulièrement chargées par rapport aux autres stations, également c'est la station qui possède la charge organique en entrée la plus élevée, soit 74 %.

Les faibles valeurs d'azote ammoniacal s'expliquent par le traitement spécifique de la pollution azotée (nitrification-dénitrification) présente sur chacun des sites étudiés au cours de ce projet de fin d'études.

En revanche, il est intéressant d'interpréter la quantité d'azote ammoniacal par rapport au Kjeldhal, celui-ci représentant la fraction minérale du NTK.

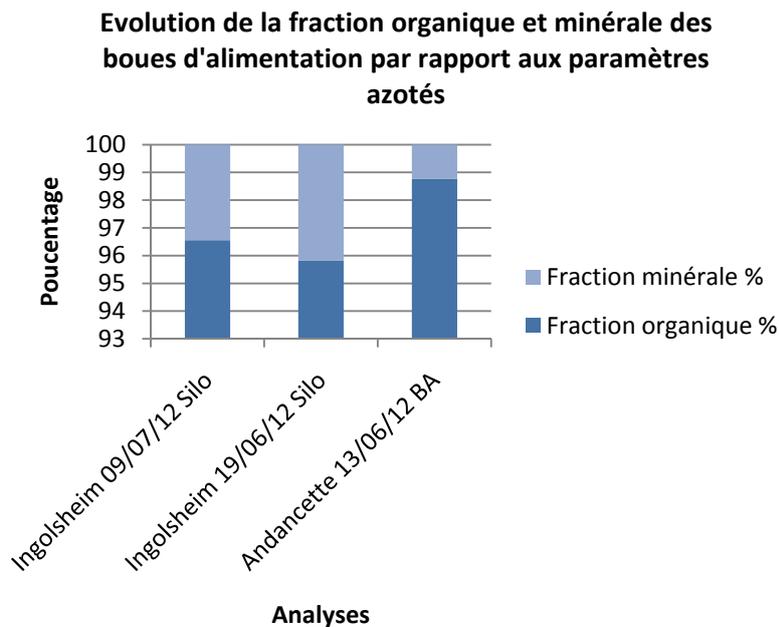


Figure 18 : Evolution de la fraction organique et minérale des boues d'alimentation suivant les paramètres azotés

En examinant ce graphique, on constate que la part de NH_4 est en moyenne trois fois plus importante sur Ingolsheim que sur Andancette traduisant une fraction minérale supérieure dans le silo pour les paramètres azotés (les analyses du silo de Ferrette n'étant pas représentatives sur ce critère elles ne sont pas prises en compte). Cette constatation traduit une fois de plus le début du phénomène de minéralisation qui a lieu dans le silo.

Pour conclure sur les boues d'alimentation, les principales différences des deux méthodes résident dans :

- La siccité des boues épandues : les boues du bassin d'aération sont plus riches en eau et moins concentrées,
- Des boues déjà en cours de minéralisation dans le cas du silo : la fraction organique est alors déjà réduite.

A présent il faut tenter de déterminer l'influence sur les boues en cours de déshydratation.

2.3.1.2 Les boues des lits plantés de roseaux

Rappel : cette étude porte uniquement sur des lits à l'arrêt depuis le début de l'année 2012.

L'analyse de la siccité est un point clé de ce travail. En effet, cet objectif à atteindre est avant tout une question de performance de la déshydratation et donc du traitement. Aussi il s'agit de réduire au maximum le volume des boues.

Pour effectuer la comparaison, il faut non seulement étudier les siccités obtenues sur les boues des lits plantés, mais aussi mettre en parallèle celles des boues d'alimentation dans le but d'identifier un éventuel lien.

Le graphique ci-après reprends les siccités mesurées lors des campagnes d'EMCH+BERGER, soient au nombre de 4. En revanche la valeur retenue pour le silo de Ferrette est issue de l'AERM, la notre n'étant pas comparable.

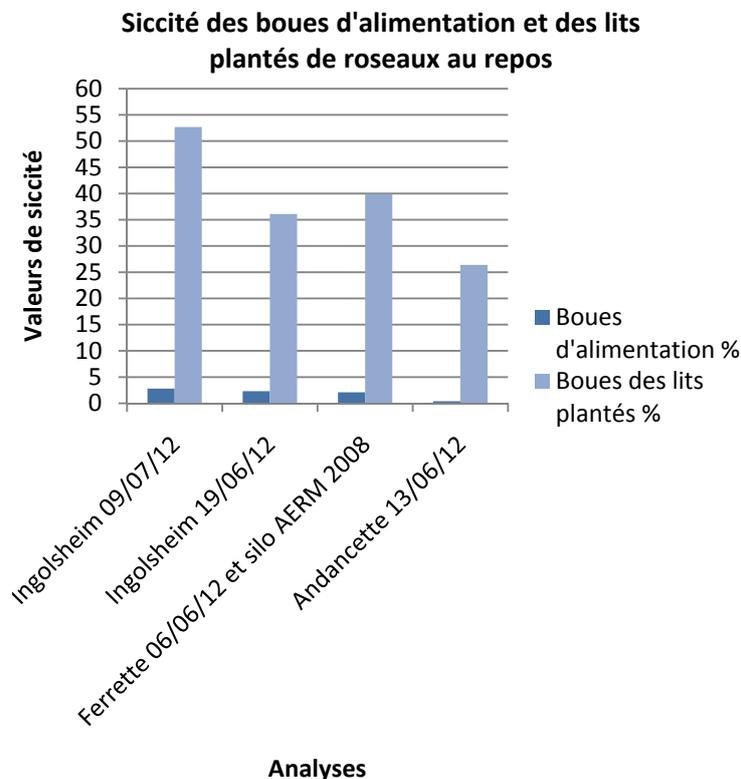


Figure 19 : Comparaison de la siccité des boues d'alimentation et des lits plantés au repos

Le premier constat est sans appel. Les siccités mesurées sur des stations conçues suivant les préconisations d'origine germanique sont toutes supérieures à 35% contrairement à celle mesurée sur une station dimensionnée à partir de la méthode de l'IRSTEA qui elle dépasse à peine les 25%.

Il faut malgré tout prendre en considération la pluviométrie plus importante sur la région Lyonnaise au mois de juin 2012 (voir paragraphe **2.2.2.3 Lyon-Bron / Andancette (26) de la Partie 3**). On peut supposer qu'avec une pluviométrie similaire à celle de la région Alsace au début du ce mois, la siccité pourrait être plus importante. Cependant le mois de mai à quant à lui était plus sec à Lyon qu'à Strasbourg (voir paragraphe **2.2.2.1 Relevés manuels sur site / Ingolsheim (67) de la Partie 3**).

De plus le lit n°4 de la STEU de Ferrette à été mis au repos en mars 2012, contre janvier 2012 pour Andancette (voir paragraphes **1.1.1.3 et 1.1.2.1 de la Partie 3**), qui bénéficie donc de 3 mois non alimentés supplémentaires.

La valeur de siccité de 26% sur le site d'Andancette est donc parfaitement comparable aux valeurs d'Ingolsheim et Ferrette.

En particulier, il faut être extrêmement prudent quant à la comparaison avec la station de l'IRSTEA. En effet, c'est un site « laboratoire », c'est-à-dire qui respecte parfaitement toutes les préconisations, et surtout en terme d'alimentation des lits (voir paragraphe **2.4 Alimentation des lits de la Partie 2**).

Le constat sur le terrain est très différent. Sur toutes les valeurs connues de siccités d'autres STEU utilisant ce type de traitement des boues et dimensionnées suivant la méthode Française, aucune ne dépassent les 20%. Le tableau ci-dessous reprend les valeurs connues sur les autres sites (Thirion, 2007) :

Site	Année de curage	Siccité (%)
Lesperon (40)	1998	15
Indre (36)	2002	16
La Baconnière (53)	2002	19,8
Egreville (77)	2004	16
Cellettes (41)	2004	16 à 19
Onzain (41)	2004	15
Saint James (50)	2006	13

Tableau 14 : Valeurs de siccités connues sur d'autres STEU en France (Thirion, 2007)

Remarque : il est à noter que ces valeurs issues d'une publication de l'IRSTEA sont relativement anciennes et nécessiteraient d'être mises à jour.

En effet, bien que la charge surfacique nominale de 50 kgMS/m²/an de l'IRSTEA soit respectée, le plan d'alimentation au démarrage de 25 kgMS/m²/an impliquant la mise en place d'un traitement annexe des boues n'est jamais appliquée, ni même demandée dans les cahiers des charges destinés aux constructeurs potentiels. Cette méthode présente une gestion beaucoup plus rigoureuse pour obtenir un fonctionnement optimal comme sur Andancette, mais aussi un cout et une installation supplémentaire pour le traitement temporaire (1 à 2 ans) des boues en excès.

En revanche, les installations « Allemandes », ne présentant pas de variation de charge surfacique à gérer à l'aide d'un traitement externe, elles offrent des objectifs de siccité bien meilleurs, allant jusqu'à des valeurs supérieures à 50%.

L'autre point important de ce système est la minéralisation des boues.

On a pu voir précédemment, les caractéristiques des boues d'alimentation, auxquelles il faut maintenant ajouter les valeurs obtenues sur des boues en cours de déshydratation dans des lits plantés de roseaux au repos.

Ainsi, on pourra déterminer le potentiel de minéralisation de chaque site.

A noter qu'ici encore, une sélection des valeurs les plus pertinentes permet la création d'un tel graphique.

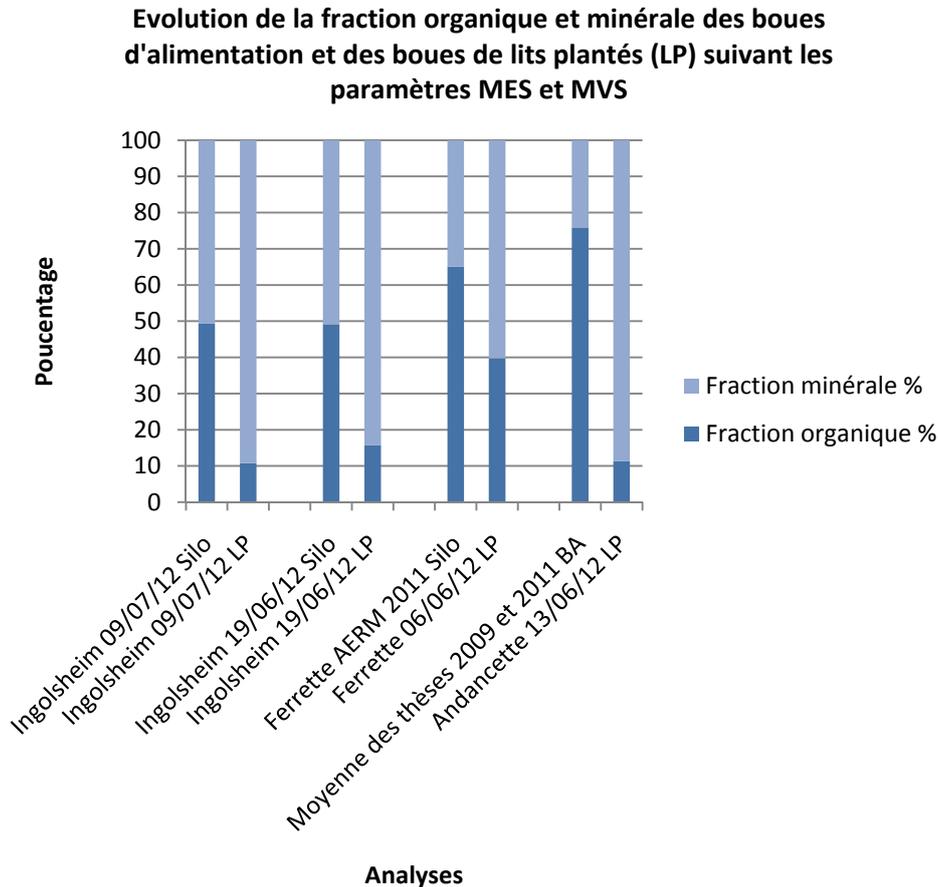


Figure 20 : Evolution de la fraction organique et minérale des boues d'alimentation et des lits plantés de roseaux au repos suivant les paramètres MES et MVS

Sur toutes les stations, le phénomène de minéralisation est bien visible.

Pour les boues des lits plantés, on observe des valeurs similaires sur Ingolsheim et Andancette, pour des boues d'alimentation en provenance du bassin d'aération beaucoup plus organiques d'un côté et de l'autre plus minérales issue du silo épaisseur.

Qualitativement, la minéralisation sur Ingolsheim et Andancette est similaire. En revanche le gain de la part minérale sur les lits est plus important sur Andancette, les boues épandues n'ayant pas commencée à minéraliser.

Une fois encore on dénote une différence pour la station de Ferrette car elle présente une boue 30% plus organique que les deux autres. Ici encore l'effluent en entrée est un facteur non négligeable, mais pas seulement.

Ceci peut aussi s'expliquer par l'année de mise en service de la station :

- 2004 : mise en service d'Ingolsheim et Andancette,
- 2008 : mise en service de Ferrette.

L'âge des boues peut être alors une explication à cette différence.

De même le rapport d'azote ammoniacal par rapport à l'azote Kjeldhal témoigne de cette minéralisation. Ces analyses ayant eu lieu sur des lixiviats pour les boues « solides », seule la tendance est étudiée.

Pour les mêmes raisons que sur le graphique lié aux paramètres azotés des boues d'alimentation qui précède, le silo de la STEU de Ferrette n'est pas pris en compte.

Evolution de la fraction organique et minérale des boues d'alimentation et des boues des lits plantés (LP) suivant les paramètres azotés

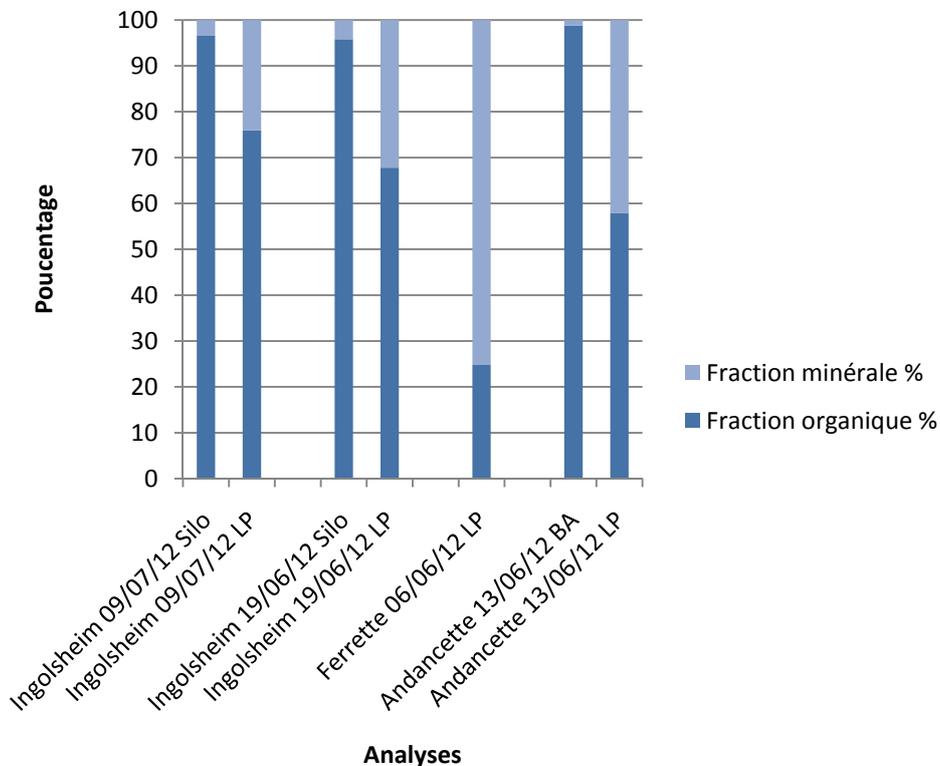


Figure 21 : Graphique de l'évolution de la fraction organique et minérale des boues d'alimentation et des lits plantés de roseaux suivant les paramètres azotés

En revanche, sur les paramètres azotés, la part minérale des boues déshydratées de la station de Ferrette est plus importante.

Cette dégradation de la matière organique permet d'aboutir à la formation d'éléments minéraux constituant alors un facteur important à la croissance des végétaux. Ces boues agissent alors comme un « engrais vert » (OTV, 1997).

Par ailleurs les performances de traitement et de qualité de la boue résident également sur des critères agronomiques, reposant sur la combinaison de différents éléments fertilisant pour les sols.

En plus des taux de matières organiques et minérales vu précédemment, les paramètres interprétés sont :

- L'azote,
- Le calcium,
- Le phosphore,
- Le magnésium.

Pour le paramètre azote, la **figure 21** précédente illustre la fraction minérale de l'azote dans les boues. En effet, plus l'azote est présent sous forme minérale, plus il sera directement assimilable par les plantes (OTV, 1997). Sur ce point la station de Ferrette offre alors de meilleurs résultats et donc aussi un milieu plus favorable pour les roseaux.

Le calcium est un élément constitutif des boues. Si celles-ci sont en plus chaulées, elles peuvent se comporter comme un véritable amendement calcaire (OTV, 1997).

Au vue de nos analyses, on constate une concentration en calcium plus élevée sur la STEU d'Ingolsheim, rendant la boue plus intéressante pour les besoins des sols.

La teneur en phosphore des boues est significative sur les trois stations. Ces valeurs n'ont rien de surprenantes étant donné que les boues sont toujours riches en acide phosphorique. De plus, le phosphore des boues est assimilable à près de 70% dès la première année, une efficacité sensiblement identique à certains engrais. Compte tenu du prix d'achat d'engrais cet élément constitue un facteur intéressant pour la valorisation des boues (OTV, 1997).

Quant à l'apport en magnésium, il est négligeable sur l'ensemble des sites étudiés.

D'un point de vue de ces critères agronomiques, les boues étudiées répondent toutes favorablement aux conditions d'épandage. Cependant, des analyses complémentaires sur la Potasse et les Eléments Traces Métalliques (ETM) doivent être envisagées avant de tirer des conclusions définitives, mais aussi de déterminer les quantités à épandre.

En conclusion sur les boues des lits plantés, il en ressort :

- La siccité finale des boues est plus importante sur les stations dimensionnées suivant les préconisations « Allemandes », malgré la comparaison avec un site « laboratoire » pour les préconisations de l'IRSTEA,
- Le taux de minéralisation des boues est équivalent en fonction des méthodes. De plus, l'âge des boues lié à la date de mise en service de l'installation semble être un facteur déterminant pour cette valeur,
- Les valeurs agronomiques ne présentent pas de variations significatives suivant les stations. D'un point de vue de nos critères elles présentent des apports potentiels pour les sols, cependant ces analyses doivent être affinées. En revanche, le pH inférieur à 6 des boues d'Ingolsheim impose de s'orienter d'un sol riche en calcaire si la solution de l'épandage des boues est retenue. Le chaulage est également envisageable pour remonter le pH des boues.

2.3.1 Les retours en tête de station

Rappel: les percolats sont les eaux qui ruissellent à travers le massif filtrant. Dans cette étude les prélèvements ont tous eu lieu dans le regard de collecte de l'ensemble des drains de l'installation. Egalement aucun problème de foisonnement ou moussage n'est à noter sur les stations étudiées (septicité des percolats, etc.).

Avant de commencer l'interprétation, il aurait été intéressant de pouvoir ramener ces concentrations en termes de flux. Malheureusement, sur aucune de ces installations n'est

mesuré de débit de retour en tête des percolats. Nous nous contenterons donc des valeurs des concentrations.

Le pH des percolats d'Andancette est légèrement acide par rapport aux autres stations, malgré tout cela ne semble pas perturber le traitement des eaux usées.

Bien que d'une importance secondaire dans l'analyse du traitement des boues, la DCO, le NTK et le Pt sont indispensables pour l'interprétation des percolats renvoyés en tête de STEU. En effet, il pourrait représenter de 5 à 25% de la charge d'entrée de la station (OTV, 1997).

Pour faciliter l'interprétation de l'ensemble de ces critères, un jeu de valeurs significatives a été retenu pour chaque station, soit :

- Ingolsheim 19/06/12,
- Ferrette 06/06/12,
- Andancette 13/06/12.

Ainsi on pourra comparer de façon claire et précise les concentrations sur les paramètres DCO, NTK, NH_4 et Pt ainsi que leurs proportions les unes par rapport aux autres.

En effet, l'azote ammoniacal est un paramètre important à prendre en compte dans la comparaison des massifs filtrants dans la mesure où il dépend de l'oxygénation du système.

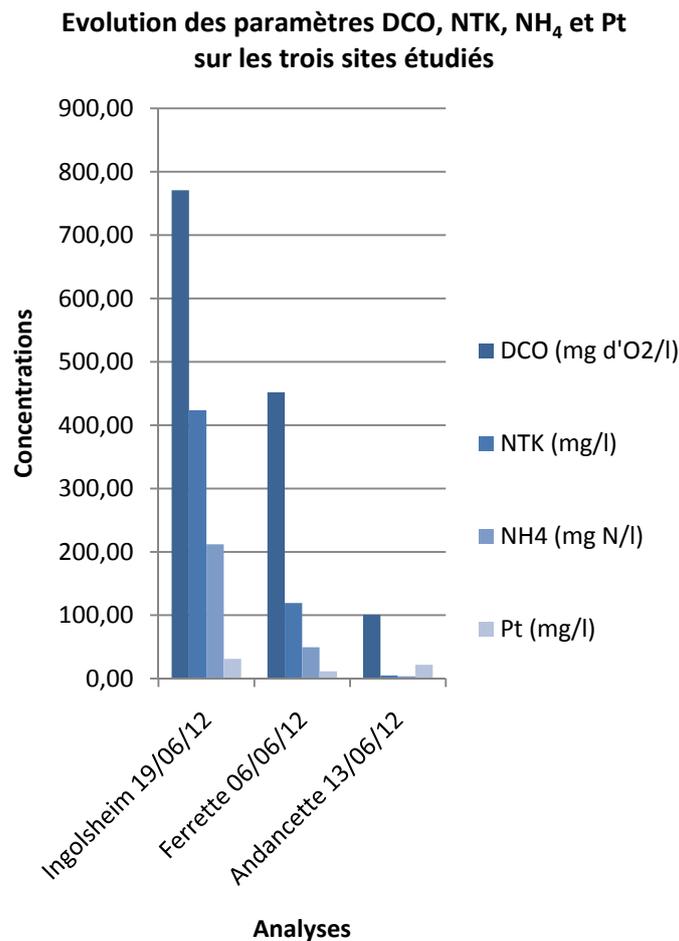


Figure 22 : Evolution des concentrations en DCO, NTK, NH_4 et Pt sur les STEU d'Ingolsheim, Ferrette et Andancette

Bien qu'identiques d'un point de vue de la tendance, les STEU d'Ingolsheim et Ferrette présentent des disparités en terme de quantités.

Cet écart de valeurs est sans doute lié en majorité aux taux de charge des stations (74% pour Ingolsheim et 29% pour Ferrette), mais surtout à la charge surfacique moyenne appliquée de 41 kgMS/m²/an sur Ingolsheim contre 26 kgMS/m²/an sur Ferrette. Cette variation entraîne, à « massifs drainants égaux », une part d'azote ammoniacal plus importante. En effet, plus la charge est importante, plus il y a augmentation de la demande en oxygène néfaste à la nitrification (Vincent, 2011).

En revanche, la comparaison entre Ingolsheim (67) et Andancette (26) est plus que pertinente étant donné que chacun des lits suit un mode d'alimentation conforme aux prescriptions des deux partis.

Les percolats de la méthode « IRSTEA » sont beaucoup moins chargés, il existe deux possibilités de réponse :

- La siccité des boues épandues : les boues issues du silo étant plus concentrées, il paraît normal de retrouver cette tendance dans les percolats. De plus, les boues liquides du bassin d'aération (0,3% de siccité contre 2,7% pour le silo) « libèrent » plus d'eau lors de leur épandage sur les lits, ce qui tend à diluer les percolats.
- La pluviométrie : les pluies précédant la prise d'échantillons sur le site de la Drôme (voir paragraphe **2.2.2.3 Lyon-Bron / Andancette (26) de la Partie 3**) ont pu créer des lixiviats qui se mélangent alors aux percolats et engendrent une diminution de leurs concentrations. Néanmoins, la différence de qualité entre les retours en tête des deux stations ne peut pas être uniquement due à la siccité et la pluviométrie.

Egalement, la concentration en MES est une variable indispensable pour évaluer l'influence du massif filtrant sur les percolats (Vincent, 2011).

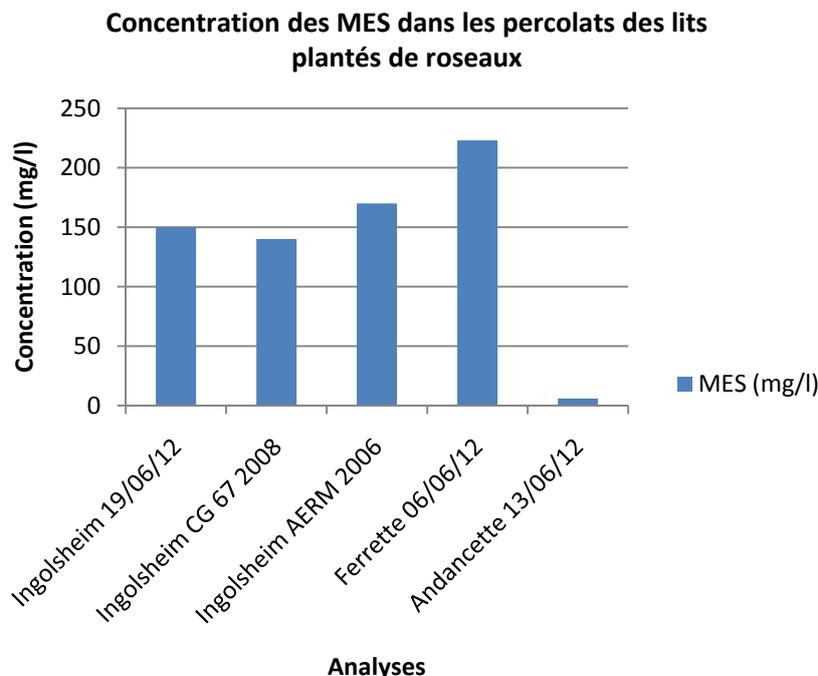


Figure 23 : Concentration en MES (mg/l) dans les percolats retournés en tête de station

Etude du traitement des boues par minéralisation sur lits plantés de roseaux
Méthodes comparées et vidange des lits

Dans la continuité des observations des critères de DCO, NTK, NH4 et Pt, la quantité de MES est largement inférieure sur la STEU d'Andancette.

Est mis en évidence ici l'influence de la structure du massif filtrant. En effet, on constate avec la formation la plus complexe issue des conseils de l'IRSTEA une concentration en MES beaucoup plus faible.

Cependant, il faut modérer ces conclusions. En effet, les percolats sont certes plus « dilués » sur le site d'Andancette, en revanche ne disposant pas de mesure de débit nous pouvons tenter d'apprécier une tendance au niveau des volumes renvoyés en tête de station.

	<i>Ingolsheim (67)</i>	<i>Ferrette (68)</i>	<i>Andancette (26)</i>
Année de mise en service	2004	2008	2004
Surface d'un lit (m ²)	520	290	468
Volume épandu dans le lit étudié depuis la mise en service (m ³)	4 980	1 260	36 330
Siccité des boues d'alimentation (%)	2,7	2,3	0,3
Siccité finale mesurée (%)	52	39	26
Volume du filtrat en fonction de la siccité (m ³)	2 256	740	26 775
Volume de pluie sur le lit depuis la mise en service (m ³)	2 868	981	3 155
Volume total évacué (m ³) ¹⁰	5 119	1 721	29 930
Concentration en MES (mg/l)	150	223	6
Quantité (kg)	768	384	180
Quantité (kg/m ² /an)	185	331	48

Tableau 15 : Récapitulatif des volumes influant la quantité de percolats renvoyée en tête de station

Au vu des volumes mis en jeu, l'écart des valeurs de concentrations en MES sur les stations dimensionnées par EMCH+BERGER et sur les préconisations de l'IRSTEA se réduit considérablement. Cependant, le massif filtrant d'Andancette reste plus performant dans la rétention des particules.

En conclusion de la qualité des retours en tête de station :

- Après estimation des volumes concernés sur chaque installation, la tendance confirme une meilleure filtration des percolats par la structure du massif filtrant de la station d'Andancette.
- Aucune perturbation du traitement des eaux usées n'est signalée sur aucun des sites. La variation de qualité bien qu'évidente ne présente à première vue aucune influence néfaste sur la biologie.

Dans le but d'affiner ces conclusions, un suivi du débit du flux renvoyé dans le traitement des eaux usées serait à envisager.

¹⁰ Attention, ici l'évapotranspiration n'est pas prise en compte, ces valeurs servent seulement à étudier une tendance.

2.4 Synthèse sur les méthodes

Nos résultats relatifs à la caractérisation des boues ont permis de mettre en évidence plusieurs points.

Premièrement nous avons déterminé une qualité de la boue épandue très différente à cause de l'utilisation d'un silo épaisseur pour les préconisations « Allemandes ». Les boues épaissies sont alors plus concentrées que celles du bassin d'aération.

Deuxièmement, le fractionnement de la matière organique a mis en évidence un début de minéralisation dans le silo à boues.

L'incidence constatée sur les lits plantés de roseaux au repos est principalement une question de siccité finale avec des valeurs supérieures à 50% de MS pour Ingolsheim contre 26% sur Andancette. Il est encore nécessaire de rappeler le statut « expérimentale » de la station Lyonnaise qui contrairement à ce qui a été observé jusqu'ici respecte à la lettre toutes les préconisations, en particulier celles du plan d'alimentation très contraignant de l'IRSTEA. A noter également que le plan d'alimentation germanique prévoyant la mise à l'arrêt de façon alterné des lits est un facteur non négligeable quant aux objectifs de siccité.

Par la suite, le taux de minéralisation des boues est équivalent en fonction des méthodes. Cependant, il a été mis en évidence que l'âge des boues lié à la date de mise en service de l'installation semble être un facteur déterminant pour cette valeur tout comme la qualité de l'effluent en entrée de station,

Concernant les valeurs agronomiques, elles ne présentent pas de variations significatives suivant les stations pouvant justifier d'une influence de la méthode de dimensionnement utilisée. En revanche, après consultation auprès de la Chambre d'Agriculture du Bas-Rhin, les sites étudiés possèdent des apports en azote, phosphore et calcium pouvant répondre aux besoins des sols. Des analyses complémentaires de potasse et des ETM permettront alors de déterminer la quantité à épandre si cette solution est retenue lors du curage des lits. Une étude des sols sera alors aussi indispensable au plan d'épandage. Il faudra également rester prudent quant au pH des boues, si celui-ci est compris entre 5 et 6 alors des sols calcaires sont à privilégier. Le chaulage des boues est aussi envisageable.

Au vu des résultats sur la boue, les concentrations des percolats d'Andancette montrent des effluents beaucoup moins chargés. L'étude des volumes mis en jeu a confirmé que le massif filtrant « Français » filtre mieux les percolats. Néanmoins, aucune perturbation du traitement des eaux usées n'est signalée sur aucun des sites. La variation de qualité bien qu'évidente ne présente à première vue aucune influence néfaste sur la biologie.

Des questions se posent alors quant à la quantité précise de percolats renvoyés en tête de station, afin d'interpréter des valeurs en termes de quantités et non de concentrations. Une mesure du débit serait donc à prévoir.

Afin de compléter au mieux cette étude, la partie suivante prend en compte la gestion des boues au moment du curage et analyse d'un point de vue technique et économique la faisabilité et les coûts du curage du lit n°1 « coté rivière » de la STEU d'Ingolsheim étudiée précédemment.

PARTIE 4 : ETUDE TECHNICO ECONOMIQUE DE VIDANGE DES LITS

1. CHOIX DU CONTEXTE

L'étude technico-économique de vidange des lits permettra d'apporter un complément à cette étude concernant la « fin du cycle » d'alimentation des lits.

1.1 Résumé

Au cours de ce projet de comparaison des méthodes de dimensionnement et d'exploitation Française et Allemande, nous nous sommes focalisés sur des objectifs de qualité et de siccité des boues des lits plantés de roseaux. Cependant, il ne faut pas oublier la problématique du devenir de ces boues mais aussi des moyens d'extraction de celles-ci.

En effet, de nombreux problèmes d'accès aux lits ont été relevés (Paulus, 2011), n'ayant pas été prévus et optimisés dès la phase de conception.

Cette étude technico-économique proposera donc une solution d'extraction des boues ainsi que l'évacuation. Pour ce faire, un site de minéralisation des boues conçu par EMCH+BERGER a été choisi, nous imposant des contraintes de qualité de boues et de situation géographique à respecter. De plus, une comparaison avec une filière de déshydratation plus classique est également étudiée.

Cette STEU, dimensionnée suivant la méthode d'origine germanique fait également partie des stations étudiées dans le cadre de l'étude **Partie 3** concernant des analyses sur des cas pratiques.

1.2 La station de traitement des eaux usées d'Ingolsheim (67)

1.2.1 Généralités

La STEU d'Ingolsheim est située dans le Bas-Rhin (67), elle reprend les boues des communes d'Ingolsheim et de Bremmelbach.

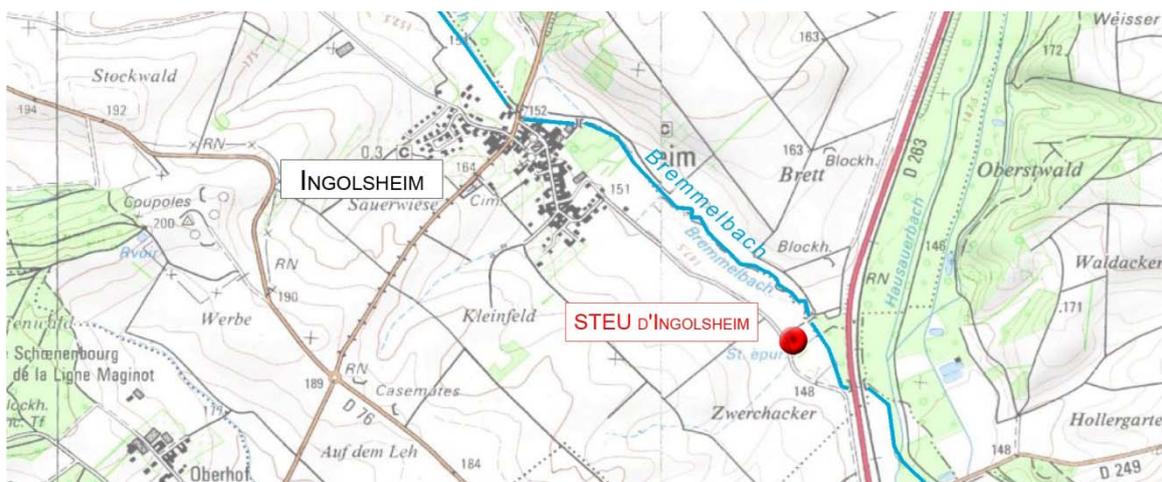


Figure 24 : Plan de localisation de la STEU d'Ingolsheim (67)

D'autres informations sur la STEU sont mentionnées au paragraphe **1.1.1.2 Ingolsheim (67) de la Partie 3**.

1.2.2 Le lit n°1 « coté rivière »

Après analyse des boues des lits plantés dans le paragraphe **2 Exploitation des résultats de la Partie 3**, nous utiliserons ces valeurs de composition de boues comme base à cette étude.



Source photo personnelle, juin 2012.

Figure 25 : Photo du lit à vidanger (lit n°1 « coté rivière »)

A l'heure actuelle, et d'après le cahier des boues fourni par le SDEA, exploitant de cette installation, la quantité de boues épandues sur le lit depuis la mise en service de la STEU en 2004 est de 134,4 tonnes de MS. La siccité moyenne mesurée lors des campagnes d'analyses des 19 juin et 06 juillet 2012 dans le lit arrêté est de 44,4 %, ce qui représente un volume de boues de 303 m³.

En considérant la forme géométrique du bassin ainsi que ces dimensions, il pourra contenir une fois plein un volume de boues de 685 m³. De plus, au vu des analyses on estime une siccité finale de 52%.

En théorie, si l'on considère le taux de remplissage actuel du lit de 44%, il faudrait 18 ans pour le remplir. Néanmoins, il faut tenir compte des mises au repos intermédiaires et finale du lit. Ainsi, en tenant compte de la minéralisation le volume de boues maximum dans le lit ne sera pas atteint lors du curage.

Pour notre estimation du volume de boues final, la base de 56,7 TMS/an¹¹ est prise en compte. On considère comme hypothèse 4 années de remplissage supplémentaires :

- 2 années à 52 % de siccité soit 73 m³,
- 2 années à 15 % de siccité soit 252 m³.

Ainsi le volume de boues lors de la mise à l'arrêt finale du lit sera d'environ 628 m³. En prenant en compte la déshydratation de la boue à 15 % vers une siccité à 52 %, le volume à curer au bout de 12 années de fonctionnement serait d'environ 450 m³ sur le lit n°1.

¹¹Sachant que la charge organique de la station est de 74% et qu'un habitant rejette en moyenne 60g de DBO₅ par jour, alors : *Quantité de boues (TMS/an)* = 3 500 EH x 74 % x 365 x 60 g / j / hab.

2. LE SCENARIO DE CURAGE

En premier, la solution technique en fonction des contraintes du site est présentée, suivi de l'analyse économique. Dans le futur, cette partie du travail de fin d'études sera utilisée pour concrétiser la vidange du lit.

2.1 Solution technique

D'après le suivi d'une dizaine d'installations par l'IRSTEA et la publication d'un document associé (Thirion, 2007), nous préconisons dans le cas de la STEU d'Ingolsheim la vidange du lit en trois étapes :

- Couper les roseaux,
- Curer les lits,
- Evacuer les boues (ou stockage tampon).

Chacune de ces étapes est alors décrite ci-dessous.

2.1.1 Les roseaux

Avant de pouvoir curer les boues des lits plantés de roseaux, il faut tenir compte de la partie aérienne des roseaux (Troesch, 2009).



Source photo personnelle, juin 2012.

Figure 26 : Photo des roseaux depuis l'intérieur du lit

En effet, comme on peut le constater sur la photo ci-dessus prise depuis l'intérieur du lit, la densité de végétation est extrêmement importante, il a même été difficile d'y pénétrer afin d'effectuer les prélèvements.

De ce fait, les roseaux doivent d'abord être broyés à l'aide de matériel type épareuse (Troesch et *al.* , 2008). Les végétaux peuvent alors être évacués vers une plateforme de compostage par exemple et le chantier peut commencer.

2.1.2 Le curage

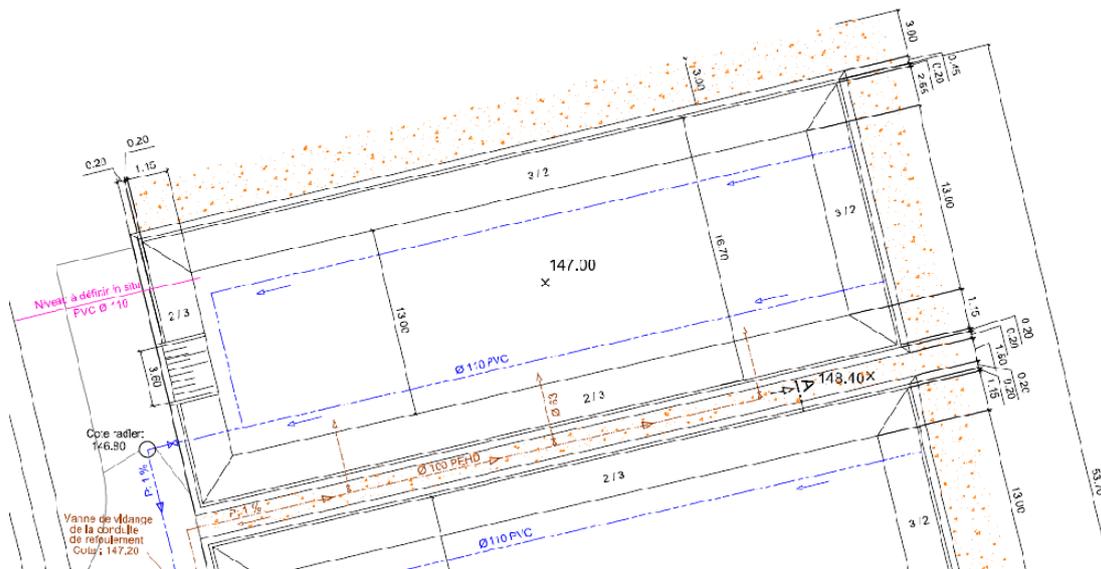
Cette opération consiste à extraire du lit les boues minéralisées, ici à une siccité de 52 % d'après nos analyses du 6 juillet 2012. Soit environ 280 tonnes de matières sèches. Cette valeur est obtenue à partir du volume de boues estimé au moment du curage (450 m³) auquel est appliqué une densité de 1,2. En effet, on ne peut pas considérer la densité de matières sèches comme égale à 1 en particulier avec une siccité aussi élevée. Cette valeur n'ayant pas été mesurée au cours de nos analyses, elle m'a été proposée au cours d'une discussion avec Monsieur Rémy JACKY, gérant d'EMCH+BERGER et Maitre d'apprentissage. Après réflexion et compréhension des données, j'ai choisit de valider cette hypothèse.

La période propice est le mois de juin. En effet, si la saison est favorable, la siccité n'évoluera pas beaucoup au cours de l'été. De plus la repousse des roseaux étant tardive au printemps, la plante nécessite 4 à 6 semaines pour se développer. La période idéale à la reprise des roseaux est alors de début juillet à fin août.

Tout d'abord il faudra veiller à laisser une couche de boues d'une dizaine de centimètres au fond du lit pour permettre la reprise d'une partie des roseaux depuis les rhizomes conservés.

En théorie, après extraction des boues, la repousse des roseaux est naturelle à partir des nœuds du rhizome (3 nœuds minimum) laissés en place. La couche de boue laissée au fond de l'ouvrage vidangé doit être bien colonisée par ces rhizomes. Ce point mérite toutefois encore d'être documenté à partir d'expériences concrètes car il n'est pas évident que tous les rhizomes soient viables (CEMAGREF, 2002), ni que la recolonisation par les végétaux se fasse de manière uniforme. C'est pour cette raison que nous choisissons de replanter les roseaux sur la totalité de la surface du lit.

Egalement, une attention toute particulière est portée à l'installation en elle-même, notamment le poids du chargeur pour ne pas compacter le massif filtrant et/ou abîmer les drains, mais aussi veiller à ne pas impacter la géomembrane avec le godet, ce qui pourrait remettre en cause l'étanchéité des lits.



Source plan EMCH+BERGER.

Figure 27 : Extrait du plan du lit n°1 "coté rivière" de la STEU d'Ingolsheim (67)

Dans ce cas, la disposition des drains, seulement au nombre de 2 situés à 1 mètre du bord, permet de circuler plus facilement sans trop appliquer de contraintes sur les drains.

De plus, le fond du lit devra être repris à l'aide de substrat (environ 25 m³) afin de lui redonner ses caractéristiques lors de la mise en service de l'installation et permettre de réimplanter de nouveaux roseaux. De plus nous pouvons réutiliser nos propres boues que nous extrayons et broyons afin de les réutiliser comme substrat.

2.1.3 Devenir des boues

A ce jour, le choix du devenir des boues se porte vers le compostage moins contraignant notamment en termes de planification par rapport à l'épandage. Cependant, la valorisation agricole est une hypothèse à ne pas exclure.

2.1.3.1 *Choix principal : Le compostage*

Le compostage est un procédé biologique aérobie de dégradation et de transformation de la matière organique permettant d'obtenir un produit valorisable à partir d'un déchet (Albrecht, 2007).

Cette filière s'applique à tous les déchets de types organiques : déchets verts, bio-déchets ménagers, boues de station d'épuration, déchets agroalimentaires, etc.

De ce fait nous pourrions composter les boues issues du curage, mais aussi la partie aérienne des roseaux.

L'intérêt est aussi écologique, en effet, l'utilisation de déchets organiques valorisés permet de diminuer la part d'engrais lixiviables utilisée.

L'apport d'éléments fertilisants par les boues est très intéressant pour les besoins des sols, notamment en azote et phosphore, éléments fondamentaux de la vie végétale (Albrecht, 2007).

Le compostage des boues est basé sur le principe du compostage des fumiers agricoles, mais l'opération s'effectue en milieu aéré, ce qui permet de délivrer un produit sans nuisances olfactives, conforme aux exigences de chacun (OTV, 1997).

Comme tout procédé de traitement, le compostage est régi par un cadre réglementaire.

Le texte fondamental constituant la base réglementaire concernant les matières fertilisantes et supports de culture est le Code rural article L255-1. Ils donnent les définitions suivantes :

- Les matières fertilisantes comprennent les engrais, les amendements et, d'une manière générale, tous les produits dont l'emploi est destiné à assurer ou à améliorer la nutrition des végétaux ainsi que les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols,
- Les supports de culture sont des produits destinés à servir de milieu de culture à certains végétaux.

En ce qui concerne les matières fertilisantes issues du traitement des eaux, il est imposé en plus du code rural une homologation des produits.

La norme NFU 44-095 relative aux composts contenant des matières d'intérêt agronomique issues du traitement des eaux a été rendue obligatoire par l'arrêté ministériel du 18 mars 2004 (DREAL Centre, 2012). Cette norme a pour but de fixer des exigences de résultats (composition finale), de surveillance (traçabilité) et de marquage (composition et conseils d'utilisation), mais aussi de ne plus les considérer comme un déchet, mais un produit.

Les installations de compostage obéissent quant à elle à la loi sur l'eau du 3 janvier 1992 ou à la loi sur les installations classées au titre de la rubrique 2780.

Après curage, les boues (environ 540 T, soit 280 TMS, par lit) ainsi que les roseaux (environ 3 T¹² par lit) pourront alors être pris en charge par une plateforme de compostage. La prestation comprendra alors le transport et le traitement.

Une fois compostées, les boues pourront être utilisées en agriculture, amendement d'espaces verts (exemple : Voies des Tramways à Strasbourg), travaux d'espaces verts (sous conditions d'améliorer la composition du sol et de respecter les normes NFU 44-095 et NFU 44-051 relatifs aux amendements organiques), substrat sur des lits plantés de roseaux, etc.

¹² Estimation à partir de la surface du lit et du poids d'environ 5 500 g/m² (Serag, 1996).

Bien que cette solution soit pour l'instant envisagée, il faut garder à l'esprit que d'autres possibilités de devenir des boues sont possibles.

2.1.3.2 Choix annexe : La valorisation agricole

Le contexte législatif est régi par l'arrêté du 08 janvier 1998 fixant les prescriptions techniques applicables aux épandages de boues sur les sols agricoles pris en application du décret n° 97-1133 du 8 décembre 1997 relatif à l'épandage des boues issues du traitement des eaux usées (LEGIFRANCE, 2012). La Section 1 « Conception et gestion des épandages » décrit les différentes étapes en vu du choix de ce type de valorisation :

- L'étude préalable à l'épandage.
Elle prend en compte plusieurs critères tels que l'origine des boues, la quantité et les caractéristiques afin de vérifier si elles correspondent aux critères d'épandage. Mais aussi les contraintes liées au milieu naturel, aux activités humaines, zones sensibles et accessibilités des parcelles. L'analyse des sols et les moyens techniques mis en œuvre lors de l'épandage devront aussi y figurer. Au même titre qu'une cartographie du périmètre d'étude ainsi que des parcelles favorables à l'épandage.
- Le programme prévisionnel d'épandage (transmis au préfet au plus tard un mois avant la campagne d'épandage).
Il tient compte de la liste des parcelles concernées par l'épandage ainsi que des paramètres de sol. Egalement il reprend la caractérisation des boues, à savoir : quantité, rythme, valeur agronomique, etc. sans oublier les préconisations d'utilisation à savoir un calendrier prévisionnel et des doses d'épandage. La surveillance des boues et la connaissance des personnes physiques ou morales intervenant dans la réalisation de l'opération sont à prendre en compte.
- Le bilan (transmis au préfet au plus tard en même temps que le programme prévisionnel d'épandage de la campagne suivante).
Il concerne un bilan quantitatif et qualitatif des boues épandues ainsi que l'exploitation d'un registre d'épandage. Il doit également concerner la mise à jour éventuelle des données de l'étude initiale.

Grâce aux analyses que nous avons effectuées et à une étude des sols (SIAR, 2000), nous disposons de premiers éléments quant au potentiel des boues de la station d'Ingolsheim pour l'épandage.

En fonction des types de sols rencontrés dans la région, et sur les conseils de la Chambre d'Agriculture du Bas-Rhin, l'hypothèse de quantité de boues à épandre serait de 20 T/ ha. Ainsi nous obtenons les valeurs agronomiques suivantes (basées sur les analyses du 9 juillet 2012 sur la STEU d'Ingolsheim) :

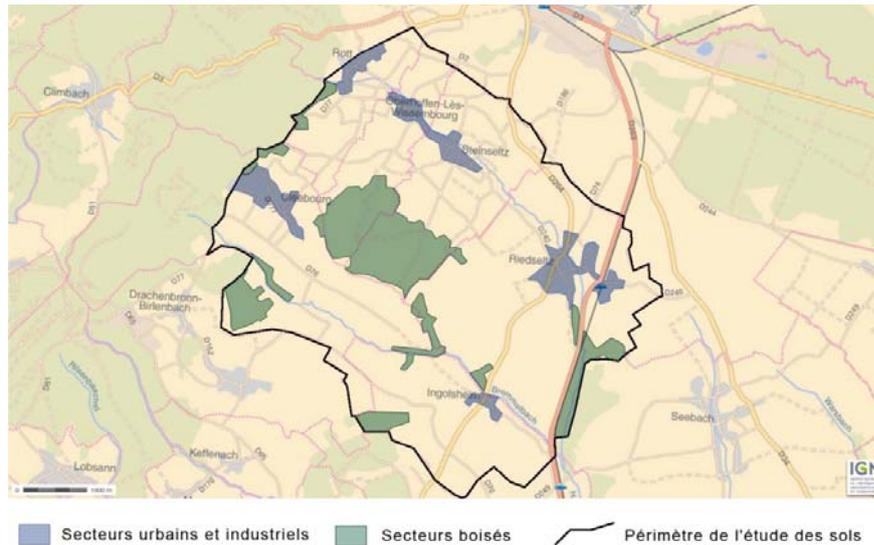
	<i>Unités par hectare</i>
Azote	13
Chaux (à partir du Calcium)	7
Acide phosphorique (à partir du Phosphore)	30
Magnésium	

Tableau 16 : Valeurs agronomiques du lit à l'arrêt de la STEU d'Ingolsheim

Ces boues possèdent donc à première vue des apports en azote et phosphore intéressants pour les besoins des sols. En revanche, la teneur en calcium ramenée en unité de chaux est faible, quant au magnésium, l'apport est nul.

Il faut également prêter attention au pH, en effet si celui-ci est compris entre 5 et 6, comme c'est le cas sur les boues du lit n°1 d'Ingolsheim (5,54), l'épandage sur un sol calcaire est préconisé ou le chaulage des boues. Des analyses complémentaires de potasse et ETM permettront de confirmer la faisabilité d'épandre ces boues, mais aussi d'affiner le dosage.

La carte ci-après reprend le périmètre d'épandage applicable à la STEU d'Ingolsheim (67).



Source fond de carte site internet <http://www.géoportail.fr>.

Figure 28 : Périmètre d'épandage possible (SIAR, 2000)

Les surfaces aptes divisées en plusieurs classes sont très suffisantes puisque 1 000 hectares sont favorables (la carte au 1/25 000^{ème} est jointe en [Annexe 7](#)) :

- Classe 1 : < 10 ha. Epandage possible sans contraintes.
- Classe 2 : 500 ha. Epandage possible après vérification de quelques contraintes à priori modérées (hydromorphie, profondeur, pente, etc.).
- Classe 3 : 500 ha. Epandage possible après vérification de quelques contraintes à priori fortes (hydromorphie, profondeur, pente, etc.).

La surface nécessaire estimée est de 162 hectares. En réalité la valeur obtenue est de 81 hectares (1 620 tonnes de boues dans les 3 lits à raison de 20 T/ha), cependant cette valeur est doublée par sécurité (parcelle indisponible, changement dans le plan d'épandage, etc.).

2.2 Analyse économique

2.2.1 La vidange du lit planté de roseaux

Afin d'évaluer les coûts de cette opération, l'analyse est décomposée en trois parties :

- Taille des roseaux et curage des boues,
- Traitement des boues et des roseaux par compostage,
- Fourniture et mise en place du substrat et des nouveaux roseaux.

Etude du traitement des boues par minéralisation sur lits plantés de roseaux
Méthodes comparées et vidange des lits

Tout d'abord, la partie aérienne des roseaux doit être coupée sur l'ensemble de la surface du lit, soit 520 m². Cette étape peut être exécutée par les employés communaux puisqu'il s'agit d'une simple taille des roseaux.

Par la suite, une entreprise de terrassement interviendra pour curer le lit, soit 280 TMS (environ 10 370 m³ de boues épandues à 2,7%), à l'aide de 2 pelles, une sur chenille et une sur pneus ou d'une mini pelle et d'un chargeur sur pneus. Dans cette prestation l'amenée et le repli du matériel sont comptés.

Les boues et les roseaux pourront alors être transportés et traités sur la plateforme de compostage de l'entreprise LINGENHELD à Oberschaeffolsheim à une soixantaine de kilomètres. Cette entreprise traite actuellement les boues de station d'épuration.

Directement après le curage l'entreprise de terrassement remettra en état le fond du lit à l'aide de nouveau substrat. De plus, la totalité de la surface du lit sera replantée.

Le tableau ci-dessous est un chiffrage estimatif de l'opération :

CURAGE DU LIT, TRAITEMENT DES BOUES ET DES ROSEAUX, REMISE EN ETAT DU LIT (durée 12 ans)				
	Unité	Quantité	Prix Unitaire	Montant € HT
Taille des roseaux et curage des boues				
Destruction de la partie aérienne des roseaux sur 520 m ² ¹³	H	16	30,00	480,00
Curage des boues pour un volume maximum de 450 m ³ (ce prix comprend l'amenée et le repli du matériel) ¹⁴	m ³	450	15,00	6 750,00
Sous total				7 230,00
Traitement des boues et des roseaux¹⁵				
Transport des boues vers la plateforme de compostage	T	540	10,00	5 400,00
Transport des roseaux vers la plateforme de compostage	T	3	35,00	105,00
Compostage des boues	T	540	65,00	35 100,00
Compostage des roseaux	T	3	45,00	135,00
Sous total				40 740,00
Fourniture et mise en place du substrat et des roseaux¹⁶				
Fourniture et mise en œuvre de substrat végétal (compost de qualité 0/10 mélangé avec 1 kg de chaux vive CaCO ₃ par m ³)	m ³	25	50,00	1 250,00
Fourniture et plantations de Phragmites G M2 Strain jeunes plants (3 conteneurs par m ² ; 1 conteneur = 2 à 3 plants)	U	1 560	3,00	4 680,00
Sous total				5 930,00
Total €HT				53 900,00
TVA 19,6 %				10 564,40
Total €TTC				64 464,40

Tableau 17 : Etude économique de vidange du lit n°1 (côté rivière) de la STEU d'Ingolsheim (67)

Ce prix pour le curage concerne seulement 1 lit, le prix de la vidange pour les 3 lits est donc de 193 393,20 € TTC. Au vu des observations de remplissage réelles, la fréquence de curage est estimée à 12 ans. Voici un ratio suivant plusieurs unités :

¹³ Soit 2 employés communaux pendant une journée (8 heures).

¹⁴ Prix : Prix au mètre cube issu d'une étude sur une affaire similaire chez EMCH+BERGER.

¹⁵ Prix : LINGENHELD Environnement.

¹⁶ Prix : Estimation à partir des prix d'entreprises récents disponibles chez EMCH+BERGER.

Unité	Prix € TTC sur 12 ans	Prix € TTC / an
Au mètre carré (dessus substrat)	123,97	10,33
A l'équivalent-habitant	55,26	4,61
A la tonne de MS	230,23	230,23
Au mètre cube de boues d'alimentation épandues (2,7 %)	6,22	6,22

Tableau 18: Comparaison du prix du curage dans différentes unités

La vidange est donc la partie de l'exploitation des lits plantés de roseaux pour le traitement des boues la plus importante et représente un coût à anticiper. En revanche c'est un événement exceptionnel puisqu'il intervient dans notre cas tous les 12 ans.

Il est également indispensable de prévoir le type de valorisation des boues que l'on souhaite mettre en place afin de prévoir les études et suivis nécessaires mais aussi de se préparer dès la conception de l'installation afin de faciliter l'accès aux engins le moment venu.

2.2.2 Comparaison avec une filière de déshydratation classique : Le filtre presse

Afin de mieux appréhender l'intérêt économique des lits plantés de roseaux, nous avons souhaité comparer cette solution avec une technique de déshydratation plus classique.

Pour notre estimatif, la base de 56,7 TMS/an est conservée, les prix sont quant à eux issus de données d'exploitation estimatives du SDEA sur la STEU de Wasselonne (67).

DESHYDRATATION PAR FILTRE PRESSE MOBILE ET COMPOSTAGE DES BOUES (durée 1 an)				
	Unité	Quantité	Prix Unitaire	Montant € HT
Déshydratation par filtre presse mobile				
Déshydratation mobile (base épaisseur 5%)	m ³	1 135	13,27	15 061,45
Main d'œuvre (visites, entretiens, lavages, etc.)	H	105	33,90	3 559,50
Polymères	kg	520	2,55	1 326,00
Réparation	U	830	1,00	830,00
Sous total				20 776,95
Traitement des boues				
Transport des boues vers la plateforme de compostage (Siccité en sortie 30%)	T	189	10,00	1 890,00
Compostage des boues	T	189	65,00	12 285,00
Sous total				14 175,00
Total € HT				34 951,95
TVA 19,6 %				6 850,58
Total € TTC				41 802,53

Tableau 19 : Etude économique de déshydratation par filtre presse mobile

Afin de comparer les prix entre les deux filières, voici les ratios annuels dans différentes unités :

<i>Unité</i>	<i>Curage des lits plantés de roseaux Prix € TTC</i>	<i>Déshydratation par filtre presse mobile Prix € TTC</i>
Prix annuel	16 116,10	41 802,53
A l'équivalent-habitant	4,61	11,94
A la tonne de MS	230,23	737,26
Au mètre cube de boues d'alimentation épaissies	6,22	36,83

Tableau 20 : Comparatif économique des deux filières de traitement

On peut donc conclure sur cette analyse économique, en plus d'un aperçu des couts du futur curage des lits de la STEU d'Ingolsheim (67), que cette opération représente un cout certes ponctuel mais relativement important.

En revanche, la mise en parallèle avec une filière de déshydratation classique, type filtre presse mobile permet de relativiser de l'importance du prix du curage.

En effet, une comparaison annuelle des deux filières de traitement des boues dans différentes unités démontre une fois de plus l'avantage de l'utilisation de cette filière rustique.

Les couts de compostages restent cependant très importants (76% du cout total pour les boues issues d'un traitement sur lits plantés). Au regard de la qualité de boues issue de la filière de traitement, une utilisation directe après un éventuel tamisage parait tout à fait adaptée. Cette solution devrait permettre de réduire les couts de façon significative. Il conviendrait par la suite d'analyser plus en détails une telle solution.

CONCLUSION

Jusqu'à présent, des disparités et des dysfonctionnements ont été observés sur les lits plantés de roseaux pour le traitement des boues. En effet, l'apparente simplicité de ce procédé extensif cache une multitude de processus influencés par de nombreux facteurs (conception, alimentation, etc.). En particulier, deux méthodes de dimensionnement sont représentées : la méthode « Allemande » (utilisée par le bureau d'études EMCH+BERGER) et la méthode « Française » (développée par l'IRSTEA).

Le souhait de l'entreprise de faire évoluer ses connaissances sur le sujet et de connaître les performances de différentes stations nous a amenés à répondre à plusieurs objectifs :

- Réaliser une comparaison et un suivi des installations afin de déterminer l'influence des préconisations utilisées pour la conception et l'exploitation.
- Effectuer une étude technico-économique de vidange des lits afin d'apporter des solutions possibles au devenir des boues.

Ce travail de fin d'études s'inscrit donc dans une démarche de recherche souhaitée par l'entreprise. Ainsi un retour d'expérience comme celui-ci est utile pour les futurs projets de la société.

La contribution de ce mémoire en termes de connaissances se résume en plusieurs points majeurs :

- Les recherches bibliographiques ont mis en avant les caractéristiques de dimensionnement et les plans d'alimentation de chaque méthode.
Outre les charges de dimensionnement et le nombre de lits, l'origine des boues, la structure et du massif filtrant et en particulier le plan d'alimentation des lits confèrent aux méthodes deux installations bien distinctes.
En revanche le principe même de la minéralisation sur lits plantés de roseaux ne varie pas.
- L'étude des stations d'Ingolsheim (67), Ferrette (68) et Andancette (26) a permis de mettre en évidence des répercussions des méthodes utilisées sur la qualité des boues dans les lits au repos.

La différence entre l'origine des boues d'alimentation, silo ou bassin d'aération, engendre côté germanique, une boue plus concentrée mais aussi plus minérale. Cette diminution de la part organique traduit un début du phénomène de minéralisation dans l'ouvrage d'épaississement.

Dans le cas des boues déshydratées, il apparaît que les boues issues des installations « Allemandes » présentent une siccité nettement supérieure à celles issues des préconisations de l'IRSTEA. En effet, la mise au repos alternée des lits et des boues épandues plus concentrées tendent à montrer une influence positive sur la qualité des boues déshydratées. Néanmoins, il faut rester prudent quant à la station d'Andancette. En effet, la réalité du terrain démontre que le plan d'alimentation contraignant de l'IRSTEA (diminution des charges les premières années et nécessité de mettre en place un traitement annexe des boues en excès) n'est jamais respecté et donc les performances mesurées sur le site lyonnais rarement atteintes.

Par ailleurs, l'âge des boues et la qualité de l'effluent en entrée de station, indépendamment des méthodes, semblent influencer sur le taux de minéralisation.

Nos analyses menées dans le cadre de ce travail de fin d'études nous montrent également que ces boues présentent des apports potentiels en azote, phosphore et magnésium pouvant répondre aux besoins des sols lorsqu'elles seront extraites.

En parallèle, les prélèvements de percolats ont mis en évidence l'influence du massif filtrant. En particulier, ceux de la station d'Andancette sont beaucoup moins chargés ce qui est confirmé par l'étude des volumes mis en jeu en fonction de la pluviométrie mais surtout de la sécheresse des boues d'alimentation (en moyenne 0,3%). Il est à noter qu'aucune perturbation du traitement des eaux usées n'a été signalée sur l'ensemble des sites étudiés, relativisant alors la répercussion des charges contenues dans les percolats.

- Une étude technico-économique de vidange des lits appliquée à un cas pratique permet de compléter cette étude quant aux devenir de ces boues.

Il en ressort qu'il faut tenir compte de cette étape dès la phase de conception de l'installation afin de faciliter l'accès aux engins le moment venu.

Le choix du type de valorisation des boues peut impliquer la mise en place d'un suivi des boues mais aussi d'études complémentaires qu'il faut prévoir. Egalement en cas de valorisation agricole des boues des lits plantés, les coûts relatifs au compostage peuvent être évités.

Bien que généralement décennale, cette opération représente un coût à anticiper. Cependant, la mise en parallèle avec une filière de traitement plus classique démontre un fois de plus l'avantage de l'utilisation d'une telle filière.

Si les recherches bibliographiques et nos analyses ont été nécessaires pour comprendre les différents phénomènes relatifs aux méthodes utilisées, elles peuvent être complétées afin d'approfondir cette étude :

- La multiplication des analyses dans le temps permettra un meilleur suivi des performances de chaque station.
- L'étude de sites dimensionnés suivant la méthode de l'IRSTEA permettrait d'obtenir des valeurs plus proches de la réalité.
- Un suivi du débit des percolats renvoyés en tête de station apporterait des réponses précises en termes de volumes et de charges et non en termes de concentrations sur l'influence du massif filtrant.
- Le cas échéant et une fois les débits de percolats connus, la question de l'amélioration de la structure du massif filtrant côté Allemand pourrait se poser.

En apportant un intérêt à la comparaison de deux méthodes de conception et de gestion pour un même type de traitement des boues, ainsi que de l'étude technico-économique de vidange des lits, ce mémoire de fin d'études représente un avantage intellectuel pour le bureau d'études EMCH+BERGER et offre également la possibilité de poursuivre ce travail afin d'en affiner les conclusions.

GLOSSAIRE

AEROBIE : Se dit d'un organisme qui utilise l'oxygène dissous dans l'air ou l'eau pour son métabolisme. On l'emploie aussi pour caractériser un milieu riche en oxygène dissous.

AGREGATS : Assemblage de particules.

AZOTE AMMONIACAL (NH₄) : Il est issu de la combinaison de l'azote (N) et de l'hydrogène (H), plus connu sous sa forme ionique l'ion ammonium (NH₄⁺), suivant sa quantité il est représentatif d'une pollution des eaux.

AZOTE KJELDAHL (NTK) : Cette valeur comprend l'azote sous forme organique et ammoniacale.

BACHEES : Volume d'eau/de boues envoyé sur un filtre à chaque phase d'alimentation. Cette méthode est indispensable à la bonne distribution de l'eau sur le filtre et donc à la participation de la totalité du massif dans le processus épuratoire.

BOUES EPURATION : Les boues d'épuration (urbaines ou industrielles) sont les principaux déchets produits par une STEU à partir des effluents liquides. Ces sédiments résiduels sont surtout constitués de bactéries mortes et de matière organique minéralisée.

CHARGE POLLUANTE : Quantité de pollution transitant pendant un temps défini, généralement un jour, dans le réseau.

COLMATAGE : Obturation totale ou partielle des entrées d'eau d'un élément du système drainant ou de l'intérieur de celui-ci, entraînant un dysfonctionnement du système.

COMPOSTAGE : Procédé biologique de conversion et de valorisation de la MO.

CRITERES/VALEURS AGRONOMIQUES : Permettent de couvrir une partie des besoins des cultures en azote, phosphore, magnésium et calcium. Ils peuvent également corriger des carences du sol ou aider à la stabilisation du pH.

CURAGE : Intervention consistant à enlever les boues d'un filtre planté. Le terme « vidange » s'utilise également pour décrire la même opération.

DEMANDE BIOLOGIQUE EN OXYGENE (DBO) : Elle correspond à la quantité d'oxygène consommé pendant un temps donné pour assurer l'oxydation des matières organiques biodégradables (bactéries et micro-organismes) par voie biologique.

DEMANDE CHIMIQUE EN OXYGENE (DCO) : Elle correspond à la consommation en dioxygène pour oxyder les substances organiques et minérales de l'eau.

DESHYDRATATION : Elimination partielle ou totale de l'eau d'un solide.

DRAINAGE : Evacuation artificielle de l'eau de façon gravitaire.

EAUX USEES : Les eaux usées sont des eaux impropres ou polluées, qui doivent bénéficier d'un assainissement ou d'une dépollution avant de pouvoir être rejetées dans la nature ou d'être consommées par l'homme. On recense trois types d'eaux usées : domestiques, industrielles et pluviales.

ELEMENTS TRACES METALLIQUES (ETM) : Ceux sont des métaux naturellement présents dans le sol.

EPANDAGE : Technique agricole consistant à épandre un produit sur une surface cultivée.

EQUIVALENT HABITANT (EH) : *Décret du 10 décembre 1991 et CGCT Article R 2224-6.* C'est l'unité de mesure de pollution correspondant à une pollution moyenne rejetée par habitant et par jour, soit 60 grammes par jour et par habitant pour la DBO₅. Ces valeurs sont utilisées dans les calculs de dimensionnement à défaut de valeurs mesurées réelles.

EVAPOTRANSPIRATION : L'évapotranspiration correspond à la quantité d'eau totale transférée du sol vers l'atmosphère par l'évaporation au niveau du sol et par la transpiration des plantes.

FAUCARDAGE : Coupe de la végétation aquatique. Les roseaux d'un filtre de traitement des eaux usées sont faucardés annuellement, a contrario, pour les filtres de traitement des boues, ils ne sont pas faucardés sauf avant curage.

FOISONNEMENT : C'est une mauvaise décantation de la boue suite à une augmentation du volume occupée par celle-ci. Le phénomène, tout comme le moussage, est lié au développement de bactéries filamenteuses.

GEOMEMBRANE : Membrane imperméable d'étanchéité artificielle.

MATIERES EN SUSPENSION (MES) : Si la teneur en MS est facile à déterminer sur des phases concentrées, il n'en va pas de même sur les phases clarifiées (percolats, surverses, etc.) car les concentrations en matières sont beaucoup trop faibles. Dans ce cas, la procédure de mesure des MES par filtration sur géomembrane est plus appropriée.

MATIERES ORGANIQUE (MO) : La matière organique est la part de la matière formée des êtres vivants végétaux, animaux, ou micro-organismes, formant ensemble la biomasse, ou la matière résultant de leur décomposition

MATIERES SECHES (MS) : C'est le paramètre généralement mesuré. Cette concentration permet de connaître la quantité de boue à traiter, quelque soit son niveau de concentration dans la filière de traitement. La détermination de la teneur en MS s'effectue à l'étuve à 105°C.

MATIERES DE VIDANGE (MV) : Elles sont constituées des matières extraites des filières d'assainissement autonome lors des opérations d'entretien (fosses septiques, fosses toutes eaux, bacs à graisses et fosses étanches).

MATIERES VOLATILES EN SUSPENSION (MVS) : Les MVS représentent la fraction organique des MES. Ce paramètre livre une précieuse indication sur le degré de stabilisation de la boue et son aptitude à la déshydratation notamment. On considère que la fraction organique des boues résiduares urbaines est supérieure à 70%.

METHODE DE KJELDHAL : Méthode de dosage de l'azote applicable à plusieurs formes azotées. Dans le cas de l'azote organique, une minéralisation doit d'abord être faite.

MINERALISATION : Décomposition de la fraction de la matière organique en fraction minérale.

MOUSSAGE : Formation d'une épaisse couche de mousse au-dessus des ouvrages d'assainissement.

NITRATES (NO₃⁻) : Les nitrates sont un indice de pollution de type urbaine, agricole ou industrielle que l'on retrouve dans les eaux à traiter.

PERCOLATION : Aussi appelée infiltration dans notre cas, ce procédé d'épuration est basé sur la traversée d'un massif filtrant constitué de couches de granulométries variables.

PLANTULE : Jeune plante sporophyte ne comportant que quelques feuilles. Issue de l'embryon d'une graine, son développement commence avec la germination de la graine.

PHOSPHORE TOTAL (Pt) : C'est la somme du phosphore inorganique et organique. Il est notamment responsable de l'eutrophisation de l'eau.

PHOTOSYNTHESE : Mécanismes de transformation en sucre du dioxyde de carbone (CO₂) et des sels minéraux des végétaux grâce à l'énergie solaire.

PHYTO-EPURATION : Système naturel utilisant les propriétés épuratrices des plantes aquatiques. Les bactéries mises en jeu transforment alors la MO en matière minérale.

POTENTIEL HYDROGENE (PH) : Il permet de mesurer l'activité chimique des ions hydrogènes (H^+). Plus couramment il permet de mesurer l'acidité ou la basicité d'un milieu.

POTENTIEL OXYDO-REDUCTION : Grandeur empirique exprimée en volt, elle permet d'indiquer le degré auquel une substance peut oxyder ou réduire une autre substance.

RHIZOME : C'est la tige souterraine vivace de certaines plantes à racines aquatiques agissant comme support de la structure de la plante, d'oxygénation des racines, de réserve nutritive, de multiplication asexuée.

ROSEAU : Ce sont des plantes des sols humides d'assez grande taille, à tige creuse et rigide, plus ou moins ligneuse. Il s'agit d'un terme ambigu qui en général, en français, peut désigner des graminées, appartenant particulièrement aux genres *Arundo* ou *Phragmites*.

SEPTICITE : Présence de germes, boues et sulfure d'hydrogène (H_2S) dans les eaux usées liée à une activité bactériologique anaérobie. Elles dégradent la MO et favorise la création de gaz toxique.

SICCITE DES BOUES : La siccité est le pourcentage massique de matière sèche. Plus la siccité est faible, plus les boues sont liquides.

STABILISATION DES BOUES : Permet de ralentir voire d'empêcher la fermentation, mais aussi de réduire les nuisances olfactives.

STATION DE TRAITEMENT DES EAUX USEES (STEU) : La station de traitement des eaux usées rassemble une succession de dispositifs, empruntés tour à tour par les eaux usées. Chaque dispositif est conçu pour extraire au fur et à mesure les différents polluants contenus dans les eaux.

BIBLIOGRAPHIE

ADEME. **Boues stations d'épuration biologique et chimiques (STEP)**. [En ligne]. [Consulté le 09/03/2012]. <<http://www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?catid=14633>>

ALBRECHT Rémy. **Co-compostage de boues de station d'épuration et de déchets verts : Nouvelle méthodologie du suivi de transformation de la matière organique**. Thèse de doctorat, Université Paul Cézanne Aix-Marseille III, 2007. 189 p.

AQUARAMA. **Champs de roseaux à minéralisation des boues**. N°43, p. 52-53. 2p.

ATOUBOUES. **Le lit de séchage planté de roseaux : une alternative intéressante pour une gestion locale des boues**. ACONSULT, 1999 [en ligne]. [Consulté le 13/03/2012]. <<http://atout.boues.pagesperso-orange.fr/rapportlitaroseaux.htm>>

BARJENBRUCH M., KOPFLOW O. et MULLER R. **Klärschlammvererdung als Beitrag der Schlammentsorgung im ländlichen Raum**. Institut für Kulturtechnik und Siedlungswasserwirtschaft, Universität Rostock, 2002. 10 p.

BISCHOF F. et al. **Klärschlammbehandlung in Pflanzenbeeten**. ATV-DVWK Fachausschusses, KA Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall, 2001, n°7, p. 991-996.

CEMAGREF. **Déshydratation des boues par lits de séchage plantés de roseaux**. Les fiches, 2002. 2 p.

CEMAGREF et ONEMA. **Lits de séchage plantés de roseaux pour le traitement des boues et des matières de vidange**. Résumé des interventions, POLLUTEC, 2010. 5 p.

CONSEIL GENERAL DE LA SEINE ET MARNE. **Le traitement des boues**. Le site de l'eau en Seine et Marne [En ligne]. [Consulté le 09/03/2012]. <<http://eau.seine-et-marne.fr/export/print/traitement-des-boues?>>

CONSEIL GENERAL DU BAS-RHIN. **Traitement des boues d'épuration sur lits plantés de roseaux. Dispositif de suivi de 3 installations dans le Bas-Rhin**. Bilan 2008, programme 2009. 24 p.

DERONZIER G. et CHOUBERT J-M. **Traitement du phosphore dans les petites stations à boues activées**. Document technique FNDAE n°29, CEMAGREF, 2004. 49 p.

DERONZIER G. SCHETRITE S., RACAULT Y., GANLER J-P., LIENARD A., HEDUIT A. et DUCHENE P. **Traitement de l'azote dans les stations d'épuration biologique des petites collectivités**. Document technique FNDAE n°25, CEMAGREF, 2001. 79 p.

DREAL Centre. **Evolutions réglementaires récentes**. [En ligne]. [Consulté le 31/07/2012]. <<http://www.centre.developpement-durable.gouv.fr/les-sites-de-compostage-en-region-a598.html>>

DRESCHER Dietrich. **Stand der Technik – Stand der Forschung bei bewachsenen Bodenfiltern**. ENTSORGUNGS VERBAND SAAR, 2003. Chapitre 3.2.2 : Aufbau und Funktion einer KSVE, 2 p.

DUCHENE Philippe. **Estimation de la production de boues**. CEMAGREF, 99/068, 1999. 10 p.

EKO-PLANT. **Klärschlammvererdung in Schilfbeeten**. Plaquette, 2012. 4 p.

EMCH + BERGER. Site internet. [Consulté le 15/03/2012]. <http://www.emchetberger.fr/ueber_emch/meilensteine/>

EMCH + BERGER. **Mémoire explicatif – Note de dimensionnement**. Syndicat intercommunal d'Auxon – Chatillon le Duc, station d'épuration de BONNAY. Minéralisation des boues, 2010. 24p.

GODECKE D. **Natürliche Verfahren der Schlammwässerung – Konventionelle und neue Verfahren**. Ingenieurbüro Gödecke, 2004, 12 pages, [en ligne]; [Consulté le 16/04/2012]. <<http://www.schlammvererdung.de>>

HRUSCHKA H., GSCHLÖSSL T. et SIEWERT H. **Die Vererdung von kommunalem Klärschlamm in Schilfbeeten**. GWF Wasser-Abwasser, 1999, n°11, p. 769-773.

HYDRANET. **Concentration des boues (épaississement)**. Traitement des eaux usées, 2012. 1 p.

KUHLENDahl R. et BREITHAUPT K. **Klärschlammvererdung auf NODERNEY**. WWT, 2011, p. 8-12.

LEGIFRANCE. **Arrêté du 8 janvier 1998 fixant les prescriptions techniques applicables aux épandages de boues sur les sols agricoles pris en application du décret n° 97-1133 du 8 décembre 1997 relatif à l'épandage des boues issues du traitement des eaux usées**. [En ligne]. [Consulté le 31/07/2012]. <http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do;jsessionid=EC5D5C4ECC4CEB357F8C0359248E7484.tpdjo14v_3?cidTexte=LEGITEXT000005625143&dateTexte=20120731>

LIENARD Alain. **Déshydratation des boues par lits plantés de séchage plantés de roseaux**. Ingénieries-EAT, 1999, n° 17, p. 33-45.

LIENARD A., DUCHENE P. et GORINI D. **A study of activated sludge dewatering in experimental reed-planted or unplanted sludge drying beds.** 4th IAWG conference wetlands systems for water pollution control, 1994. 10 p.

LIENARD A., TROESCH S., MOLLE P. et ESSER D. **Traitement des boues par lits plantés de roseaux : rappels des points clefs de cette technique.** Ingénieries-EAT, 2008, n° spécial, p. 41-49.

METEO FRANCE. **Relevés pluviométriques.** [En ligne]. [Consulté le 18/07/2012]. <http://climat.meteofrance.com/chgt_climat2/climat_france?76100.path=climat%252FFRANC E>

NIELSEN Steen. **Sludge treatment and drying reed bed systems.** The 8th European biosolid and organic residual conference and exhibition, 2003. 21 p.

NIELSEN Steen. **Sludge treatment in reed bed systems and recycling of sludge and environmental impact.** 2007. 13 p.

ONEMA et CEMAGREF. **Protocole de prélèvement pour l'échantillonnage des boues dans les lits de séchages plantés de roseaux.** Groupe de travail EPNAC, Rapport final, 2011. 28 p.

OTV. **Traiter et valoriser les boues.** Collection OTV, Ouvrage collectif n°2, 1997. 457 pages. ISBN 2-9511059-0-8.

PAULUS André. **Le filtre planté de roseaux. Le versant vert de l'épuration des eaux usées.** Rouergue, 2011. Chapitre : Le traitement des boues, p. 181-208. ISBN 978-2-8126-0219-1.

PAULY Brigitte. **Das Schilf – Herzstück ökotechnischer Anlagen.** EKO-PLANT, 2012. 4 p.

REINHOFER M. et BERGHOLD H. **Klärschlammvererdung. Abschlussbericht zur Klärschlammvererdung mit Schilf in der Steiermark.** Das Land Steiermark, 2004. 55 p.

SADOWSKI Antoine. **Traitement des eaux résiduaires urbaines, Formation d'ingénieurs sous statut étudiant, Traitement biologique par cultures fixées (Procédés extensifs).** Tome III, 2012. Chapitre : Le lit de séchage, p. 70-79.

SATIN M. et BELCHIR S. **Guide technique de l'assainissement.** Groupe MONITEUR, 2006. Chapitre 25.3.4 : Déshydratation des boues, p 464-471. ISBN 978-2-281-11239-9.

SERAG S. M. **Ecology and biomass of *Phragmites Australis* Trin. Ex. Steud. In the north eastern region of the Nile Delta, Egypt.** Department of Botany, Faculty of Science, Egypt. 1996. [en ligne]. [Consulté le 28/07/2012]. <http://www.ecoscience.ulaval.ca/fr/paper/ecology-and-biomass-of-phragmites-australis-cav-trin-ex-steud-in-the-north-eastern-region-of-the-nile-delta-egypt>

SIAR (Syndicat Intercommunal d'Assainissement de la région de Riedseltz). **Etude des sols préalable à la valorisation agricole des boues de la station d'épuration.** Rapport définitif, 2000. 45p.

THIRION François. **Curage et épandage des boues issues de lits plantés de roseaux.** Rapport final, CEMAGREF, 2007. 26 p.

TROESCH Stéphane. **Traitement et valorisation des boues et des matières de vidange par lits de séchage plantés de roseaux.** Thèse de doctorat, Université de Savoie, 2009. 303 p.

TROESCH S., LIENARD A., MOLLE P ; et al. **Valorisation des boues traitées en lits plantés de roseaux : premiers retours d'expérience des curages-épandages sur quelques stations françaises.** Ingénieries-EAT, 2008, n° spécial, p. 51-64.

TROESCH S., LIENARD A., MOLLE P., MERLIN G. et ESSER D. **Sludge drying reed beds : a full pilote-scales study for activated sludge treatment.** Water science and technology, 2009, n°60. 11 p.

VINCENT Julie. **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.** Thèse de doctorat, Université de Montpellier II, 2011. 236 p.

VINCENT J., MOLLE P., WISNIEWSKI C. et LIENARD A. **Sludge drying reed beds for septage treatment : Towards design and operation recommendations.** Bioresource Technology, 2011, n°102. 4 p.

ANNEXES

ANNEXE 1 : Organigramme de l'entreprise EMCH+BERGER Strasbourg

ANNEXE 2 : Filière de traitement des boues : Méthode Allemande

ANNEXE 3 : Filière de traitement des boues : Méthode IRSTEA

ANNEXE 4 : Fiches des prélèvements

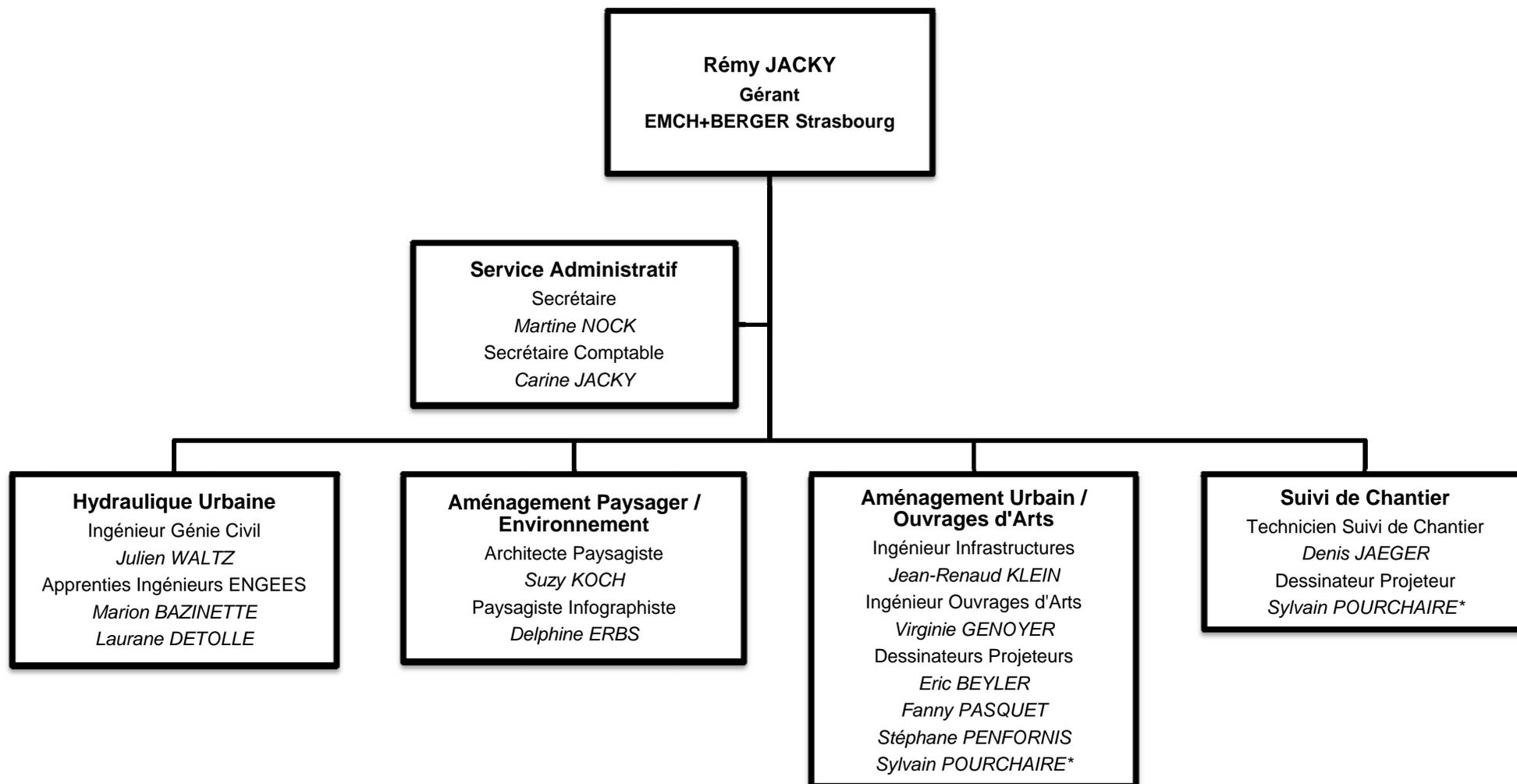
ANNEXE 5 : Fiches récapitulatives des données

ANNEXE 6 : Effluents en entrée de station d'Ingolsheim et de Ferrette

ANNEXE 7 : Carte au 1/25 000^{ème} de l'aptitude des sols à valoriser l'épandage des boues dans le périmètre du SIA de la Région de Riedseltz

**ANNEXE 1 : Organigramme de
l'entreprise EMCH+BERGER
Strasbourg**

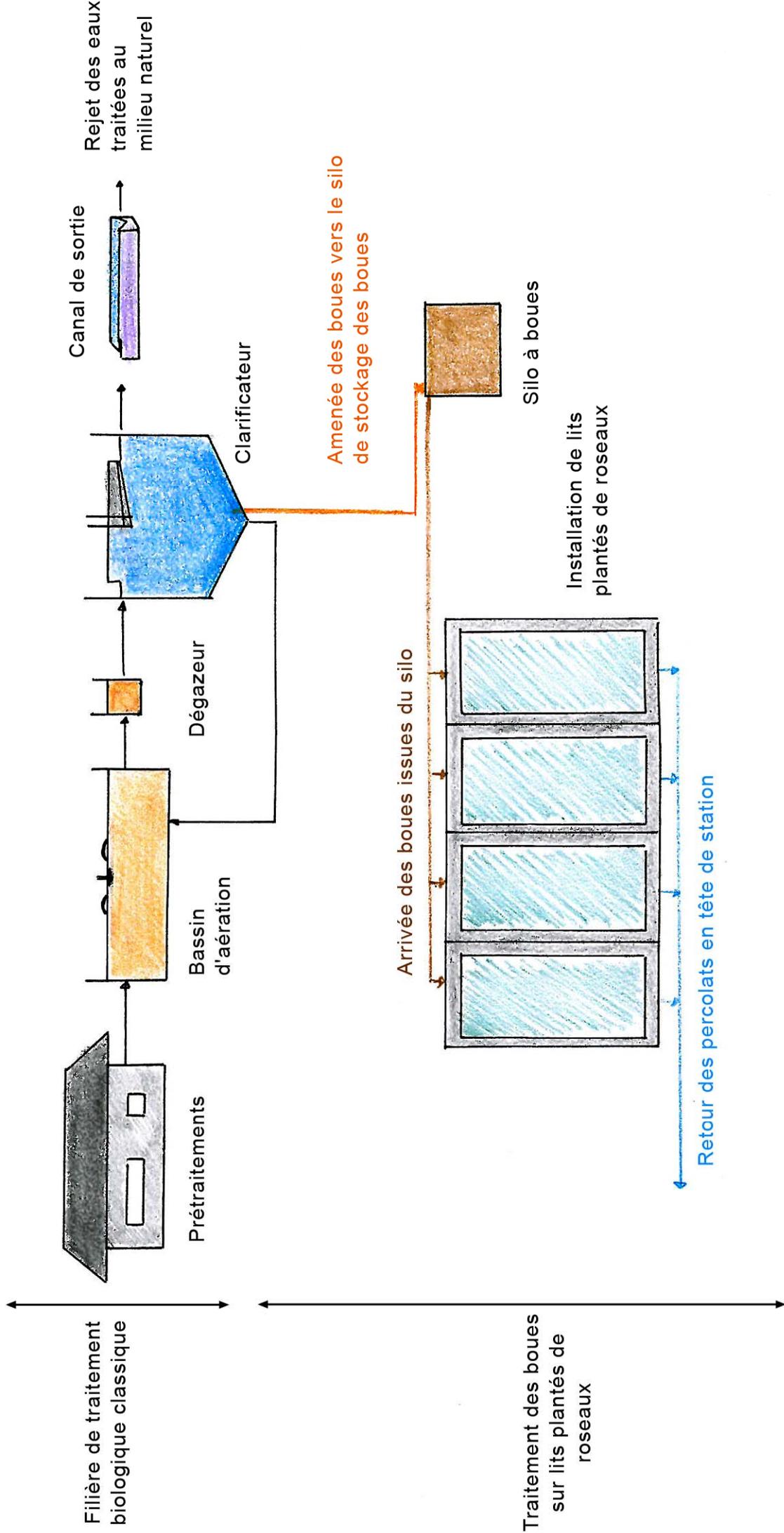
Source organigramme personnel



Sylvain POURCHAIRE : Dessinateur Projeteur pour le service Aménagement Urbain / Ouvrages d'Arts, responsable également du Suivi de Chantier.*

ANNEXE 2 : Filière de
traitement des boues : Méthode
Allemande

Source dessin personnel



FILIERE DE TRAITEMENT DES BOUES : **MÉTHODE ALLEMANDE**

Emch+Berger

EMCH + BERGER

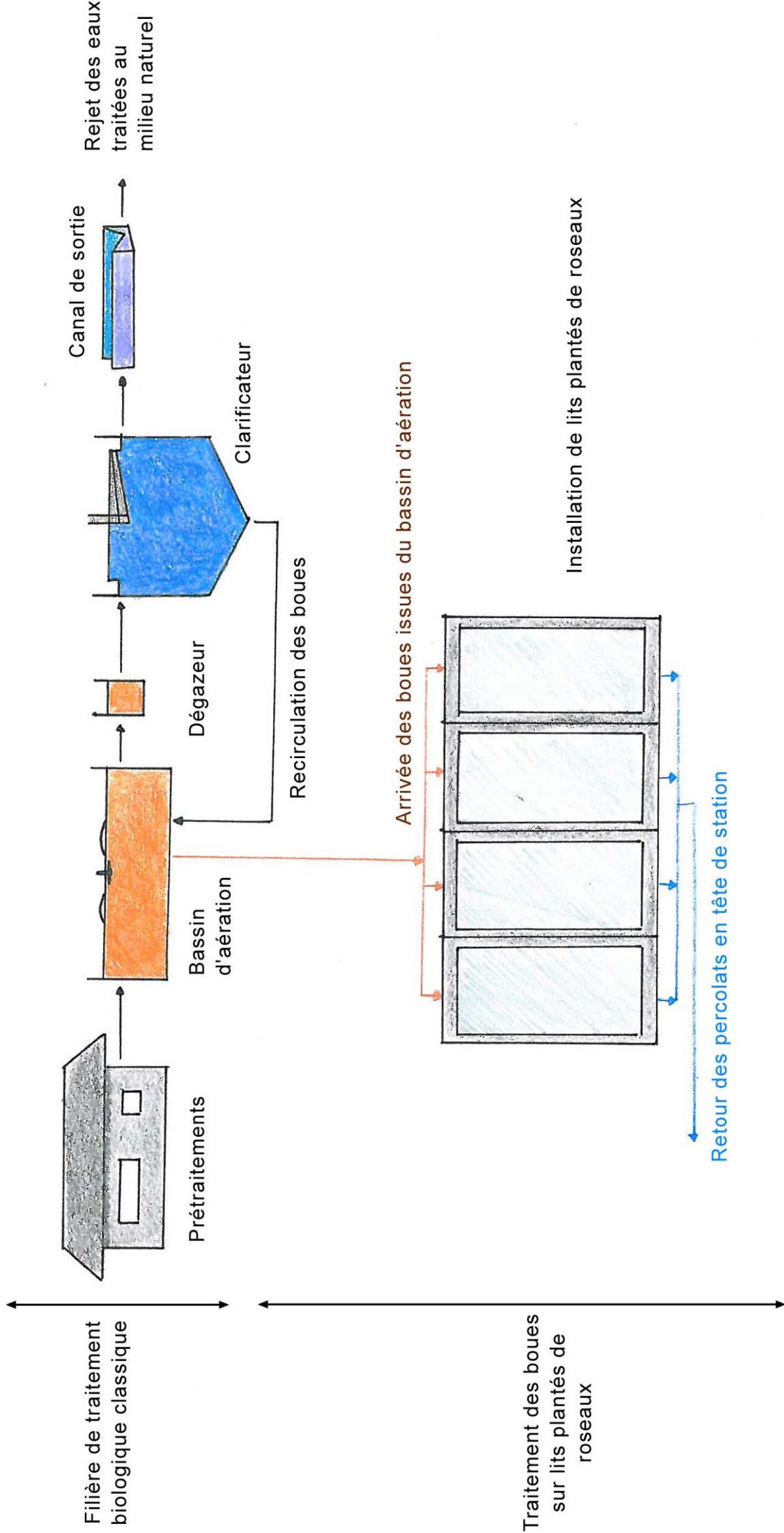
29 Route de la Wantzenau - 67800 HOENHEIM
 Tél. : 03.88.18.68.80 - Fax. : 03.88.18.68.89

N:\USER\marion\DOCS TFE\doc del\methode_german.pdf

Source dessin personnel

ANNEXE 3 : Filière de
traitement des boues : Méthode
IRSTEA

Source dessin personnel



FILIÈRE DE TRAITEMENT DES BOUES : MÉTHODE IRSTEA

Emch+ Berger
 29 Route de la Wantzenau - 67800 HOENHEIM
 Tél. : 03.88.18.68.80 - Fax. : 03.88.18.68.89

N:\USER\Marion\DOCS TFE\doc del\methode cemagref

**ANNEXE 4 : Fiches des
prélèvements**

Source fiche personnelle

FICHE DE PRELEVEMENT

LES PRELEVEMENTS	
Date : 19/06/2012	Nombres d'échantillons / Quantités <i>Silo : 1 – 1 l</i> N°120223
Volume de boues épandu dans le lit (m ³) : Environ 4 980 m ³	<i>Boues des lits : 1 – 1 kg</i> N°120225 <i>Filtrats : 1 – 1,500 l</i> N°120224
Matériel utilisé : <i>Gants</i> <i>Canne de prélèvement</i> <i>Pelle (8 prélèvements)</i> <i>Flaconnage et glacière</i>	Difficultés rencontrées (climat, accès, etc.) : <i>Silo très profond, difficulté à prélever même avec la canne de prélèvement</i>
Commentaires sur les échantillons (aspect, couleur, strate, etc.) <i>Silo : Visqueuse, marron clair, odeur très forte</i> <i>Boues des lits : Légèrement pâteuse, marron foncé</i> <i>Filtrats : Jaunâtre, quelques particules en suspension</i>	

DONNEES GENERALES	
Commune : <i>INGOLSHEIM</i>	Conception (type de casier, charge, roseaux, etc.) : <i>Déblais-remblais</i> <i>Sur le lit 2, zone sans roseaux au centre</i>
Date de mise en service : <i>2004</i>	
Maitre d'ouvrage : <i>SIAR DE RIEDELSELTZ (67)</i>	
Type de réseau : <i>75% Unitaire et 25 % Séparatif</i>	Type de traitement des eaux usées : <i>Boues activées</i>
Type d'effluents : <i>Domestiques (3 400 EH) et Activités (100 EH)</i>	Capacité (EH) : <i>3 500</i>
Production de boues annuelles (TMS/an) : <i>2009 = 52,5</i> <i>2010 = 52,2</i> <i>2011 = 45,5</i>	Nombres de lits : <i>3</i> Surface (m ²) : <i>1590 m² dessus substrat</i>

FONCTIONNEMENT	
Charge surfacique annuelle (kg MS/m ² /an) : <i>Moyenne sur le lit 1 : 41</i>	Date d'arrêt du lit : <i>Lit n°1 (côté rivière) à l'arrêt depuis 31/12/2011</i>
Remarques sur la vidange / curage (date, épandage, etc.) : <i>Lit 1 presque plein</i>	

FICHE DE PRELEVEMENT

LES PRELEVEMENTS	
Date : 09/07/2012	Nombres d'échantillons / Quantités <i>Silo : 1 – 1 / N°120271</i>
Volume de boues épandu dans le lit (m ³) : Environ 4 980 m ³	<i>Boues des lits : 1 – 1 kg / N°120272</i>
	<i>Filtrats : 1 – 1 / N°120273</i>
Matériel utilisé : <i>Gants</i> <i>Canne de prélèvement</i> <i>Pelle (8 prélèvements)</i> <i>Flaconnage et glacière</i>	Difficultés rencontrées (climat, accès, etc.) : <i>Silo profond, difficulté à prélever même avec la canne de prélèvement</i>
Commentaires sur les échantillons (aspect, couleur, strate, etc.) <i>Silo : Croute marron foncée sur le dessus (≈ 6/7 cm), marron clair plus liquide dessous, odeur très forte</i> <i>Boues des lits : Sèches, couleur noire</i> <i>Filtrats : Jaunâtre, particules en suspension visibles</i>	

DONNEES GENERALES	
Commune : <i>INGOLSHEIM</i>	Conception (type de casier, charge, roseaux, etc.) : <i>Déblais-remblais</i> <i>Sur le lit 2, zone sans roseaux au centre</i>
Date de mise en service : <i>2004</i>	
Maitre d'ouvrage : <i>SIAR DE RIEDELSTZ (67)</i>	
Type de réseau : <i>75% Unitaire et 25 % Séparatif</i>	Type de traitement des eaux usées : <i>Boues activées</i>
Type d'effluents : <i>Domestiques (3 400 EH) et Activités (100 EH)</i>	Capacité (EH) : <i>3 500</i>
Production de boues annuelles (TMS/an) : <i>2009 = 52,5</i> <i>2010 = 52,2</i> <i>2011 = 45,5</i>	Nombres de lits : <i>3</i> Surface (m ²) : <i>1590 m² dessus substrat</i>

FONCTIONNEMENT	
Charge surfacique annuelle (kg MS/m ² /an) : <i>Moyenne sur le lit 1 : 41</i>	Date d'arrêt du lit : <i>Lit n°1 (côté rivière) à l'arrêt depuis 31/12/2011</i>
Remarques sur la vidange / curage (date, épandage, etc.) : <i>Lit 1 presque plein</i>	

FICHE DE PRELEVEMENT

LES PRELEVEMENTS	
Date : 06/06/2012	Nombres d'échantillons / Quantités <i>Silo : 1 – 800 ml</i> N°120192
Volume de boues épandu dans le lit (m ³) : 1 260 m ³	<i>Boues des lits : 1 – 1 kg</i> N°120194
	<i>Filtrats : 1 – 500 ml</i> N°120193
Matériel utilisé : <i>Gants</i> <i>Canne de prélèvement</i> <i>Pelle (4 prélèvements)</i> <i>Flaconnage et glacière</i>	Difficultés rencontrées (climat, accès, etc.) : <i>Silo non homogénéisé</i> <i>Faible quantité de percolats</i>
Commentaires sur les échantillons (aspect, couleur, strate, etc.) <i>Silo : Non homogénéisé, couleur marron clair, très liquide</i> <i>Boues des lits : Très sèche et dure, couleur noire</i> <i>Filtrats : Faible quantité, transparent, quelques particules en suspension</i>	

DONNEES GENERALES	
Commune : <i>FERRETTE</i>	Conception (type de casier, charge, roseaux, etc.) : <i>Déblais-remblais</i>
Date de mise en service : <i>2008</i>	
Maitre d'ouvrage : <i>SIVOM DE FERRETTE VIEUX FERRETTE (68)</i>	
Type de réseau : <i>75% unitaire et 25% séparatif</i>	Type de traitement des eaux usées : <i>Boues activées en aération prolongée</i>
Type d'effluents : <i>Domestiques</i>	Capacité (EH) : <i>2350</i>
Production de boues annuelles (TMS/an) : <i>2009 = 24,9</i> <i>2010 = 30,6</i> <i>2011 = 27</i>	Nombres de lits : <i>4</i> Surface (m ²) : <i>784 m² au sol</i> <i>1160 m² dessus substrat</i>

FONCTIONNEMENT	
Charge surfacique annuelle (kg MS/m ² /an) : <i>2009 = 21,5 sur 4 lits / 28,6 sur 3 lits</i> <i>2010 = 26,4 sur 4 lits / 35,2 sur 3 lits</i> <i>2011 = 23,3 sur 4 lits / 31 sur 3 lits</i>	Date d'arrêt du lit : <i>Lit n°4 à l'arrêt depuis mars 2012</i>
Remarques sur la vidange / curage (date, épandage, etc.) : <i>Cycle vidange > 10 ans</i>	

FICHE DE PRELEVEMENT

LES PRELEVEMENTS	
Date : 13/06/2012	Nombres d'échantillons / Quantités <i>Sile</i> : BA 1 – 1 l N°120208
Volume de boues épandu dans le lit (m ³) : 36 330 m ³	<i>Boues des lits</i> : 1 – 1 kg N°120209
	<i>Filtrats</i> : 1 – 2 l N°120210
Matériel utilisé : Gants Canne de prélèvement Carotteur (10 prélèvements) Flaconnage et glacière	Difficultés rencontrées (climat, accès, etc.) : Boue du lit très humide en surface
Commentaires sur les échantillons (aspect, couleur, strate, etc.) <i>Sile</i> : BA Très liquide, décante rapidement <i>Boues des lits</i> : Molle en surface, marron, plus sèche dessous <i>Filtrats</i> : Très clair, pas de MES visible à l'œil nu	

DONNEES GENERALES	
Commune : ANDANCETTE	Conception (type de casier, charge, roseaux, etc.) : Déblais-remblais 50% de la charge nominale
Date de mise en service : 2004	
Maitre d'ouvrage : SIA DU PAYS D'ALBON (26)	
Type de réseau : Majoritairement unitaire	Type de traitement des eaux usées : Boues activées
Type d'effluents : Domestiques	Capacité (EH) : 13 000
Production de boues annuelles (TMS/an) : 113,3 en 2011	Nombres de lits : 8
	Surface (m ²) : 3200 (8 x 400) m ² dessus substrat

FONCTIONNEMENT	
Charge surfacique annuelle (kg MS/m ² /an) : 2004-2005 : 26 2006-2010 : 45	Date d'arrêt du lit : Lit n°E à l'arrêt depuis janvier/février 2012
Remarques sur la vidange / curage (date, épandage, etc.) : Vidange prévu fin août Hauteur de boues 80 cm	

ANNEXE 5 : Fiches
récapitulatives des données

*Source fiche personnelle complétées par des données
d'autres acteurs*

Analyses de boues et percolats de station de traitement des eaux usées

Commune de INGOLSHEIM (67)

	E+B 19/06/12	E+B 09/07/12	CG 67 2008	SDEA 2012	CG 67 2009	AERM 2006	Unité
BOUES DU SILO							
Analyse physico-chimique							
Siccité	2,3	2,8	3,0	3,1	2,2	--	%
Matières Minérales en Suspension (MMS)	50,8	50,7	43,6	42,4	47,9	--	%
Matières Volatiles en Suspension (MVS)	49,2	49,3	56,4	57,6	52,1	--	%
pH	6,21	6,64	6,20	6,00	6,10	--	--
Demande Chimique en Oxygène (DCO)	31040,00	48537,60	--	--	--	--	mg d'O ₂ /l
Azote Kjeldhal (NTK)	2089,61	1768,48	--	1020,21	504,33	--	mg/l
Azote Ammoniacal (N-NH ₄)	72,00	74,00	75,29	86,41	82,52	--	mg/l

BOUES DU LIT PLANTE N°1 (côté rivière)

	E+B 19/06/12	E+B 09/07/12	CG 67 2008	SDEA 2012	CG 67 2009	AERM 2006	Unité
Analyse physico-chimique Sur matières sèches							
Siccité	36,1	52,7	--	--	--	--	%
Matière Minérale	89,2	84,2	--	--	--	--	%
Matière Organique	10,8	15,8	--	--	--	--	%
pH	5,62	5,54	--	--	--	--	--
Analyse de la valeur agronomique							
Azote Kjeldhal (NTK)	1611,11	1217,15	--	--	--	--	mg/kg
Azote Ammoniacal (N-NH ₄)	387,81	391,84	--	--	--	--	mg/kg
Calcium total	513,90	493,36	--	--	--	--	mg/kg
Phosphore total	879,17	1203,04	--	--	--	--	mg/kg
Magnésium total	<95	<95	--	--	--	--	mg/kg

PERCOLATS DES LITS PLANTES

	E+B 19/06/12	E+B 09/07/12	CG 67 2008	SDEA 2012	CG 67 2009	AERM 2006	Unité
Analyse physico-chimique							
pH	6,96	6,91	7,00	--	--	--	--
Demande Chimique en Oxygène (DCO)	770,60	683,50	577,00	--	--	433,00	mg d'O ₂ /l
Azote Kjeldhal (NTK)	423,67	610,71	226,00	--	--	62,40	mg/l
Azote Ammoniacal (N-NH ₄)	212,00	193,00	192,00	--	--	--	mg/l
Phosphore total	31,10	123,50	48,40	--	--	43,00	mg/l
Matières en Suspension (MES)	150	316	140	--	--	170	mg/l
Matières Volatiles en Suspension (MVS)	48	44	--	--	--	--	mg/l

Remarque : Calcination de l'échantillon de boues du lit planté E+B 09/07/12 au four à 550°C.

Analyses de boues et percolats de station de traitement des eaux usées

Commune de FERRETTE (68)

	E+B 06/07/12	AERM 2011	HOLINGER 2011	HOLINGER 2010	HOLINGER 2009	HOLINGER 2008	Unité
BOUES DU SILO							
Analyse physico-chimique							
Siccité	1,3	2,1	2,9	2,6	2,2	1,9	%
Matières Minérales en Suspension (MMS)	20,3	34,9	--	--	--	--	%
Matières Volatiles en Suspension (MVS)	79,7	65,1	--	--	--	--	%
pH	7,08	6,80	--	--	--	--	--
Demande Chimique en Oxygène (DCO)	9008,00	--	--	--	--	--	mg d'O ₂ /l
Azote Kjeldhal (NTK)	757,81	--	--	--	--	--	mg/l
Azote Ammoniacal (N-NH ₄)	11,00	--	--	--	--	--	mg N /l

BOUES DU LIT PLANTE N°4							
Analyse physico-chimique							
<i>Sur matières sèches</i>							
Siccité	39,9	--	--	--	--	--	%
Matière Minérale	60,2	--	--	--	--	--	%
Matière Organique	39,8	--	--	--	--	--	%
pH	6,26	--	--	--	--	--	--
Analyse de la valeur agronomique							
Azote Kjeldhal (NTK)	613,20	--	--	--	--	--	mg/kg
Azote Ammoniacal (N-NH ₄)	461,25	--	--	--	--	--	mg/kg
Calcium total	<30	--	--	--	--	--	mg/kg
Phosphore total	115,63	--	--	--	--	--	mg/kg
Magnésium total	<60	--	--	--	--	--	mg/kg

PERCOLATS DES LITS PLANTES							
Analyse physico-chimique							
pH	7,60	--	--	--	--	--	--
Demande Chimique en Oxygène (DCO)	451,80	--	--	--	--	--	mg d'O ₂ /l
Azote Kjeldhal (NTK)	119,30	--	--	--	--	--	mg/l
Azote Ammoniacal (N-NH ₄)	49,40	--	--	--	--	--	mg N /l
Phosphore total	11,40	--	--	--	--	--	mg/l
Matières en Suspension (MES)	223	--	--	--	--	--	mg/l
Matières Volatiles en Suspension (MVS)	12	--	--	--	--	--	mg/l

Remarque : L'échantillon du silo E+B a eu lieu alors que celui-ci était alimenté en boues.

Analyses de boues et percolats de station de traitement des eaux usées

Commune de ANDANCETTE (26)

	<i>E+B 13/06/12</i>	<i>THESE 2011</i>	<i>THESE 2009</i>	<i>Unité</i>
BOUES DU BASSIN D'AERATION				
Analyse physico-chimique				
Siccité	0,4	0,2	0,2	%
Matières Minérales en Suspension (MMS)	53,8	29,2	19,0	%
Matières Volatiles en Suspension (MVS)	46,2	70,8	81,0	%
pH	7,12	--	7,10	--
Demande Chimique en Oxygène (DCO)	2476,80	2400,00	2160,00	mg d'O ₂ /l
Azote Kjeldhal (NTK)	251,51	117,00	133,00	mg/l
Azote Ammoniacal (N-NH ₄)	3,10	1,90	2,00	mg/l

BOUES DU LIT PLANTE N°E				
Analyse physico-chimique				
<i>Sur matières sèches</i>				
Siccité	26,4	--	--	%
Matière Minérale	88,7	--	--	%
Matière Organique	11,3	--	--	%
pH	6,45	--	--	--
Analyse de la valeur agronomique				
Azote Kjeldhal (NTK)	1323,85	--	--	mg/kg
Azote Ammoniacal (N-NH ₄)	556,82	--	--	mg/kg
Calcium total	94,70	--	--	mg/kg
Phosphore total	280,77	--	--	mg/kg
Magnésium total	<95	--	--	mg/kg

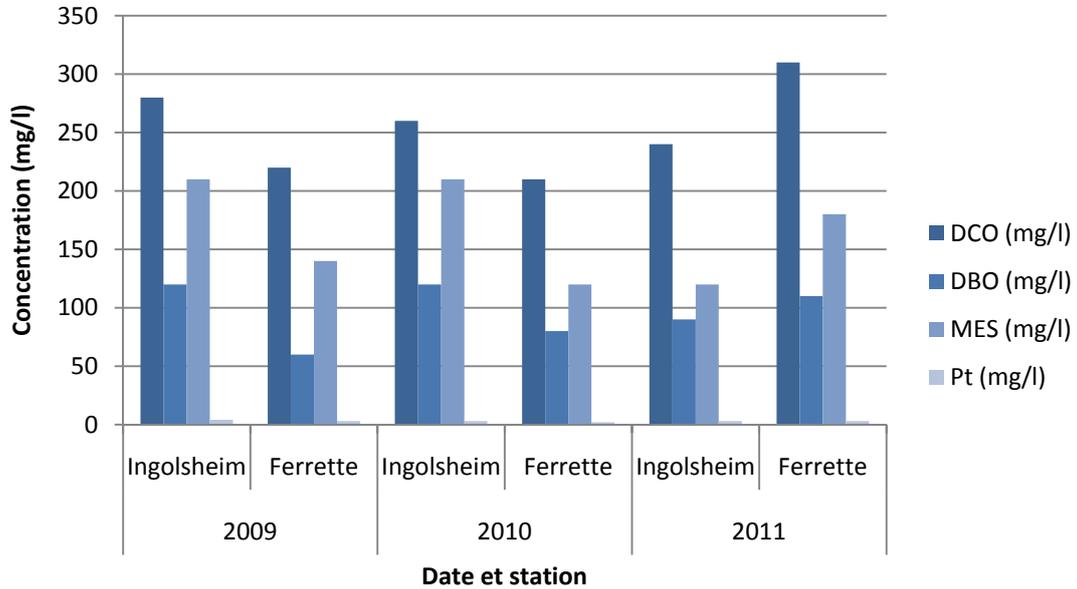
} *Lixiviats*

PERCOLATS DES LITS PLANTES				
Analyse physico-chimique				
pH	6,55	--	--	--
Demande Chimique en Oxygène (DCO)	100,80	--	--	mg d'O ₂ /l
Azote Kjeldhal (NTK)	<5	--	--	mg/l
Azote Ammoniacal (N-NH ₄)	3,60	--	--	mg/l
Phosphore total	21,90	--	--	mg/l
Matières en Suspension (MES)	6	--	--	mg/l
Matières Volatiles en Suspension (MVS)	2	--	--	mg/l

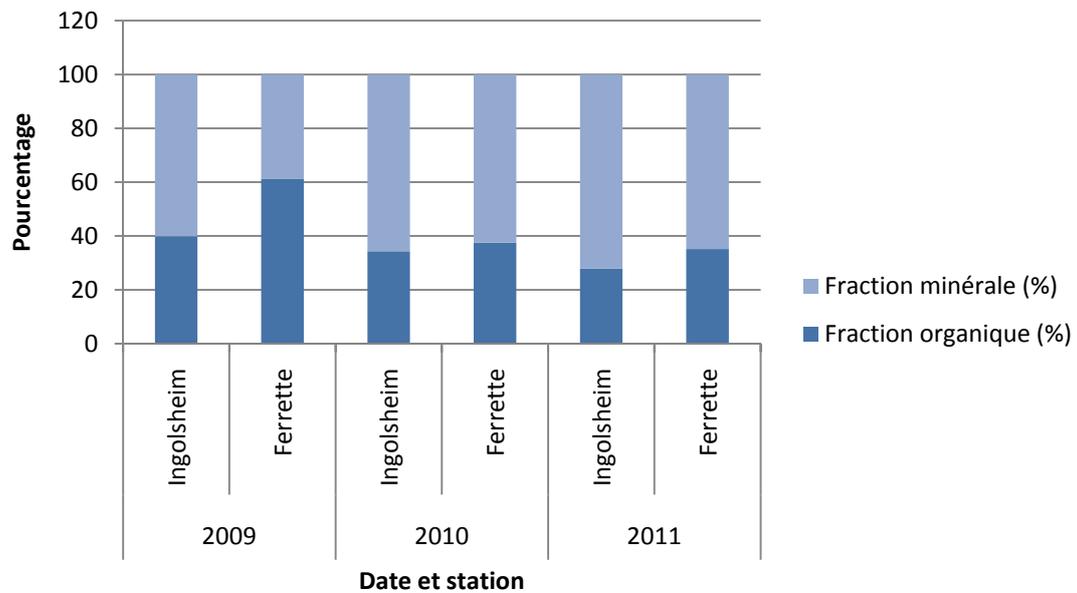
**ANNEXE 6 : Effluents en entrée
de station d'Ingolsheim et de
Ferrette**

*Source graphique personnel et données d'exploitation
et SDEA et d'HOLINGER*

Evolution des concentrations en DCO, DBO₅, MES et Pt des effluents en entrée de STEU d'Ingolsheim et Ferrette



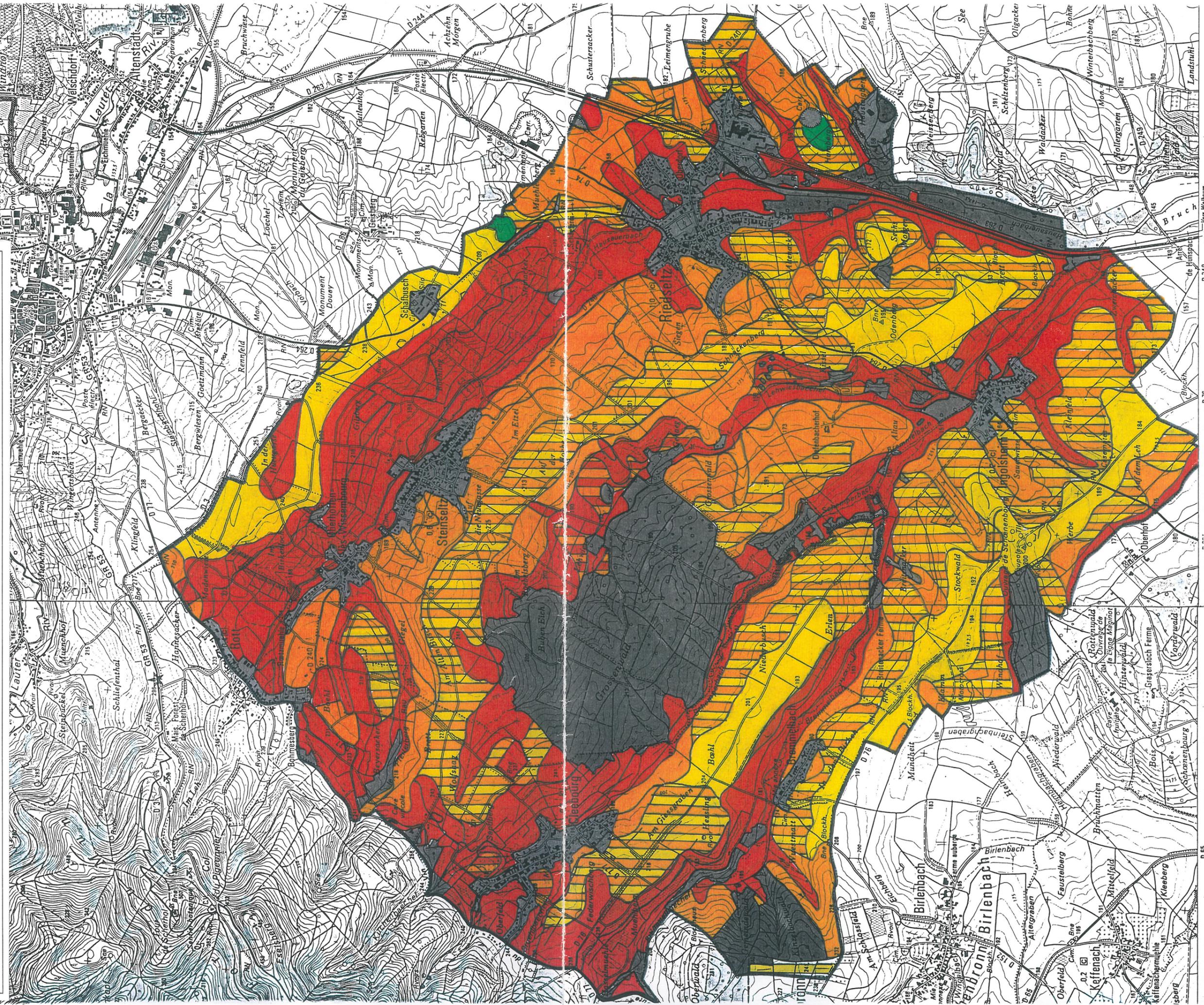
Evolution de la fraction organique en fonction des paramètres azotés NTK et NH₄



ANNEXE 7 : Carte au 1/25 000^{ème}
de l'aptitude des sols à valoriser
l'épandage des boues dans la
région du SIA de Riedseltz

*Source étude des sols préalable à l'épandage des
boues (SIAR, 2000)*

	Classe 1	Epandage possible sans contraintes
	Classe 2	Epandage possible après vérification de quelques contraintes a priori modérées (Hydromorphie, profondeur, pente...)
	Classe 3	Epandage possible après vérification de plusieurs contraintes a priori fortes (Hydromorphie, profondeur, pente...)
	Classe 4	Pas d'épandage



D 249 D 263 Vers Willbourg
D 76 Vers Hagenau

D 249 D 263 Vers Willbourg
D 76 Vers Hagenau

CARTE n° 4 - L'aptitude des sols à valoriser l'épandage de boues dans le périmètre du SIA de la région de Riedseltz - Echelle : 1/25. 000ème