Traitement du lisier frais dilué par l'utilisation de la lombrifiltration complétée d'un lagunage par une zone humide artificielle

Mémoire de fin d'études

Marie-Anne Revaka
17e promotion
2008-2009

Septembre 2009

Source : Revaka, 2009

AgroParisTech ENGREF / UMR ECOBIO 6553 / Institut national de la recherche agronomique de Rennes

Traitement du lisier frais dilué par l'utilisation de la lombrifiltration complétée d'un lagunage par une zone humide artificielle

Mémoire de fin d'études

Marie-Anne Revaka
17e promotion
2008-2009

Septembre 2009

Fiche signalétique

F.I.F. – AgroParisTech ENGREF	**TRAVAUX D'ÉLEVES**
TITRE : **Traitement du lisier frais dilué par l'utilisation de la lombrifiltration complétée d'un lagunage par une zone humide artificielle**	Mots clés : **lagunage, lombrifiltre, lisier frais, porcherie**
AUTEUR(S) : **Marie-Anne REVAKA**	Promotion : **17e**
Caractéristiques : **1 volume; 125 pages ; 41 figures; 54 tableaux ; bibliographie ; 18 annexes**	

CADRE DU TRAVAIL

ORGANISME PILOTE OU CONTRACTANT :

UMR ECOBIO – Station biologique de Paimpont

Nom du responsable : **Philippe Morand**

Fonction : **Chercheur CNRS dans l'UMR ECOBIO**

Nom du correspondant ENGREF : **Gérard FALCONNET**

☐ Tronc Commun	☐ Stage entreprise	☐ Autre
☐ Option	☐ Stage étranger	
☐ Spécialité	☒ Stage fin d'études	
	Date de remise : **16 novembre 2009**	

Contrat avec Gref Services Nancy ☐ Oui ☒ Non

SUITE À DONNER (réservé au Service des Études)

☐ Consultable et diffusable
☐ Confidentiel de façon permanente
☐ Confidentiel jusqu'au ……/……/……, puis diffusable

Résumé

Le contexte actuel de l'élevage porcin en Bretagne est tel qu'il faut trouver des solutions innovantes de traitement des effluents d'élevage, l'épandage sur les terres agricoles n'étant plus suffisant. La station porcine expérimentale de Guernévez (SPEG) dans le Finistère s'est attelée à la recherche de nouveaux procédés permettant l'amélioration du bien-être animal et des hommes travaillant dans l'élevage porcin. Ce rapport a pour but de faire un bilan sur le dispositif de lombrifiltration puis lagunage mis au point pour le traitement et la valorisation du lisier frais dilué et d'en montrer les avantages et les inconvénients.

Summary

The current context of the porcine breeding in Brittany is such as it is necessary to find innovative solutions of treatment for the breeding's effluents, the manuring on farmlands not being sufficient any more. The experimental porcine station of Guernévez (SPEG) in Finistère looks for new processes allowing the improvement of the health of animals and people working in the porcine breeding. This report aims at drawing up the balance sheet on the device of lombrifiltration and lagunage for the treatment and the valuation of the freshly diluted liquid manure and to show the advantages and the inconveniences.

Remerciements

Je tiens à remercier Daniel Cluzeau pour son accueil au sein de l'UMR ECOBIO, Philippe Morand du CNRS d'avoir été mon maître de stage et Paul Robin de l'INRA de Rennes, avec qui j'ai travaillé pour l'élaboration du modèle Excel, pour sa grande disponibilité.

Merci également à Brigitte Landrain (responsable de la station expérimentale porcine de Guernévez) pour toutes les discussions que nous avons pu avoir et à Camille et Annaïg (stagiaires à Guernévez) qui ont eu la gentillesse de refaire les analyses des échantillons problématiques.

D'autre part, je tiens à remercier Gérard Falconnet pour sa visite à Rennes, pour les discussions que nous avons eues, pour la relecture du rapport et pour ses conseils tout au long du stage.

Merci à Claire-Sophie Haudin pour les relectures et les commentaires avisés qu'elle a pu me donner.

Merci à Florent Chazarenc (École des Mines de Nantes), Yvan Hurvois (Agence de l'eau Loire-Bretagne), Louis Le Gall (technicien dans un groupement de producteurs), et André Paul (éleveur de porcs et président de la station de Guernévez) d'avoir pris le temps de répondre à mes questions.

Merci à Jean Coillard d'avoir accepté sans hésitation de prendre part à mon jury.

Et pour conclure, merci à Vincent pour son écoute, ses conseils et son soutien tout au long de ces six mois.

Table des matières et des annexes

REMERCIEMENTS **1**

TABLE DES MATIÈRES ET DES ANNEXES **2**

TABLE DES FIGURES **5**

TABLE DES TABLEAUX **7**

INTRODUCTION **9**

***PREMIÈRE PARTIE :* L'AGRICULTURE BRETONNE ET UNE SOLUTION PROPOSÉE POUR RÉDUIRE LA POLLUTION DE L'ÉLEVAGE PORCIN** **10**

1. L'ÉLEVAGE ET L'ÉLIMINATION DES EFFLUENTS **10**

1.1 LA BRETAGNE ET L'ÉLEVAGE PORCIN 10
1.2 LA SPÉCIFICITÉ DU CONTEXTE BRETON 10
1.3 LE LISIER DE PORC 11
1.3.1 Paramètres utilisés pour la description *11*
1.3.2 Caractéristiques et composition du lisier *12*
1.3.3 Utilisation du lisier *12*
1.3.4 Les effets environnementaux de l'épandage *13*

2. SOLUTIONS D'ÉVACUATION DU LISIER ÉTUDIÉES À LA STATION EXPÉRIMENTALE PORCINE DE GUERNÉVEZ (SPEG) **14**

2.1 PRÉSENTATION DE LA STATION 14
2.2 LE RACLAGE 15
2.3 LA CHASSE D'EAU 17

3. TRAITEMENT ET VALORISATION DU LISIER PAR LOMBRIFILTRATION ET LAGUNAGE **17**

3.1 LA LOMBRIFILTRATION 17
3.1.1 Principe *18*
3.1.2 Constitution du support *18*
3.1.3 Les lombriciens *19*
3.2 LE LAGUNAGE 19
3.2.1 Les lagunes *20*
3.2.2 Les lagunes à microphytes *21*
3.2.3 Les lagunes à macrophytes *21*
3.2.4 Les filtres plantés *23*
3.2.5 Les filtres verticaux *24*
3.2.6 Les filtres horizontaux *25*
3.2.7 Les systèmes combinés *26*
3.2.8 Comparaison des différents systèmes *28*
3.2.9 Valorisation des plantes *29*

***SECONDE PARTIE :* STATION DE GUERNÉVEZ, MATÉRIEL ET MÉTHODES** **32**

4. LE SITE EXPÉRIMENTAL **32**

5. MATÉRIEL ET MÉTHODES **32**

5.1 DISPOSITIF DE TRAITEMENT ET DE VALORISATION DE L'EFFLUENT 32
5.1.1 Le bâtiment d'élevage et la chasse d'eau *33*
5.1.2 Le tamis vibrant *33*
5.1.3 Le lombrifiltre *34*
5.1.4 La fosse de décantation *34*
5.1.5 La station expérimentale *34*
5.1.6 Les lagunes et filtres plantés du prototype *35*
5.1.7 L'alimentation et la maintenance du système *35*
5.2 LES ANALYSES 36
5.2.1 Les points de prélèvement *36*

5.2.2 Les analyses d'eau ... *37*
5.2.3 Les données météorologiques ... *37*
5.2.4 La base de données ... *37*
5.2.5 Le modèle Excel ... *39*

***TROISIÈME PARTIE :* RÉSULTATS ET DISCUSSION** ... **50**

6. RÉSULTATS ... **50**

6.1 EFFET DE LA CORRECTION DES DONNÉES SUR LES RÉSULTATS OBTENUS ... 50
6.2 EFFET DES PLANTES SUR L'ABATTEMENT DE LA DCO ET DE L'AZOTE TOTAL (NT) ... 51
6.2.1 Abattement de la DCO ... *52*
6.2.2 Abattement de Nt ... *53*
6.3 EFFET DE LA SAISON SUR L'ABATTEMENT DE LA DCO ET NT ... 54
6.4 ABATTEMENT DE LA DCO ET DES ÉLÉMENTS AU SEIN DE LA STATION EXPÉRIMENTALE ... 55
6.4.1 Abattement du phosphore (Pt) ... *55*
6.4.2 Abattement de l'ion ammonium (NH_4^+) ... *56*
6.4.3 Production et abattement des nitrites (NO_2) ... *56*
6.4.4 Production et abattement des nitrates (NO_3) ... *57*
6.4.5 Abattement du potassium (K^+) ... *57*
6.5 ABATTEMENT ET ÉVOLUTION DE LA CONCENTRATION DE LA DCO ET DES ÉLÉMENTS AU SEIN DU PROTOTYPE ... 58
6.5.1 DCO ... *58*
6.5.2 Azote et ion ammonium ... *58*
6.5.3 Nitrites et nitrates ... *59*
6.5.4 Phosphore et potassium ... *60*
6.6 MODÈLE EXCEL ... 61
6.6.1 BILAN D'EAU ... 61
6.6.2 LE PARAMÈTRE AZOTE ... 62

7. DISCUSSION ... **65**

7.1 FORMULE D'EVAPOTRANSPIRATION ... 65
7.2 ABATTEMENTS DANS LA STATION EXPÉRIMENTALE ... 65
7.3 ABATTEMENTS DANS LE PROTOTYPE ... 66
7.4 LE MODÈLE EXCEL ... 67

CONCLUSION ... **69**

BIBLIOGRAPHIE ... **70**

LISTE DES CONTACTS ... **75**

TABLE DES ANNEXES ... **76**

ANNEXE 1 : CARACTÉRISTIQUES DES MACROPHYTES POUVANT ÊTRE UTILISÉS POUR L'ÉPURATION DE L'EAU ... **77**

ANNEXE 2 : ENSEMBLE DES DONNÉES TECHNIQUES ET PLAN DE LA STATION EXPÉRIMENTALE ... **79**

ANNEXE 3 : ENSEMBLE DES DONNÉES TECHNIQUES DU PROTOTYPE ... **80**

ANNEXE 4 : SCHÉMA GLOBAL DE L'EXPÉRIMENTATION ... **81**

ANNEXE 5 : PROTOCOLES D'UTILISATION DES KITS D'ANALYSE « LES MÉTHODES RAPIDES DU DR LANGE » ... **82**

ANNEXE 6 : DONNÉES MÉTÉOROLOGIQUES ... **83**

ANNEXE 7 : TABLEAU DE DONNÉES ... **99**

ANNEXE 8 : FLUX AU SEIN DU SYSTÈME DE PORCHERIE INTEGRÉE ... **109**

ANNEXE 9 : EXTRAIT DU MODÈLE EXCEL CONCERNANT LA PORCHERIE ... **110**

ANNEXE 10 : EXTRAIT DU MODÈLE EXCEL CONCERNANT LE TAMIS ... **111**

ANNEXE 11 : EXTRAIT DU MODÈLE EXCEL CONCERNANT LE LOMBRIFILTRE ... **112**

ANNEXE 12 : EXTRAIT DU MODÈLE EXCEL CONCERNANT LE DÉCANTEUR 113
ANNEXE 13 : EXTRAIT DU MODÈLE EXCEL CONCERNANT LA LAGUNE 1 115
ANNEXE 14 : EXTRAIT DU MODÈLE EXCEL CONCERNANT LE FILTRE 2..... 117
ANNEXE 15 : EXTRAIT DU MODÈLE EXCEL CONCERNANT LA LAGUNE 3 119
ANNEXE 16 : EXTRAIT DU MODÈLE EXCEL CONCERNANT LE FILTRE 4..... 121
ANNEXE 17 : EXTRAIT DU MODÈLE EXCEL CONCERNANT LA LAGUNE 5 123
ANNEXE 18 : EXTRAIT DU MODÈLE EXCEL CONCERNANT LES AUTRES DONNÉES..... 125

Table des figures

Figure 1 : Les différentes utilisations du lisier 13
Figure 2 : La station porcine de Guernévez..... 14
Figure 3 : Racleur à plat 16
Figure 4 : Racleur en V 16
Figure 5 : Répartition du phosphore et de l'azote dans les phases liquide et solide du lisier frais après séparation par raclage avec un racleur en V 16
Figure 6 : Système d'auget basculant permettant la chasse 17
Figure 7 : Le lombrifiltre de Guernévez..... 18
Figure 8 : Mécanismes ayant lieu dans les lagunes 21
Figure 9 : Schéma d'un filtre à écoulement vertical 24
Figure 10 : Schéma d'un filtre à écoulement horizontal 25
Figure 11 : Abattement de DCO, MES et NK par association de lagune et filtres plantés avec 6 filtres différents. C : concassé, R : roulé, M : matériau avec deux hauteurs de matériaux de 25 et 65 cm 27
Figure 12 : Le site expérimental..... 32
Figure 13 : Schéma global du procédé de traitement du lisier frais dilué par le prototype à Guernévez 33
Figure 14 : Un exemple de tamis vibrant permettant la séparation des phases liquides et solides..... 33
Figure 15 : Flux au sein du système de porcherie intégrée 40
Figure 16 : Comparaison des résultats d'abattement obtenus sur la station expérimentale pour l'azote du 6 juin 2007 au 25 juillet 2007 lorsqu'on utilise le jeu de données après correction ou brutes. 50
Figure 17 : Comparaison des résultats d'abattement obtenus sur la station expérimentale pour le phosphore du 6 juin 2007 au 25 juillet 2007 lorsqu'on utilise le jeu de données après correction ou brutes 51
Figure 18 : Abattement de la DCO en fonction des jeux de plantes, des séries et des niveaux de la station expérimentale (g/j)..... 52
Figure 19 : Abattement de l'azote total en fonction des jeux de plantes, des séries et des niveaux de la station expérimentale (g/j)..... 53
Figure 20 : Abattement de la DCO sur la station expérimentale en fonction des niveaux et des saisons (g/j)..... 54
Figure 21 : Abattement de Nt sur la station expérimentale en fonction des niveaux et des saisons (mg/j)..... 54
Figure 22 : Abattement du P sur la station expérimentale en fonction des niveaux et des saisons (mg/j) 55
Figure 23 : Abattement de NH_4^+ sur la station expérimentale en fonction des niveaux et des saisons (mg/j)..... 56
Figure 24 : Abattement des NO_2 sur la station expérimentale en fonction des niveaux et des saisons (mg/j)..... 56
Figure 25 : Abattement des NO_3 sur la station expérimentale en fonction des niveaux et des saisons (mg/j)..... 57
Figure 26 : Abattement de K^+ sur la station expérimentale en fonction des niveaux (mg/j)..... 57
Figure 27 : Évolution de la concentration en DCO sur le prototype en fonction des niveaux (mg/j) ... 58
Figure 28 : Évolution de la concentration en Nt et NH_4^+ sur le prototype en fonction des niveaux (mg/j)..... 58
Figure 29 : Abattement de Nt et NH_4^+ sur le prototype en fonction des niveaux (mg/j)..... 59
Figure 30 : Abattement des nitrites et nitrates sur le prototype en fonction des niveaux (mg/j)..... 59
Figure 31 : Évolution de la concentration en NO_2^- et NO_3^- sur le prototype en fonction des niveaux (mg/j)..... 60
Figure 32 : Évolution de la concentration en Pt et K^+ sur le prototype en fonction des niveaux (mg/j) 60
Figure 33 : Abattement de Pt et K^+ sur le prototype en fonction des niveaux (mg/j)..... 61
Figure 34 : Évolution du flux de pluie, d'évapotranspiration et du niveau de P5 en fonction du temps 62

Figure 35 : Comparaison des résultats d'analyse et des résultats obtenus grâce au modèle pour Sp, St et Sl en fonction du temps 62
Figure 36 : Comparaison des résultats d'analyse et des résultats obtenus grâce au modèle pour P0, Ep et P5 en fonction du temps 63
Figure 37 : Comparaison des résultats d'analyse et des résultats obtenus grâce au modèle pour P0, P1 et P2 en fonction du temps 64
Figure 38 : Comparaison des résultats d'analyse et des résultats obtenus grâce au modèle pour P3, P4 et P5 en fonction du temps 64
Figure 39 : Plan de la station expérimentale 79
Figure 40 : Schéma global de l'expérimentation..... 81
Figure 41 : Flux au sein du système……..……..109

Table des tableaux

Tableau 1 : Comparaison entre l'épuration effectué avec ou sans macrophytes dans un lac à Beijing de 14 000m^2 et de 2 m de profondeur avec huit espèces de macrophytes 23
Tableau 2: Performances épuratoires d'une filière lit planté à écoulement vertical 25
Tableau 3 : Récapitulatif des avantages et inconvénients de trois systèmes extensifs de traitement des eaux usées 29
Tableau 4 : Lieux de prélèvement des échantillons..... 36
Tableau 5 : Les différentes séries de plantes testées 51
Tableau 6 : Caractéristiques des macrophytes pouvant être utilisés pour l'épuration de l'eau 78
Tableau 7 : Récapitulatif des dimensions et temps de séjour hydraulique des bassins de la station expérimentale 79
Tableau 8 : Caractéristiques techniques des bassins du prototype 80
Tableau 9 : Les données météorologiques..... 98
Tableau 10 : Tableau de résultats des analyses pour la station expérimentale et le prototype..... 108
Tableau 11 : Paramètres de la porcherie..... 110
Tableau 12 : Observations de la porcherie 110
Tableau 13 : Calcul des flux de la porcherie 110
Tableau 14 : État de la porcherie..... 110
Tableau 15 : Paramètres du tamis..... 111
Tableau 16 : Observations du tamis 111
Tableau 17 : Calcul des flux du tamis 111
Tableau 18 : Calcul de l'état pour le tamis..... 111
Tableau 19 : Paramètres du lombrifiltre..... 112
Tableau 20 : Observations du lombrifiltre..... 112
Tableau 21 : Le calcul des flux du lombrifiltre 112
Tableau 22 : Le calcul de l'état pour le lombrifiltre..... 112
Tableau 23 : Paramètres du décanteur..... 113
Tableau 24 : Observations du décanteur 113
Tableau 25 : Calcul des flux du décanteur 113
Tableau 26 : Calcul de l'état pour le décanteur..... 114
Tableau 27 : Paramètres de la lagune 1..... 115
Tableau 28 : Observations de la lagune 1..... 115
Tableau 29 : Observations des macrophytes de la lagune 1..... 115
Tableau 30 : Calcul des flux de la lagune 1..... 116
Tableau 31 : Calcul de l'état pour la lagune 1..... 116
Tableau 32 : Paramètres du filtre 2 117
Tableau 33 : Observations du filtre 2 117
Tableau 34 : Observations des macrophytes du fi1tre 2..... 117
Tableau 35 : Calcul des flux du filtre 2 118
Tableau 36 : Calcul de l'état pour le filtre 2..... 118
Tableau 37 : Paramètres de la lagune 3..... 119
Tableau 38 : Observations de la lagune 3..... 119
Tableau 39 : Observations des macrophytes de la lagune 3..... 119
Tableau 40 : Calcul des flux de la lagune 3..... 120
Tableau 41 : Calcul de l'état pour la lagune 3..... 120
Tableau 42 : Paramètres du filtre 4 121
Tableau 43 : Observations du filtre 4 121
Tableau 44 : Observations des macrophytes du fi1tre 4..... 121
Tableau 45 : Calcul des flux du filtre 4 122
Tableau 46 : Calcul de l'état pour le filtre 4..... 122
Tableau 47 : Paramètres de la lagune 5..... 123
Tableau 48 : Observations de la lagune 5..... 123

Tableau 49 : Observations des macrophytes de la lagune 5 123
Tableau 51 : Calcul de l'état pour la lagune 5 124
Tableau 52 : Données de la feuille paramètres 125
Tableau 53 : Données de base de la feuille d'observations 125
Tableau 54 : Données de base pour le calcul des flux 125

Introduction

L'homme a depuis des siècles mis au point des systèmes de culture et d'élevage ingénieux, pour répondre aux besoins d'une population croissante. Grâce aux avancées techniques et aux recherches menées jusqu'à aujourd'hui, il y a eu une évolution des techniques qui a conduit à l'agronomie moderne. Dans le contexte mondial changeant que nous connaissons actuellement, la question de l'agriculture est au cœur des préoccupations. En effet, avec l'accroissement de la population, la dégradation de l'environnement, en particulier de la qualité de l'air, et l'émergence de problèmes sanitaires qu'elle peut engendrer, il devient indispensable de mettre en place des pratiques agricoles plus durables. En Bretagne plus particulièrement, du fait de l'élevage porcin intensif, il est nécessaire de trouver une alternative à l'épandage du lisier, source de diverses pollutions et nuisances.

C'est ce que tente de faire l'équipe de l'unité mixte de recherche ECOBIO (CNRS - université de Rennes, dans laquelle j'ai effectué mon stage de fin d'études, en testant un procédé de traitement du lisier par un système extensif de lagunage.

Le système étudié trouve son originalité dans le fait que l'objectif du lagunage n'est pas ici d'atteindre une épuration parfaite de l'eau (car il y a peu de rejet dans le milieu naturel) mais plutôt d'utiliser des éléments contenus dans le lisier comme moteur de la croissance des macrophytes. La volonté de valoriser les plantes en aval de cette filière pose la contrainte de conserver les nutriments dans l'eau, afin d'en faire profiter un maximum de plantes.

Après quelques années de fonctionnement et d'acquisition de données au niveau de la station porcine expérimentale de Guernévez (SPEG, Finistère), l'exploitation des résultats permet aujourd'hui de dégager des tendances concernant l'abattement des éléments au niveau de chaque compartiment et ainsi, de mieux comprendre leur devenir. Les objectifs de mon stage ont été tout d'abord de classer, trier et homogénéiser les données récoltées avant leur traitement, puis d'affiner un modèle de prédiction des flux d'eau et de nutriments dans le système. Ce modèle permet de décrire le devenir des éléments au fil du lagunage et ainsi de discuter des perspectives du système.

La première partie de ce rapport est tout d'abord dédiée à une présentation générale du contexte de l'agriculture en Bretagne puis à une explication détaillée du mode de fonctionnement des systèmes de lagunage mis en place sur le site de la SPEG. La seconde partie du mémoire sera quant à elle consacrée aux résultats obtenus grâce aux expérimentations ayant lieu à Guernévez. Elle présente ainsi la station en détails, le traitement des effluents par les systèmes de lagunage, le matériel utilisé. La dernière partie présentera les résultats obtenus et se terminera par une discussion ouvrant sur les perspectives envisagées pour l'avenir du dispositif.

Première partie : L'agriculture bretonne et une solution proposée pour réduire la pollution de l'élevage porcin

1. L'élevage et l'élimination des effluents

1.1 La Bretagne et l'élevage porcin

De nombreux types d'élevages et de pratiques culturales existent à travers le monde avec chacun ses spécificités et ses impacts. Des pollutions dans tous les compartiments de l'environnement peuvent être engendrées par l'agriculture : l'eau et la terre peuvent être polluées par des excès d'azote, de phosphore et de pesticides dans les sols ; l'air peut être pollué par des émanations telles que l'ammoniac, le méthane et d'autres gaz à effet de serre. Concernant les aspects sanitaires, l'atmosphère à l'intérieur des bâtiments d'élevage est un vecteur important de pathologies chez l'homme (asthme, cancers…) et chez les animaux (problèmes respiratoires…). Il est donc important de veiller à ce que cette atmosphère soit la meilleure possible. Ceci dit, à une échelle plus globale, les pratiques agricoles sont disparates.

Pour illustrer ce propos prenons quelques exemples : la Chine, premier producteur porcin mondial ne se préoccupe guère, pour le moment, de l'impact environnemental de sa politique ; l'Australie, avec la mise en place à grande échelle d'un procédé d'évacuation du lisier, a permis d'accroître la qualité de vie des animaux et des personnes travaillant dans les bâtiments, mais un mauvais traitement de l'effluent ainsi produit engendre maintenant des méfaits environnementaux non négligeables ; enfin, le cas de la France avec l'élevage porcin en région Bretagne n'est pas un meilleur exemple. Ce problème va être décrit plus précisément dans la partie suivante.

1.2 La spécificité du contexte breton

Le contexte breton a été décrit dans le rapport d'une précédente stagiaire à Guernévez (Amblard, 2007), et est repris ci-dessous.

L'évolution nationale de l'agriculture ces dernières années en termes d'élevage a engendré une diminution du nombre d'exploitations au profit de l'augmentation du cheptel qui a surtout concerné les régions de l'Ouest (Bretagne, Basse-Normandie, Pays de la Loire, Poitou-Charentes) (Sevrin-Reyssac, 1995). De ce fait, les élevages bretons abritent actuellement 55 % du cheptel français et, avec les Pays-de-la-Loire et la Basse-Normandie, ce sont près de 75 % du cheptel qui sont localisés dans le grand Ouest (CORPEN, 2003).

Cette concentration des élevages porcins en Bretagne trouve son origine dans le contexte historique. En effet, dans les années 1950, la Bretagne était fortement peuplée et possédait de nombreuses fermes morcelées avec peu de superficie par exploitation. De plus, dans cette région, les terres étaient peu fertiles. Dans les années 1960, lorsque la mécanisation est apparue, les régions plus aisées avec des terres plus fertiles telles que la Beauce ou la Brie ont pu effectuer des remembrements des parcelles agricoles afin d'obtenir des surfaces de travail de taille supérieure et ainsi se spécialiser dans les grandes cultures. Or, en Bretagne, pour les raisons évoquées ci-dessus, les remembrements n'ont pu être effectués avec la même ampleur. Les exploitants bretons ont alors commencé à utiliser la technique d'élevage hors-sol, c'est-à-dire qui utilise des aliments pour animaux issus de l'industrie agroalimentaire et non des produits de l'exploitation agricole dans laquelle il est pratiqué, et à se spécialiser, notamment dans l'élevage porcin, afin de valoriser au mieux les faibles surfaces agricoles qu'ils possédaient (Landrain, 2007).

Malgré cela, la Bretagne a connu une diminution du nombre de ses exploitations agricoles en général. En l'espace de douze ans, elles sont passées de 92 500 exploitations en 1988 à 51 200 en 2000.

Toutefois, leur surface moyenne a augmenté et il en est de même pour le cheptel, passant par exemple dans le secteur porcin de 360 porcs par atelier en 1988 à 770 en 2000 (Direction des affaires financières, 2002).

La production animale en général, qui représente 70 % des exploitations, intéresse les trois quarts de la surface agricole en Bretagne. Ceci dit, la superficie moyenne des exploitations porcines reste insuffisante face à la quantité de lisier à résorber et les exploitants ne peuvent pas valoriser la totalité de leur lisier. De plus, dans cette région, des problèmes liés à l'eau sont récurrents. Parmi les facteurs qui en sont responsables, l'élevage est souvent mis en cause.

D'après une étude de la Direction des affaires financières du ministère chargé de l'agriculture (1997), les déjections animales représentent 56,7 % des apports azotés. Les quantités d'azote retrouvées dans les effluents produits par l'élevage breton sont en effet de 230 000 t/an, dont 51 % pour les bovins, 29 % pour les porcs, 19 % pour les volailles, 0,6 % pour les ovins et 0,4 % pour la cuniculture. En outre, l'apport d'azote minéral par les agriculteurs s'élève à environ 140 000 t/an. Ramené à l'hectare de surface potentiellement épandable (SPE), égale à environ 70 % de la surface agricole utile (SAU), cela représente une charge de 300 kg d'azote par hectare. L'azote excédentaire se retrouve alors sous forme de nitrates dans l'eau. Suite à une condamnation de la France par l'Union européenne pour non-respect de certains captages vis-à-vis du seuil de 50 mg de nitrates/l, le taux d'azote autorisé dans les plans d'épandage a été réduit à 210 kg d'azote organique par hectare et par an en 1999 puis à 170 kg d'azote organique par hectare et par an en 2003, et enfin, début 2007, à 140 kg d'azote total par hectare et par an sur les terres en culture, dans certains bassins versants dits en « contentieux » (dépassant les 50 mg/l dans les eaux de captage).

Enfin, l'épandage du lisier et la proximité des bâtiments d'élevage engendrent des nuisances olfactives importantes qui ternissent l'image des porcheries bretonnes. L'élevage porcin, s'il n'est pas mené de manière raisonnée, peut donc avoir des effets négatifs sur les différents compartiments de l'écosystème (eau, sol, air).

1.3 Le lisier de porc

1.3.1 Paramètres utilisés pour la description

Demande chimique en oxygène (DCO) et **demande biologique en oxygène** (DBO) : les matières organiques consomment, en se dégradant, l'oxygène dissous dans l'eau. Elles peuvent donc être à l'origine, si elles sont trop abondantes, d'une consommation excessive d'oxygène, et provoquer l'asphyxie des organismes aquatiques. Le degré de pollution s'exprime en demande biochimique en oxygène sur 5 jours (DBO_5) et en DCO. La DBO_5 mesure la quantité d'oxygène consommée en 5 jours à 20 °C par les microorganismes vivants présents dans l'eau. La DCO représente quant à elle quasiment tout ce qui est susceptible de consommer de l'oxygène dans l'eau, par exemple les sels minéraux et les composés organiques. Plus facile et plus rapidement mesurable, avec une meilleure reproductibilité que la voie biologique, la DCO est systématiquement utilisée pour caractériser un effluent (Dictionnaire de l'environnement, 2009).

Matières sèches (MS) : c'est ce que l'on obtient lorsqu'on retire l'eau d'un produit. Dans un végétal ce pourcentage est bas (5 à 10 %).

Matières en suspension (MES) : c'est le terme employé pour désigner l'ensemble des matières solides insolubles présentes dans un liquide. On différencie les matières en suspension des colloïdes (taille comprise entre 10 nm et 1 µm) et des matières dissoutes (taille inférieure à 10 nm). Leur effet néfaste est mécanique, par formation de sédiments et d'un écran empêchant la bonne pénétration de la lumière d'une part (réduction de la photosynthèse), ainsi que par colmatage des branchies des poissons d'autre part. Leur effet est par ailleurs chimique par constitution d'une réserve de pollution potentielle dans les sédiments (Wikipédia, 2009).

Azote : rejeté à 80 % sous forme ammoniacale, l'enjeu du lagunage à macrophytes est de réduire sa concentration dans le liquide grâce d'une part à l'assimilation par les plantes (l'azote est une élément nutritif pour les végétaux) et d'autre part grâce au phénomène de nitrification (transformation de l'ammoniac en nitrites puis en nitrates) et dénitrification (transformation des nitrates en diazote) opéré par les bactéries.

Phosphore : dans le lisier il est principalement retrouvé sous forme particulaire et la forme majoritaire sous laquelle il se trouve dans l'eau est l'orthophosphate provenant de la dégradation de la matière organique.

Potassium : c'est un élément majeur dans la nutrition des plantes mais s'il est retrouvé à une concentration trop forte dans le milieu, il peut devenir toxique.

1.3.2 Caractéristiques et composition du lisier

Un porc a besoin de 4 kg d'aliments et 6 litres d'eau pour produire 1 kg de viande (Choi, 2007). Bien que cette demande soit plus faible que celle des bovins les animaux produisent de grandes quantités de déjections. Le lisier est constitué de l'ensemble des déjections des animaux (urines, fèces), des restes d'aliments, d'eau de boisson et des eaux de lavage de porcherie (Sevrin-Reyssac et al, 1995). Ce liquide chargé en matière en suspension (MES) et en éléments fertilisants (azote ammoniacal (80 % de l'azote), phosphore et potassium) a une composition qui varie suivant le stade physiologique de l'animal, le type d'élevage, le régime alimentaire, le mode de distribution des eaux de boisson… Concernant la matière sèche des lisiers, elle est composée de particules solides en suspension, de substances colloïdales et dissoutes et sa teneur est comprise entre 50 et 80 g/l. Le rejet quotidien d'un porc représente 25 à 35 g d'azote et 23 g d'acide phosphorique, soit respectivement 2 et 2,4 équivalents habitants (1EH = 15 g d'azote et 4 g de phosphore par jour) (Oudart, 2009). La connaissance de cette équivalence est utile pour le dimensionnement des systèmes de traitement.

L'analyse de la fraction liquide du lisier met en évidence que 85 % de l'azote y est présent et seulement 15 % du phosphore. Une conclusion peut donc être faite : l'azote se trouve principalement sous forme soluble et le phosphore sous forme particulaire. D'après les données du ministère de l'Agriculture, une truie allaitante produit 19,7 litres de lisier par jour tandis qu'à l'engraissement, un porc n'en produit que 3,94. La production est donc très variable en fonction du stade physiologique dans lequel se trouvent les animaux. Enfin, pour la caractérisation des effluents, il est important de savoir que ceux contenant une concentration de DCO inférieure à 1000 mg/l sont considérés comme peu concentrés tandis que ceux avec une concentration supérieure à 2000 mg/l sont considérés comme très concentrés (Wang *et al.*, 2009).

1.3.3 Utilisation du lisier

Étant données les économies d'intrants réalisées par l'agriculteur qui utilise son lisier, du fait des apports qu'il représente, il est traditionnellement utilisé soit en épandage direct, soit en épandage après compostage. L'épandage sur les terres agricoles valorise le lisier par assimilation des nutriments par les plantes. Néanmoins une partie se trouve éliminée par l'action des micro-organismes du sol ou des phénomènes physicochimiques, telle la volatilisation de l'ammoniac (Fievet, 2008).

Le compostage permet quant à lui de transformer le lisier en un produit hygiénisé, stabilisé, et avec un effet fertilisant retardé. L'intérêt est de disposer d'une matière plus facilement utilisable, de diminuer les volumes et les surfaces d'épandage. Dans la pratique, le compostage se fait plus facilement sur la partie solide du lisier obtenue après séparation de phase. Pour que la matière organique composte facilement, elle doit répondre à un certain nombre de critères (siccité de l'ordre de 30 %, bonne oxygénation…) plus facilement atteint avec la partie solide du lisier. Cependant il a été mis au point au centre d'aide par le travail de Quatre-Vaulx Jardin (Côtes d'Armor, France) et à Guernévez une méthode de compostage à base d'un mélange de lisier et de paille. La méthode dite de Guernévez est

validée par l'Agence de l'eau Loire-Bretagne et agrée par la préfecture de région. La figure 1 résume les voies conventionnelles d'utilisation du lisier.

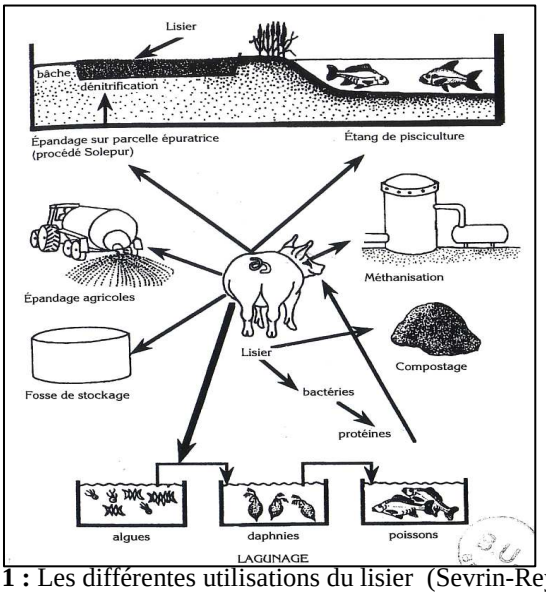


Figure 1 : Les différentes utilisations du lisier (Sevrin-Reyssac, 1995)

Plusieurs paramètres sont pris en compte dans le choix de la valorisation agronomique du produit final: MS, matière organique (MO), concentration en azote, phosphore et potassium (N, P, K), présence d'inerte, voir de germes pathogènes (*E. coli*, entérocoque, salmonelle...) s'il y a une exportation du matériau.

D'autres voies d'utilisation du lisier sont possibles, à travers divers procédés (Fievet, 2008) :

- déshydratation, puis lavage des gaz et rejet de l'eau épurée ;
- volatilisation de l'ammoniac suivie de sa combustion à partir d'un four ;
- volatilisation de l'ammoniac à partir de lait de chaux puis ajout d'acide sulfurique qui précipite l'azote ammoniacal et permet de récupérer du sulfate d'ammonium ;
- précipitation chimique de l'azote ammoniacal à partir de polymères, de phosphates ou de magnésie.

1.3.4 Les effets environnementaux de l'épandage

Le comité d'orientation pour des pratiques agricoles respectueuses de l'environnement (CORPEN) a rapporté en 2003 les nuisances induites par l'apport de lisier.

Dans les sols, l'apport d'éléments nutritifs (C, N, P, K, Ca, Mg, Cu, Zn...) compense les carences naturelles éventuelles et l'exportation par les cultures, la consommation par la rhizosphère ou les exportations par le lessivage. Au-delà de cette compensation, l'accumulation peut entraîner, à plus ou moins long terme, des déséquilibres entre éléments nutritifs et conduire à la phytotoxicité des sols ou à la contamination des chaînes alimentaires. Pour l'azote, le principal risque est lié à l'importance des fuites de nitrates par lessivage.

Dans les eaux souterraines, fluviales ou côtières, les éléments (N et P en particulier) se retrouvent, après lessivage ou ruissellement, dans des composés solubles. Lorsque leurs flux dépassent les capacités épuratoires des écosystèmes, les eaux s'eutrophisent, entraînant une perte de biodiversité, un développement algal excessif et des nuisances aux activités de loisirs. Une forte teneur en nitrates représente également un obstacle à l'usage des eaux brutes souterraines ou superficielles pour la production d'eau destinée à l'alimentation humaine et aux industries agroalimentaires. Le risque de dissémination d'agents pathogènes ou de résidus de produits d'hygiène et de santé utilisés en élevage doit également être mentionné.

Dans l'air, les composés émis peuvent agir à proximité du lieu d'émission ou à des échelles géographiques beaucoup plus larges, jusqu'à l'ensemble de la planète. Ainsi, les retombées d'ammoniac (NH_3) piégé par les précipitations constituent un apport supplémentaire d'azote au sol dans les régions d'élevage, et contribuent à l'eutrophisation des milieux sensibles et à l'acidification des sols. Le protoxyde d'azote (N_2O) et le méthane (CH_4) contribuent à l'enrichissement de l'atmosphère en gaz à effet de serre. En effet, d'après Choi (2007), les déchets animaux produisent près de 18 % des émissions totales d'équivalent CO_2 (535 millions de tonnes de CH_4 par an et 17,7 millions de tonnes de N_2O par an) ce qui représente plus que le niveau de contribution du transport. Les émissions de méthane proviennent du stockage des déjections tandis que les émissions de N_2O viennent du stockage, de la fabrication et de la maintenance du compost (retournement du compost). Les odeurs et poussières, quant à elles, contribuent aux nuisances de proximité.

Malgré l'utilisation de toutes les techniques actuelles, les débouchés au traitement de toute la quantité de lisier produite ne sont pas suffisants et les conditions d'élevage ne sont pas améliorées. Face à ce constat, les agriculteurs bretons et les organismes professionnels agricoles (OPA) doivent trouver de nouveaux procédés pour éliminer la totalité du lisier sans détériorer la qualité des eaux. C'est dans cet objectif que les chambres d'agriculture de Bretagne réalisent actuellement une étude à la SPEG sur un nouveau procédé d'épuration du lisier de porc.

2. Solutions d'évacuation du lisier étudiées à la station expérimentale porcine de Guernévez (SPEG)

2.1 Présentation de la station

Les chambres d'agriculture de Bretagne ont mis en place un dispositif de recherche appliquée composé de six stations, chacune spécialisée dans un domaine particulier : Cormiers (machinisme agricole), Trévarez (vaches laitières), Guernévez (élevage porcin), Mauron (production de viande bovine), Kerguéhennec (production végétale) et Crécom (élevage porcin en conditions sanitaires de haute sécurité). La station de Guernévez (cf. figure 2) est la seule du réseau à être spécialisée dans le bâtiment, l'environnement et le matériel d'élevage porcin. Dans le cadre du programme « Porcherie verte » mené par les chambres d'agriculture de Bretagne associées à l'Institut national de la recherche agronomique (INRA), elle cherche à mettre au point une méthode de gestion du lisier de porc qui permettrait une diminution des charges en nutriments de l'effluent et une diminution des odeurs dans la porcherie (Chambres d'agriculture de Bretagne, 2009).

Figure 2 : La station porcine de Guernévez

Cette station, créée en 1980, est implantée au lieu dit « Guernévez » dans la commune de Saint-Goazec (Finistère) et à proximité de la station laitière de Trévarez. Elle s'étend sur 3 ha.
L'élevage porcin qui se trouve sur le site compte 150 truies productives et leur suite. Tous les stades physiologiques de l'élevage sont représentés (verraterie, gestante, maternité, post-sevrage et engraissement) dans 35 types différents de bâtiments.

De plus, de par sa vocation de recherche, la station dispose :

- de 3 plateformes de compostage et de 4 silos couverts dont 2 avec un dispositif de ventilation forcée ;
- de 6 bâtiments sur caillebotis intégral sans stockage de lisier sous les animaux : systèmes dits « lisier frais » avec chasse d'eau ou raclage avec séparation de phases ;
- de systèmes de traitement innovants du liquide de chasse d'eau, soit par nitrification-dénitrification avec centrifugation et filtration membranaire soit par lombrifiltration et lagunage à macrophytes ;
- de différents bâtiments destinés aux truies gestantes élevées en groupes ;
- d'un analyseur de gaz en continu branché sur 8 bâtiments ;
- d'un laboratoire d'analyse chimique ;
- d'une unité de méthanisation ;
- d'un atelier ;
- d'un hall d'exposition temporaire composé de 18 stands aménagés ;
- d'un hall d'exposition sur les résultats d'essais ;
- d'une salle pédagogique ;
- d'un bâtiment administratif et d'un logement pour les stagiaires.

Il y a 9 personnes employées sur la station, ce qui représente 7 équivalents temps plein. L'équipe travaille en étroite collaboration avec des organismes de recherche tels l'INRA, le Centre national de la recherche scientifique (CNRS), l'Agence française de la sécurité sanitaire des aliments (AFSSA), l'Institut de recherche pour l'ingénierie de l'agriculture et de l'environnement (CEMAGREF), Anjou Recherche, les chambres d'agriculture de Bretagne.

Le dispositif expérimental qui nous intéresse dans ce rapport est celui basé sur l'utilisation de lisier frais, c'est-à-dire évacué régulièrement de la porcherie et qui permet de diminuer :

- la formation d'ammoniac de 50 à 70 % par rapport au lisier stocké, ce qui accroît la qualité des conditions de vie des animaux et les conditions de travail des hommes ;
- la survenue de problèmes sanitaires ;
- l'émission de gaz à effet de serre (méthane, protoxyde d'azote…) (Landrain *et al*., 2007).

Les deux principales techniques d'évacuation du lisier employées pour l'évacuation du lisier sont le raclage et la chasse d'eau. Toutes deux vont être présentées dans les paragraphes qui suivent et sont étudiées à la SPEG. Cependant, il est nécessaire de mettre l'accent sur le fait que ces techniques sont actuellement utilisées pour traiter le lisier d'un petit cheptel de porcs et ne sont, pour le moment, pas adaptées aux élevages intensifs.

2.2 Le raclage

L'évacuation mécanique du lisier sous les porcheries reprend principalement les techniques d'évacuations développées pour l'élevage bovin ou la cuniculture (Guivarch et Quillien, 2006 ; Oudart, 2009). Il existe deux types de raclage :

- Le raclage à plat : le couloir de raclage est placé horizontalement et le mélange d'urine et de fèces est évacué à une fréquence comprise entre 1 et 6 fois par jour (cf. figure 3).

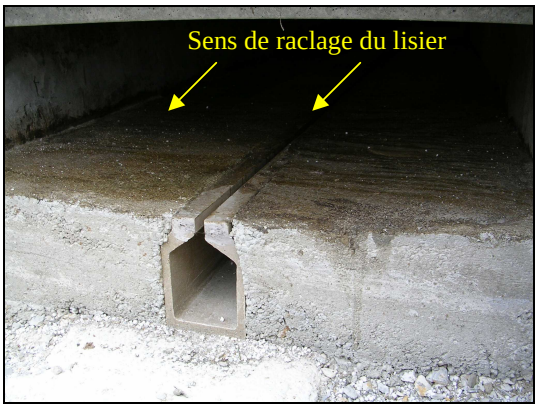


Figure 3 : Racleur à plat (Moäder, 2007)

- Le raclage en V : les racleurs en forme de *V* ont été développés afin de faciliter une séparation de phase solide/liquide directement sous le caillebotis. Les liquides s'écoulent le long de la pente et sont recueillis dans une gouttière située dans le fond du V (cf. figure 4).

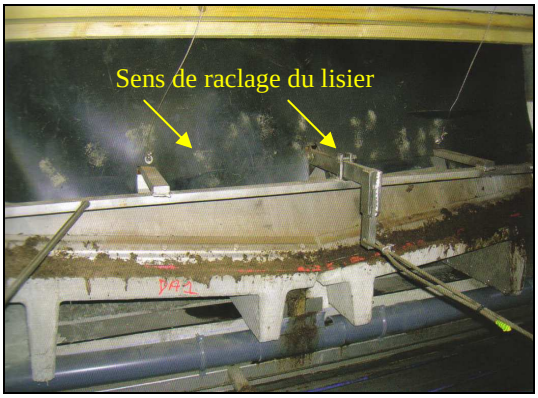


Figure 4 : Racleur en V (Moäder, 2007)

Ce système permet une séparation de phase directement sous les animaux (cf. figure 5)

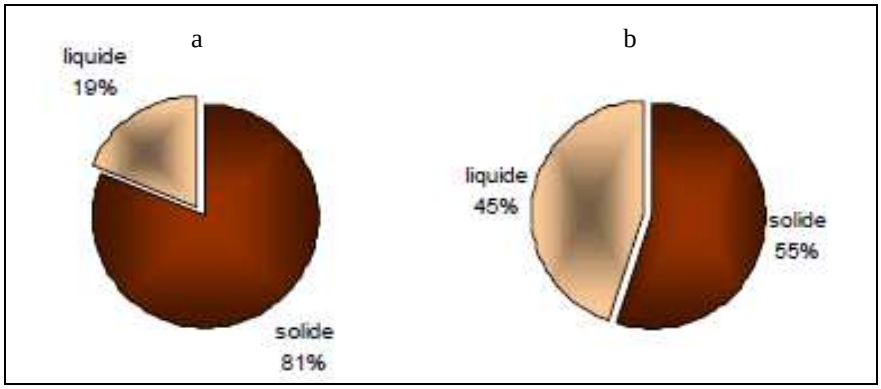


Figure 5 : Répartition du phosphore (a) et de l'azote (b) dans les phases liquide et solide du lisier frais après séparation par raclage avec un racleur en V (Guivarch et Quillien, 2006)

L'évacuation régulière des déjections des porcheries, associée à une séparation précoce de phases, limite la formation d'ammoniac dans le bâtiment. En se basant sur le rejet de 5 l de lisier par porc et par jour, Choi (2007) a montré que cet effluent contenait 100 g/l de DCO, 6 g/l d'azote et 2 g/l de phosphore. La séparation des fractions solide et liquide permet la diminution de ces concentrations dans l'effluent liquide : 10 à 20 g/l de DCO (80 à 90 % d'abattement), 4 g/l d'azote (34 % d'abattement) et 300 mg/l de phosphore (85 % d'abattement).

2.3 La chasse d'eau

L'évacuation hydraulique utilise la force d'un liquide pour évacuer hors du bâtiment le lisier frais. Le volume doit être suffisant pour permettre une vitesse d'écoulement en fond de fosse (0,8 à 1 m/s) qui aboutira à l'évacuation des déjections animales (Landrain, 2008). Environ 100 l de liquide sont nécessaires par animal et par jour. Une pente minimale de 1% permet d'éviter la stagnation sous les animaux et d'augmenter les surfaces en contact avec l'air.

La chasse peut se faire grâce à des augets basculants permettant une arrivée massive d'eau durant un court laps de temps (cf. figure 6). Le liquide utilisé peut être de l'eau, mais en pratique les volumes seraient beaucoup trop importants. On utilise donc un effluent traité issu du lisier.

Figure 6 : Système d'auget basculant permettant la chasse (Fievet, 2008)

Une fois le lisier évacué de la porcherie il peut être stocké, directement utilisé ou traité pour être réutilisé. Le système de lagunage qui va être présenté dans la partie suivante est une des voies de traitement permettant d'atteindre un niveau de qualité d'eau compatible avec l'envoi en chasse d'eau de l'effluent.

Les procédés utilisés à Guernévez vont maintenant être détaillés : tout d'abord la lombrifiltration puis la lagunage avec comparaison entre lagunes à microphytes, à macrophytes et filtres plantés verticaux et horizontaux.

3. Traitement et valorisation du lisier par lombrifiltration et lagunage

3.1 La lombrifiltration

Les travaux réalisés aux États-Unis à la fin des années 1970 ont montré l'intérêt d'utiliser les lombriciens (terme scientifique pour désigner certains vers de terre) dans le processus d'épuration et de stabilisation des eaux usées urbaines et industrielles. Les premiers travaux ont intéressé non pas le traitement des eaux mais le traitement des boues qui résultent de l'épuration des eaux. Il est néanmoins vraisemblable que les lombriciens interviennent dès l'étape d'oxydation biologique qui a lieu dans un filtre s'il est installé très en amont de la chaîne de traitement des eaux usées. L'introduction de la lombrifiltration selon ce principe a été expérimentée avec succès à Lufkin (Texas) et de façon plus ou moins rigoureuse en Inde (White, 1997, cité par Lay-Son Aguilera, 2003). Elle a été étudiée également à partir de 1992 par le département de biophysique de la faculté d'ingénierie et sciences de l'université du Chili et, d'une manière plus fondamentale, dans un laboratoire de l'INRA de Montpellier, dans la même décennie (Oudart, 2009).

3.1.1 Principe

La lombrifiltration consiste à utiliser des lombriciens sur un support organique arrosé par un liquide chargé de matières organiques afin de favoriser la digestion de ces dernières, tout en associant de manière simple une indication biologique de la stabilité du milieu et, *in fine*, du bon déroulement du procédé d'épuration. Concrètement, le lombrifiltre comporte un support et des lombriciens (*Eisenia andrei, Eisenia fetida* notamment).

3.1.2 Constitution du support

Le support est composé d'une base filtrante qui peut-être formée soit par :

- deux couches, la première de lombricompost et la deuxième de sciure,
- une seule couche correspondant à un mélange des deux matériaux,
- une couche de plaquettes forestières épaisse de 0,80 m environ sur laquelle on apporte initialement une litière (matière organique contenant une population abondante de vers de terre).

L'ensemble peut être posé sur un caillebotis qui laisse s'écouler les liquides qui auront traversé le substrat, comme c'est le cas à Guernévez (Landrain et al, 2007) (cf. figure 7). Le lombrifiltre doit être humide sans être saturé en eau ; il ne s'accommode pas des submersions qui font fuir les lombriciens. L'humidité résulte de l'aspersion d'un effluent et favorise la décomposition et la stabilisation de la matière organique de l'effluent par l'action des lombriciens et des micro-organismes présents dans le lombrifiltre.

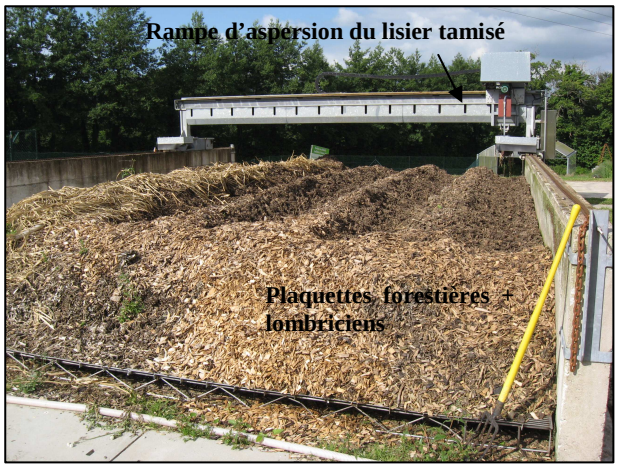


Figure 7 : Le lombrifiltre de Guernévez (Revaka, 2009)

Lay-Son Aguilera (2003) recense les principales fonctions pouvant être attribuées au lombrifiltre, à savoir :

- **la filtration** : la matière organique constituant le filtre est un ensemble d'éléments de taille très variables. Elle tend à se structurer d'une façon qui assure une filtration fine, mais les apports de particules et de molécules organiques par les déchets liquides tendent à colmater cette masse. Toutefois, grâce aux lombriciens qui consomment en permanence les apports organiques, à une partie de la couche active et au biofilm en développement, il y a une structuration à la fois des voies de passage de l'ordre de 1 mm de diamètre et des grumeaux organiques de 1 à 1,5 mm de diamètre. Ainsi, le lombrifiltre ne se colmate pas et sa perméabilité est entretenue par les lombriciens.
- **L'adsorption** : les constituants organiques du lombricompost lui confèrent des propriétés d'adsorption non négligeables (acides humiques, matières organiques libres ou plus ou moins évoluées) et variables au cours de l'humidification.

- **La décomposition** : l'action des micro-organismes et les actions digestives des lombriciens dans le lombricompost entraînent globalement une décomposition des composés organiques les plus divers et la transformation des molécules carbonées présentes.
- **Les réactions aérobies et anaérobies spécifiques** : le lombricompost est aussi un système redox complexe où coexistent à quelques micromètres de distance des conditions aérobies (oxygène présent) et anaérobies (carence d'oxygène). Cela tient à la structure triphasique du lombricompost : solide, liquide et gazeuse et à sa porosité, les vides étant alternativement remplis d'air et de liquide migrant gravitairement.

Ce processus permet d'obtenir, en plus de l'eau traitée, un fertilisant des sols (compost) formé principalement d'humus, très valorisable (utilisation en horticulture par exemple).

3.1.3 Les lombriciens

Les lombriciens réduisent et apportent au sol en profondeur les éléments présents en surface (végétaux morts…). D'autre part, ils remontent du sous-sol des oligo-éléments comme le fer, le soufre... mais ils ne touchent pas aux racines et aux plantes saines. Le ver avale la terre par un bout et la rejette par l'autre. Il digère ainsi la nourriture contenue dans la terre grâce à des enzymes que son tube digestif sécrète et rejette un tortillon de terre fine qui, en surface, forme un turricule .

Il existe, en France, 150 espèces de lombriciens et, dans le monde, 3 500 espèces (Arragon, 2005). Pour chaque groupe correspond un habitat : les anéciques, vers fouisseurs, font surface la nuit afin de traîner de la nourriture dans leurs galeries creusées dans les couches minérales profondes du sol ; les endogés sont également des vers fouisseurs, mais ils se nourrissent de la matière organique du sol et viennent rarement à la surface ; les épigés vivent dans des litières à la surface du sol et se nourrissent de la matière organique en décomposition. Ils forent très peu le sol et n'ont pas de trous permanents. Ce sont ces vers « décomposeurs », les seuls à même de coloniser un tel milieu, que l'on utilise dans le lombricompostage. Les espèces *Eisenia fetida* (ou vers de fumier), *Eisenia andrei* (ou vers rouges de Californie) et *Dendrobaena veneta* sont les plus couramment rencontrées.

3.2 Le lagunage

Le lagunage est un procédé d'épuration naturelle qui a pour principe d'utiliser la végétation aquatique comme agent épurateur des eaux polluées (Sevrin-Reyssac, 1995). L'épuration a lieu dans des bassins où les plantes aquatiques servent de support pour des bactéries assimilatrices d'éléments et oxygénatrices du milieu, assurant l'épuration efficace de l'eau qui traverse lentement les macrophytes installés. Les éléments nutritifs comme les nitrates sont aussi absorbés par les plantes. En sortie de lagunage, l'eau est de bonne qualité.

Au sens large, le lagunage est un système d'épuration des eaux usées consistant à faire passer l'eau dans des bassins successifs de dimensions variables, accueillant des végétaux divers, avec un temps de rétention suffisant dans chaque bassin allant jusqu'à plusieurs dizaines de jours (Reddy et Debusk, 1987). Au fur et à mesure que l'eau ou l'effluent à traiter circule de bassin en bassin, les nutriments sont assimilés ou éliminés, les matières en suspension sédimentent et la matière organique est dégradée par différents organismes vivants. Le lagunage peut donc être défini comme un agencement d'écosystèmes aquatiques. On peut considérer qu'il est constitué de bassins successifs, qu'ils soient marais, zone humide, lagunes à microphytes ou à macrophytes.
En effet, plusieurs sortes de bassins existent (Piétrasanta et Bondon, 1994) :

- les lagunes à microphytes, qui ne comprennent que des bassins profonds (plus d'un mètre) dans lesquels se développent des microalgues ;
- les lagunes à macrophytes, qui comportent uniquement des bassins peu profonds (0,30 à 0,60 m) permettant la croissance des végétaux ;

- les lagunes naturelles composites, où l'on trouve des bassins appartenant aux deux types de lagune précédents ;
- les lagunes aérées, composées d'une lagune d'aération dans laquelle se produit la dégradation de la matière organique, l'oxygène nécessaire étant apporté par aération de surface ou insufflation selon sa profondeur, et d'une ou deux lagunes de décantation à curer régulièrement ;
- les lagunes anaérobies, qui se composent également de plusieurs lagunes. La première est un bassin profond (> 4 m) où a lieu la dégradation de la matière organique dans la zone profonde privée d'oxygène, la zone de surface pouvant, elle, être aérée pour éviter les odeurs de fermentation, et la ou les suivantes où transitent ensuite les effluents ;
- les lagunes à haut rendement, dans lesquelles la production de microphytes est intensifiée par le passage de l'eau dans des bassins en forme de chenaux de faibles profondeurs (30-60 cm), où elle est homogénéisée grâce à une roue à aubes de façon à ce qu'ils puissent bénéficier tour à tour de suffisamment de lumière pour leur photosynthèse ;
- les filtres plantés de macrophytes, qui consistent à faire passer l'eau à travers un bassin garni de sable, gravier, ou galets et planté de végétaux hélophytes (dont l'appareil végétatif et reproducteur sont totalement aériens, mais qui gardent leurs appareils souterrains dans un substrat vaseux gorgé d'eau). Ces derniers sont récoltés régulièrement.

3.2.1 Les lagunes

Le système de lagunes présente des rôles distincts : un rôle épurateur (dénitrification et biodégradation des micropolluants), un rôle de tampon (interception et rétention temporaire du phosphore, des métaux, des pathogènes et des produits phytosanitaires) et un rôle de régulateur de débit (stockage) (Berland *et al.*, 2001).

C'est un long temps de séjour au fil du système qui permet l'épuration de l'eau. Le lagunage, quand il est constitué uniquement de lagunes, est en fait une succession de plusieurs bassins, généralement au nombre de 3, qui sont disposés en série. Le mécanisme sur lequel repose l'épuration naturelle est la photosynthèse. La lame d'eau supérieure des bassins est exposée à la lumière, ceci permettant aux algues (lagunes à microphytes) ou aux plantes (lagunes à macrophytes) de se développer et de produire l'oxygène nécessaire à la croissance et au maintien des bactéries aérobies. Ces dernières sont responsables de la dégradation de la matière organique et des micropolluants. Le dioxyde de carbone (CO_2) formé par les bactéries ainsi que les sels minéraux contenus dans l'effluent permettent aux algues ou aux végétaux de se multiplier. Il y a donc prolifération de deux populations indépendantes : les bactéries et les algues planctoniques ou les plantes aquatiques. Ce cycle s'entretient seul tant que le système reçoit de l'énergie solaire et de la matière organique. Il est de plus possible d'installer dans ces bassins des plantes aquatiques diverses et aux capacités épuratoires intéressantes qui seront décrites plus loin.

La lumière ne pouvant pas atteindre le fond du bassin, ce sont les bactéries anaérobies qui dégradent les sédiments issus de la décantation de la matière organique. Il y a de ce fait un dégagement de gaz carbonique et de méthane qui se produit à ce niveau (cf. figure 8). C'est aussi grâce à cette zone que la lagune joue son rôle de tampon car le phosphore, les pesticides et les autres molécules indésirables dans l'eau sédimentent et sont retrouvés dans les boues.

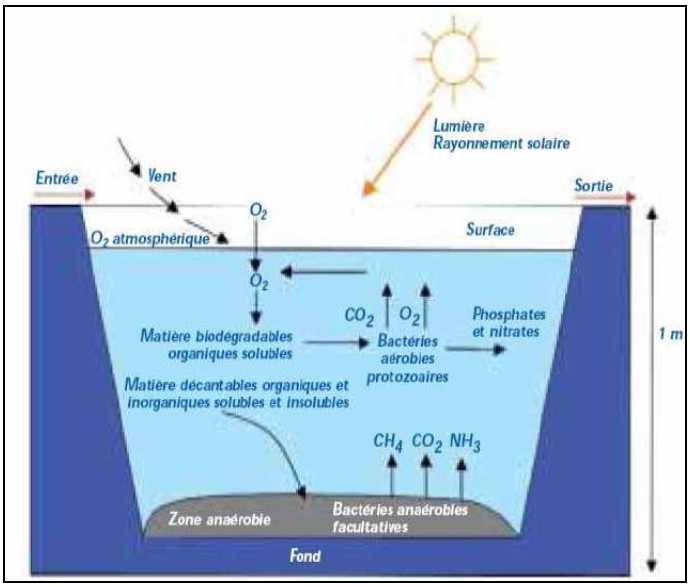


Figure 8 : Mécanismes ayant lieu dans les lagunes (Berland et al, 2001)

3.2.2 Les lagunes à microphytes

3.2.2.1 Description

Dans les lagunes à microphytes, l'effluent est traité essentiellement par des microorganismes (bactéries, microalgues). C'est le système le plus conventionnel. Il comprend plusieurs lagunes, en série ou en parallèle, aérobies ou anaérobies. Dans le cas du traitement de lisier, une lagune anaérobie est en principe utilisée en prétraitement car la concentration initiale est environ 100 fois plus élevée que pour des eaux usées résiduaires (Chartier, 2005).

3.2.2.2 Performances attendues

Dans les lagunes à microphytes la désinfection est importante, particulièrement en été. Cette performance est liée au long temps de séjour de l'effluent, à la compétition biologique et aux ultraviolets solaires (Berland *et al.*, 2001). L'abattement du phosphore est important les premières années ($\geq$ 60 %), puis diminue pour atteindre un rendement nul au bout de 20 ans environ. Cette baisse est due à un relargage du phosphore depuis la vase du fond. Les conditions initiales seront restaurées par le curage des bassins. Lorsque le milieu est sensible au phosphore, le curage doit avoir lieu au terme d'un délai plus court que les 10-12 ans généralement estimés et sur l'ensemble des lagunes (Berland *et al.*, 2001).

De manière générale, pour l'épuration du phosphore et des métaux, il est préférable d'utiliser un système qui optimise l'assimilation par les plantes (Stowell *et al.* 1981 ; Reddy et Sutton, 1984 ; Tchobanoglous, 1987).

3.2.3 Les lagunes à macrophytes

3.2.3.1 Description

Le fonctionnement des lagunes à macrophytes obéit au même principe général que celui des lagunes à microphytes : l'oxygénation est assurée par les plantes et la dégradation de la matière organique par les bactéries, qui profitent de l'oxygène ainsi apporté.

Dans ce type de lagunes, les macrophytes ont un rôle capital de finition de l'autoépuration. En effet, les bactéries libèrent des éléments minéraux et, bien qu'une partie de ceux-ci soit prélevée par les

micro-organismes, ces derniers meurent ce qui remet les minéraux en solution, après action bactérienne éventuelle. L'autoépuration n'a donc pas lieu. C'est à ce moment-là que les végétaux de grande taille interviennent. Comme ces derniers ont besoin de nutriments pour leur propre croissance, ils vont les retirer de l'eau. Les éléments se retrouveront alors dans leurs feuilles et leurs tiges. Si celles-ci sont coupées, enlevées et emmenées à l'extérieur de la lagune, ils sont éliminés. Il en est de même des oligo-éléments présents, qui peuvent, suivant les plantes, être particulièrement concentrés (Vivier, 1994).

Les plantes ont, de plus, des rôles secondaires extrêmement importants. Sur les parties immergées (racines, tiges, feuilles) se développent de multiples micro-organismes fixés qui participent activement au recyclage des composés dissous ; les racines et tiges développent, en effet, une surface considérable qui permet leur implantation et leur multiplication (Vivier, 1994). En outre, les macrophytes évitent le colmatage des filtres grâce à la croissance des rhizomes (même en hiver), au balancement des tiges et également à l'eau qui peut percoler autour de leurs tiges et ainsi s'infiltrer dans le substrat (Rivière, 2001). De même, les racines des macrophytes qui poussent dans le substrat provoquent une aération mécanique et dégagent de l'oxygène en profondeur. Elles sécrètent également des acides organiques permettant ainsi le développement des bactéries dans la rhizosphère (on parle « d'effet rhizosphère ») (Lamy et Moreau, 2005).

3.2.3.2 Plantes utilisées

Généralement, les plantes utilisées dans les systèmes de lagunage doivent réunir certaines caractéristiques afin d'avoir une bonne capacité épuratoire (Triponel, 2007) :

- forte activité photosynthétique,
- bonne capacité d'assimilation et de filtration,
- croissance sur une grande période de l'année,
- réseau développé de racines,
- croissance rapide,
- bonne adaptation à la charge en nutriments dans le bassin,
- faible besoin d'entretien,
- bonne vivacité.

Aucune plante ne réunit l'intégralité de ces caractéristiques, c'est pourquoi il est nécessaire de varier les plantes utilisées et de les rendre complémentaires pour maximiser le processus épuratoire.

Les macrophytes immergés qui tolèrent les eaux riches en nutriments sont par exemple : *Potamogeton berchtoldii, P. filiformis, P. pectinarepens, P. zosterformis, Ceratophyllum demersum, Elodea canadensis, Ludwigia repens* et *Najas marina*. Gray (2004) indique que ces plantes se développent bien durant l'été mais meurent en hiver. Néanmoins Hamon *et al.* (2006) ont observé que l'élodée (*Elodea canadensis*) poussait en hiver et que sa croissance s'arrêtait en été. Les caractéristiques des plantes pouvant être utilisées sur les lagunes sont présentées en annexe 1.

Les macrophytes flottants transfèrent l'oxygène atmosphérique et assimilent les nutriments de l'eau. On peut citer par exemple : *Eichornia crassipes, Pistia stratiotes, Spirodela spp., Lemna spp., Wolffia spp., Wolffiella spp., Salvernia spp., Azolla spp.* Mais la couche dense des feuilles flottantes réduit la diffusion de l'oxygène atmosphérique, pouvant rendre un tel système pauvre en oxygène.

3.2.3.3 Performances attendues

Les lagunes à macrophytes sont efficaces pour réduire les solides en suspension, la DBO et l'azote notamment (Boyd, 1969).

3.2.3.4 Comparaison des systèmes

Bien que les lagunes à microphytes soient très efficaces (colonisation rapide des bassins et sans intervention particulière), elles présentent tout de même quelques inconvénients de mise en place et d'utilisation. Les lagunes à macrophytes permettent un mode d'épuration des eaux efficace, peu coûteux (Reddy and DeBusk, 1987) et s'inscrivant dans une démarche écologique (Wolverton and McDonald, 1983). Les avantages des lagunes à macrophytes par rapport aux lagunes à microphytes sont les suivants (Triponel, 2007) :

- Stabilité du matériel végétal : pas de modification brusque des espèces, plus grande tolérance aux changements de composition de l'eau et du climat.
- Sédimentation : elle est favorisée par la présence des feuilles et des tiges à la surface et au dessus de la surface de l'eau, qui réduisent l'effet du vent.
- Filtration et activité bactérienne : les racines et les tiges des plantes dans la colonne d'eau créent un encombrement du milieu aquatique et agissent comme des filtres qui adsorbent les solides en suspension. Elles servent également de support à une grande quantité de bactéries, qui dégradent la matière adsorbée, ainsi qu'au périphyton (ensemble des algues, généralement microscopiques, qui vivent dans l'eau accrochées à une partie de la plante, qui leur sert de support).
- Absorption des nutriments par les plantes et faucardage ou récolte : les plantes supérieures présentent la capacité de stocker les nutriments qu'elles absorbent dans leur biomasse. Ainsi, ces nutriments peuvent être exportés par simple faucardage ou récolte. S'il n'y a pas exportation de la biomasse, les tissus, en mourant, risquent de libérer des nutriments dans l'eau. De plus, la récolte permet toujours d'avoir une croissance importante des plantes et donc une assimilation des nutriments plus importante.
- Valorisation possible des plantes (paragraphe 3.2.9).
- Réduction de la surface de traitement.
- Amélioration de la qualité de l'eau car les macrophytes créent de l'ombre, réduisent la densité des algues, et augmentent la transparence de l'eau (Jiang et Xinyuan, 1997).

Des paramètres de la qualité de l'eau tels que DCO, DBO_5, MES montrent de grandes différences selon que l'épuration soit réalisée avec ou sans macrophytes (Tableau 1).

Elément	Zone à macrophytes (mg L^{-1})	Taux de réduction (%)	Zone sans macrophytes (mg L^{-1})	Taux de réduction (%)
NT	1.46 ± 0.35	73.25	22.6 ± 0.47	58.46
PT	0.15 ± 0 .024	62.52	0.23 ± 0.09	44.02
DCO	22.07 ± 2.26	44.29	31.38 ± 7.43	20.79
DBO_5	3.43 ± 0.21	53.59	3.84 ± 1.23	20.97
MES	14.47 ± 5.89	75.05	26.4 ± 8.94	70.69

Tableau 1 : Comparaison entre l'épuration effectué avec ou sans macrophytes dans un lac à Beijing (Chine) de 14 000m^2 et de 2 m de profondeur avec huit espèces de macrophytes (Jiang et Xinyuan, 1997)

De plus, les lagunes à macrophytes diffèrent de celles à microphytes par une plus faible profondeur d'eau et par le fait que les macrophytes doivent être collectées régulièrement (fort taux de croissance des lentilles ou des jacinthes d'eau par exemple) (Guy, 1996). Cette différence, pouvant être ressentie comme une contrainte, peut entraîner un choix vers un système de lagunes à microphytes ou de filtres plantés. Ces derniers vont maintenant être présentés dans les paragraphes suivants.

3.2.4 Les filtres plantés

Dans les filtres plantés de macrophytes, l'épuration est réalisée selon le principe de l'épuration biologique dans des conditions aérobies et dans des milieux granulaires fins à grossiers. En effet, les filtres sont construits par excavation de terre ensuite remplacée par un support fin (gravier fin ou grossier). Il n'y a pas de renouvellement régulier du massif filtrant et l'évacuation des boues

biologiques est réalisée tous les 10 à 15 ans. Les deux principaux mécanismes ayant lieu au sein des filtres plantés sont (Berland *et al*., 2001 ; Lamy et Moreau, 2005) :
– une filtration superficielle, les MES sont arrêtées à la surface du filtre ainsi qu'une partie de la pollution organique,
– l'oxydation, car le milieu granulaire constitue un véritable réacteur biologique. C'est un support de grande surface spécifique, sur lequel se fixent et se développent les bactéries aérobies responsables de l'oxydation de la pollution dissoute (DCO dissoute, azote organique et ammoniacal).

Il existe deux types de filtres plantés, dont la description sera faite par la suite, qui sont différenciés par le mode d'écoulement de l'eau :
- les filtres à écoulement vertical,
- les filtres à écoulement horizontal.
Les stations à filtres plantés sont en général un assemblage de filtres en parallèle et/ou en série et peuvent combiner les différentes méthodes de filtration.

3.2.5 Les filtres verticaux

3.2.5.1 Description

Il s'agit du procédé extensif le plus utilisé actuellement en France car il accepte les effluents bruts sans phase de décantation. Les filtres à écoulement vertical sont alimentés en surface et l'effluent percole verticalement à travers le substrat (cf. figure 9). La première étape est donc une étape de filtration de l'effluent reçu. Il y a une rétention physique des matières en suspension à la surface des filtres du premier étage. On observe ainsi une accumulation des boues en surface, qui sont minéralisées pendant les périodes de repos du système.

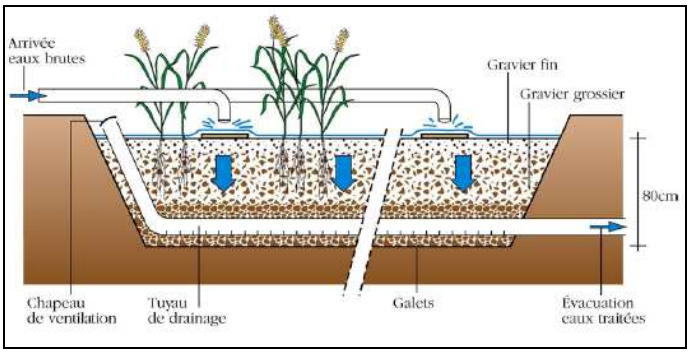


Figure 9 : Schéma d'un filtre à écoulement vertical (Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse, groupe macrophytes et traitement des eaux, 2003)

Les stations d'épuration à filtres plantés à flux vertical sont souvent constituées au minimum de deux étages en série eux-mêmes constitués de deux ou trois filtres en parallèle fonctionnant en alternance. Le but de ce dispositif est d'assurer des phases de repos aux filtres. En effet, la dégradation biologique des matières dissoutes est réalisée par la biomasse bactérienne aérobie fixée sur le support (en général su sable) qui ne doit pas être saturé. Il est donc important que les filtres ne soient pas noyés, d'où une alimentation du système qui se fait par bâchée sur un système poreux et la mise en place de phases de non alimentation. La hauteur d'eau par bâchée est de 1 à 5 cm, avec une hauteur d'eau totale de 0,9 m/j sur le filtre alimenté pour 300 g DCO/m²/j de charge organique.

Toutes ces précautions permettent de garantir une bonne oxygénation du filtre. Pour des questions de capacité d'oxygénation, les filtres du premier étage contribuent essentiellement à la dégradation de la fraction carbonée, mais un début de nitrification est également noté. Le deuxième étage vient alors affiner la dégradation de la fraction carbonée et complète la nitrification en fonction des conditions d'oxygénation, de la température et du pH.

La déphosphatation n'est pas un objectif atteignable du fait des faibles capacités d'adsorption des matériaux essentiellement siliceux et de l'assimilation négligeable des plantes, au regard des charges appliquées.

3.2.5.2 Performances attendues

Les filtres plantés verticaux permettent un abattement de la DCO généralement de 60 à 80 %, mais cela serait principalement dû à un processus physique et dans une moindre mesure à des processus biologiques induits par les plantes. Néanmoins cette explication est controversée et dépendrait de la forme sous laquelle se trouve la DCO dans l'effluent (particulaire par exemple) (Wang *et al*., 2009). Concernant la matière sèche, les filtres plantés verticaux permettent un abattement de 79 % (Levasseur *et al*., 2000).

D'autre part, les filtres plantés verticaux permettent un abattement de l'ordre de 80 % de l'azote total contenu dans le lisier (Levasseur et al, 2000). D'un côté les plantes permettent de fixer l'azote grâce à leur métabolisme et d'autre part, le système racinaire permet la stimulation de l'activité microbienne (Wang et al, 2009). Enfin, la nitrification est plus grande dans ce système que dans les filtres horizontaux mais la dénitrification est faible.

Les performances moyennes de ce système pour le traitement des eaux usées urbaines sont résumées dans le tableau 2.

Qualité du rejet	DCO	MES	NK
Concentration (mg/l)	<80	<20	<18
Rendement (%)	>88	>93	>80

Tableau 2: Performances épuratoires d'une filière lit planté à écoulement vertical (Boutin *et al*., 2000)

3.2.6 Les filtres horizontaux

3.2.6.1 Description

Ce système de filtration est moins répandu que le précédent. En effet, sa sensibilité plus grande au colmatage que les filtres verticaux oblige un apport d'eau préalablement décantée donc pauvre en charge organique.

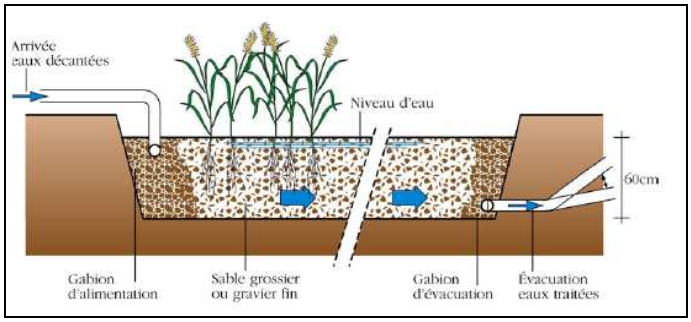


Figure 10 : Schéma d'un filtre à écoulement horizontal (Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse, groupe macrophytes et traitement des eaux, 2003)

Comme dans le procédé précédent, la dégradation des matières dissoutes a également lieu dans le massif de filtration par la biomasse bactérienne fixée sur le support mais les bassins sont continuellement en eaux et ne nécessitent pas d'alimentation par bâchées (cf. figure 10). L'effluent est réparti sur toute la largeur et la profondeur du filtre grâce à un répartiteur, l'écoulement se fait alors horizontalement par effet piston. Le niveau d'eau est généralement maintenu à environ 5 cm au dessous du niveau de gravier et un système de drain permet l'évacuation des eaux. Le filtre est donc quasi saturé sans présenter de surface d'eau libre pour éviter un développement d'insectes. Le matériau utilisé va du gravier de 4 à 8 mm de granulométrie au gravier de 1 à 4 mm de granulométrie en fonction du prétraitement. Le filtre peut se colmater en cas de trop forte charge en MO ou MES.

Les conditions saturées en eau favorisent l'anoxie en partie inférieure du filtre. Seule la partie supérieure insaturée et oxygénée par les racines des plantes est en aérobiose. L'oxygénation se fait principalement par convexion et reste faible par rapport à la demande. Ainsi la pénurie en oxygène limite la dégradation de la pollution carbonée et azotée, et par voie de conséquence, la croissance de populations bactériennes hétérotrophes et autotrophes. Ainsi les filtres plantés à écoulement horizontaux ne sont pas adaptés aux effluents trop chargés et nécessitent un prétraitement (décanteur digesteur, dégrilleur). Cependant, placé après un filtre vertical ou une lagune ils peuvent s'avérer être un bon complément pour permettre une dénitrification partielle s'il y a recirculation d'eau.

3.2.6.2 Performances attendues

D'une manière générale, en traitement secondaire, la nitrification est limitée mais la dénitrification est très bonne. Les rendements sur le phosphore sont dépendants du type de sol utilisé, mais restent relativement faibles (Berland *et al*., 2001).

3.2.6.3 Les plantes utilisées pour les filtres

Les hélophytes sont très utilisés pour le traitement des eaux. Ces végétaux sont enracinés dans un sol submergé et développent un appareil végétatif aérien. Les espèces émergentes sont en générales robustes et résistantes aux parasites et aux maladies. Elles tolèrent les températures froides voire négatives (Triponel, 2007).

Les plantes hélophytes très souvent utilisées dans le traitement des eaux sont : *Scirpus lacustris, S. acutus, S. validus, Phragmites communis, P. australis, Iris pseudacorus.*

D'après Levasseur *et al.* (2000), dans les filtres plantés verticaux alimentés par du lisier, les plantes semi aquatiques telles *Phalaris arundinacea*, *Phragmites australis* et *Typha* se sont bien adaptées aux conditions. D'autre part, dans les filtres plantés verticaux, les filtres plantés avec *Phragmites australis* ou *Typha latifolia* ont montré une performance épuratoire meilleure sur le paramètre azote total que ceux plantés avec *Iris pseudacorus* (Wang *et al*., 2009). Par ailleurs, d'après ces auteurs, les filtres verticaux plantés avec *Phragmites australis* montrent une réduction du volume d'eau sortant plus forte que ceux plantés avec *Typha latifolia* ou ceux plantés avec *Iris pseudacorus* qui présentent la plus faible diminution : plus grande est la biomasse foliaire (*Phragmites australis*), meilleure est l'évapotranspiration (elle dépend fortement du climat et est comprise entre 3 et 20 mm/j et jusqu'à 57 mm/j dans les régions méditerranéennes).

3.2.7 Les systèmes combinés

3.2.7.1 Description

L'association de plusieurs systèmes est parfois mise en œuvre pour permettre d'adapter le traitement à un but spécifique (qualité du rejet, intégration des eaux de pluie…). En traitement principal, les expériences sont encore très peu nombreuses et leurs performances réelles difficiles à évaluer (Radoux *et al*., 2000).

L'usage de filtres verticaux et horizontaux en série semble être une solution intéressante pour permettre un traitement plus poussé de l'azote et du phosphore selon le type de support utilisé (Cooper et Griffin, 1999). Un premier étage de filtres verticaux permet une bonne réduction des MES, de la DBO_5, ainsi qu'une nitrification presque complète. Un second étage de filtres horizontaux affine le traitement sur les MES et la DBO_5, et permet une dénitrification ainsi qu'une adsorption du phosphore si le support choisi comporte de bonnes caractéristiques.

Des configurations plus complexes sont souvent utilisées pour affiner des traitements secondaires ou tertiaires. Après des traitements de type lagune aérée ou lagunage conventionnel, des lagunes à

macrophytes émergentes permettraient de s'affranchir du risque de rejets temporaires de qualité médiocre. On peut adjoindre à un lagunage à microphytes un lagunage à macrophytes qui collectés peuvent servir à la fabrication de compost ou d'aliments pour le bétail (Guy, 1996).

Les filtres plantés peuvent ainsi compléter d'autres systèmes. Ils peuvent servir à compléter une station ou un lagunage (en amont ou en aval) dont l'efficacité ne serait pas ou plus suffisante. Ils peuvent également servir à l'extension d'une station si l'apport en eaux usées augmente. De plus, dans le cas où l'épuration ne serait pas suffisante à la sortie des filtres, il peut être mis en place un troisième étage de filtres (souvent horizontaux) ou un lagunage améliorant les performances épuratoires. La présence d'un lagunage en traitement final permet de fortement diminuer la population bactérienne pathogène et la concentration en nitrates, ce qui est parfois nécessaire (Lamy et Moreau, 2005). Il est possible de mettre en association le lagunage et les filtres plantés.

3.2.7.2 Performances

Tous les procédés de traitement biologique basés sur la nitrification-dénitrification permettent d'obtenir un abattement de l'ordre de 70 à 75 % de l'azote total du lisier (Lavasseur *et al*., 2000). Ceci dit, Cronk (1996) a mis en évidence un abattement de l'azote total dans le lisier de l'ordre de 93 % grâce aux zones humides artificielles. Comme les transformations de l'azote sont basées sur des processus microbiens, l'abattement de l'azote est meilleur durant la saison de croissance des plantes et lorsque la température stimule la croissance des micro-organismes. De plus, les plantes fixent l'azote dans leurs tissus uniquement durant la saison de croissance et pour maximiser l'abattement de l'azote il est intéressant d'avoir des successions de « puits » dans lesquelles sont mis en place différents procédés (filtres plantés, lagunes à macrophytes et microphytes…) (Cronk, 1996). Par ailleurs, l'efficacité de l'abattement de l'azote dépend généralement de l'apport de carbone disponible pour la dénitrification (Choi, 2007). La production de nitrites est également influencée par plusieurs facteurs tels que le pH, la température et l'oxygène dissous. Il semblerait d'après Tao et Wang (2009) que l'absorption de l'azote par les plantes participe directement peu à l'abattement de l'azote, comparativement aux micro-organismes responsables de la conversion de cet élément. Néanmoins, le nombre de bactéries dénitrifiantes est lié à l'accumulation de déchets végétaux au fil du temps (Mustafa *et al*., 2009).

Dans un exemple d'association de filtres plantés et de lagunes pour épurer plus de 300 EH à Aix-les-Bains (France), l'eau à traiter passe d'abord par des filtres plantés verticaux de roseaux (dimension : 4 x 17 m^2) puis dans une lagune de 2100 m^2 (profondeur de 0,8 à 1,3 m) et enfin par une infiltration-percolation (CEMAGREF, 2006). Pour l'étage de filtration, la période d'alimentation par rapport au repos est de 3,5 / 7 jours et le dimensionnement est de 1 m^2 / EH. A la sortie, la nitrification est quasi totale. Les résultats sur l'abattement de la DCO, des MES, du N et du K en fonction des différents essais sont présentés en figure 11.

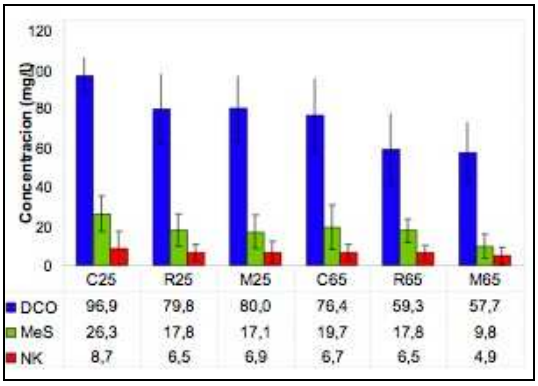


Figure 11 : Abattement de DCO, MES et NK par association de lagune et filtres plantés avec 6 filtres différents. C : concassé, R : roulé, M : matériau avec deux hauteurs de matériaux de 25 et 65 cm (CEMAGREF, 2006)

D'après l'étude bibliographique réalisé par Cronk (1996), les zones humides artificielles permettrait un abattement de 90 % des MES dans le lisier. Ceci dit, les filtres plantés verticaux à eux seuls, permettraient d'extraire plus de 98 % des matières en suspension contenues dans l'effluent (Wang *et al*., 2009).

Les zones humides artificielles permettent également d'abattre 75 % du phosphore contenu dans le lisier (Cronk, 1996) et les filtres plantés verticaux seuls permettraient la rétention de 86 % du phosphore. Sur la base d'un débit d'alimentation du filtre planté de 50 kg de MS/m²/an, la quantité de phosphates retenue serait de 3,7 kg/m²/an (Levasseur *et al*., 2000). Concernant cet élément, l'adsorption est le principal mécanisme de réduction du phosphore dans les zones humides artificielles. Celle-ci est efficace dans des conditions aérobies et est positivement corrélée à la concentration d'aluminium dans le substrat (Cronk, 1996). De plus, le phosphore pourrait être lié à la matière en suspension puisque leurs abattements sont similaires dans l'eau entrante (Mustafa *et al*., 2009). Enfin, le compartiment où le stockage du phosphore est le plus long est le sol (Mustafa *et al*., 2009).

Concernant les coliformes totaux ou fécaux, qui sont généralement les seuls indicateurs de pathogènes mesurés dans les zones humides artificielles traitant les eaux usées, la population de coliformes est réduite dans ces constructions pour plusieurs raisons : l'expositions aux rayons du soleil, la prédation, la compétition pour la ressource et les toxines. De plus, ces micro-organismes peuvent être enfouis dans les sédiments ou adsorbés. Dans le cas du traitement des eaux usées urbaines, un abattement de 90 à 99 % des indicateurs bactériens et viraux est constaté grâce à ce procédé (Berland et al, 2001).

Enfin, des petites quantités de N_2O, gaz à effet de serre et à la capacité destructrice de créer de l'ozone dans la stratosphère, sont continuellement relarguées par les systèmes de filtres plantés (Fey et al, 1999). La plus grande part d'émission de N_2O se fait dans le centre du filtre tandis que les concentrations en N_2O, NH_4^+, NO_2^- et NO_3^- augmentent près des bords. La quantité de N_2O retenue dans le sol de la surface du filtre est trois fois plus grande que celle retenue dans le sol du fond du dispositif. Une corrélation positive existe entre les émissions de N_2O, la quantité de N_2O retenue, la température du sol et les concentrations en nitrates. De plus, une corrélation négative significative existe entre les émissions de N_2O et la concentration en ammoniac. La nitrification semble être la source majeure d'émission de N_2O. Dans l'étude considérée, la perte gazeuse de N_2O comparée à l'apport initial d'azote sur le filtre représente 0,11 %.

3.2.8 Comparaison des différents systèmes

Voici réunies dans le tableau 3 les avantages et inconvénients des systèmes présentés dans les paragraphes précédents.

Filières	Avantages	Inconvénients
Lagunes	- Exploitation simplifiée (faible dépense d'énergie et main d'œuvre réduite) - Construction aisée - Supporte les variations de charges hydrauliques importantes - Bonne élimination de N (70 %) et de P (60 %) - Bonne qualité bactériologique de l'effluent	- Sensibilité aux effluents septique et concentrés (limite à 300mg/l de DBO_5) - Impossibilité de traiter des eaux brutes - Risque d'odeur en cas de dysfonctionnement - Qualité des rejets variable (présence d'algues en suspension pour le système à microphytes) - Entretien lourd et irrégulier (vidange des boues) - Emprise au sol importante - Mauvaise maîtrise des processus de traitement - Développement possible de moustiques

Filtre planté vertical	- Bonnes performances épuratoires sur les paramètres particulaires, carbonés et azotés - Importante élimination de l'azote par nitrification - Possibilité de traiter les eaux brutes sans prétraitement - Maintien de la perméabilité par les roseaux - Gestion facilitée des boues - Absence d'odeur - Bonne adaptation aux variations saisonnières - Faibles contraintes et coûts d'exploitation	- Peu adapté aux surcharges hydrauliques des réseaux unitaires - Limitation de l'abattement de l'azote total par l'absence de dénitrification et faible abattement du phosphore - Manque de retour sur la reprise des roseaux après évacuation des boues - Nécessité de l'alternance de l'alimentation 2 fois par semaine. - Faucardage annuel - Poste de relevage si dénivelé insuffisant - Peu de recul sur le procédé
Filtre planté horizontal	- Possibilité de dénitrification en cas de recirculation des eaux traitées - Faibles contraintes et faible coût d'exploitation	- Nécessité d'un prétraitement - Performances à démontrer - Peu de recul sur le procédé

Tableau 3 : Récapitulatif des avantages et inconvénients de trois systèmes extensifs de traitement des eaux usées (Fievet, 2008)

3.2.9 Valorisation des plantes

La productivité de la biomasse aquatique est 3,7 fois plus importante que la productivité des plantes cultivées (Lakshman, 1987). Leur valorisation est donc un atout majeur car la biomasse permet de nombreuses utilisations, de celle de la plante entière comme matériau à celle de différentes molécules à valorisations spécifiques. Les systèmes à plantes aquatiques peuvent produire des protéines et fibres pour l'alimentation animale, de la cellulose et de l'amidon pour la production d'éthanol et du carbone pour la combustion (Lakshman, 1987).

Les utilisations possibles des plantes aquatiques sont susceptibles de rapporter, suivant le végétal et la filière concernés, de 0,30 à 2,30 euros par kg (Anonyme, 1984). A défaut d'un rapport financier, la valorisation des plantes reste néanmoins possible.

Les plantes hélophytes ont vocation à être matériaux d'isolation, de construction, de vannerie, de litière et de fourrage pour les animaux ou de combustible pour le chauffage. Les plantes flottantes ont plutôt vocation à être utilisées par voie humide. De plus, les plantes peuvent se développer dans des zones où les forêts sont absentes ce qui est un aspect important pour la valorisation (Lakshman, 1987).

Différentes voies de valorisation existent. La présentation suivante est extraite du mémoire de Triponel (2007).

3.2.9.1 Valorisation industrielle et pharmaceutique

Les plantes aquatiques produisent un grand nombre d'alcaloïdes qui confèrent une large variété de propriétés intéressantes comme agents antibactériens, antiviraux et antifongiques (Van Allen et al, 1985 ; Cutler, 1985 ; Anderson, 1985). De ce fait, une valorisation pharmaceutique peut être envisagée pour certaines espèces comme *Juncus roemerianus*, *Spartina cynosuroides* et *Scirpus americanus* (Lakshman, 1987). En effet, l'étude de *Juncus roemerianus* a permis l'isolation d'un inhibiteur tumoral nommé juncusol.

Concernant les jacinthes d'eau, leur teneurs globales importantes en protéines et en acides aminés essentiels permet de les valoriser par des usages industriels : lubrification, saponification, extraction de

phospholipides, estérification pour obtention de carburants liquides légers. La jacinthe d'eau peut également être utilisée en cosmétique. L'acide ellagique est un tanin entrant dans la composition d'agents cosmétiques pour le traitement des irritations de la peau par les métaux lourds. Pour une quantité de 700 g de broyat de jacinthes d'eau obtenus par centrifugation et après des étapes de filtration et lyophilisation 5,4 g de lyophilisat entrent dans la composition du produit final. Il agit comme piégeur des métaux lourds. L'acide ellagique peut également entrer dans la composition d'agents cosmétiques afin de stabiliser l'acide ascorbique (vitamine C). Il agit alors ici comme piégeur des composés aromatiques.

3.2.9.2 Valorisation alimentaire

Les plantes aquatiques poussant dans des eaux chargées ont des taux de protéines et de matière organique digérable élevés qui sont des constituants importants pour une bonne alimentation animale (Lakshman, 1987). Une valorisation alimentaire semble donc réalisable pour certaines espèces.

Les glycéries, par exemple, peuvent être utilisées comme fourrage, les lentilles et les jacinthes d'eau, lavées, peuvent être utilisées pour l'alimentation des porcs, des canards et de certains poissons comme les carpes chinoises.

L'azolla est riche en acides aminés essentiels, vitamines (vitamine A, vitamine B12 et bêta-carotène), en intermédiaires et minéraux facteurs de croissance tels que le calcium, le phosphore, le potassium, le fer, le cuivre, le magnésium, etc. Sur une base en poids sec, elle contient 25 à 35 % de protéines, 10 à 15 % de minéraux et 7 à 10 % d'acides aminés, des substances bio-actives et des bio-polymères. La teneur en hydrates de carbone et en graisses de l'azolla est très basse. Sa composition nutritive en fait une nourriture très énergique pour le bétail qui la digère facilement, grâce à sa forte teneur en protéine et à sa faible teneur en lignine. En plus, il est facile et économique de la cultiver.

Si l'azolla présente de bonnes caractéristiques nutritives, l'obstacle principal sera le coût de la récolte, du séchage et du traitement (FAO, 2009).

Des tests en laboratoire ont démontré que près de 80 % des rhizomes de *Typha latifolia* peuvent être converti en sucres fermentés (Dyck et Ladisch, 1979 ; Gabrielson, 1981 ; Glass, 1980 ; Ladenburg, 1981). Néanmoins, en dehors des remises en état générales, seule la partie aérienne est récoltée.

Une alimentation animale optimale peut contenir jusqu'à 50 % de *Typha latifolia* (Mir et Lakshman, 1986). De plus, les extraits du pollen de *Typha latifolia* ont des effets anticoagulants significatifs sur le plasma humain. Les polysaccharides du pollen inhibent le taux de décharge des fibrino-peptides et l'agrégation des fibres monomères (Gibbs *et al.*, 1983). Il en est de même pour *Nuphar, Sagitarria, Carex, Mryriophyllum* et *Nymphea* (Su et Staba, 1973). De plus, 400 à 850 litres d'huile peuvent être produits par hectare de *Typha latifolia* (Lakshman, 1987).

La jacinthe d'eau produit des quantités importantes de biomasse quand elle est cultivée dans un environnement tiède et riche en nutriments. Cette plante, récoltée facilement contient des minéraux et des protéines permettant son utilisation dans la nourriture animale (Wolverton et McDonald, 1981 et 1983). Les bovins acceptent dans leur alimentation jusqu'à 30 % de jacinthes ensilés sans que cela ne provoque de disfonctionnements de développement (Baldwin et al, 1974). D'autres études ont été menées sur l'alimentation du bétail par la jacinthe d'eau. La jacinthe d'eau contient sur une base sèche entre 12 et 35 % de protéine (Ahmad, 1977; Lareo et Bressani, 1982) et renferme un niveau de facteurs antiphysiologiques (tanins) très bas ou presque inexistant (Lareo et Bressani, 1982). Des essais d'alimentation en complément alimentaire sur des veaux ont été faits. L'ensilage comprenant jusqu'à 65 % de matière sèche a été donné au bétail pendant 21 jours. Ils ne présentaient pas de problème à la fin de l'expérience. L'apport en protéine était suffisant, mais l'ensilage ne couvrait que 40 % des besoins énergétiques.

La patate aquatique (liseron d'eau) est un bon fourrage pour animaux et poissons herbivores (Jiang et Winyuan, 1997) et les porcs sont friands de *Pistia stratiotes, Ipomomea aquatica,* et de lentilles d'eau (Charbonnel, 1989).

3.2.9.3 Valorisation comme matériaux

Certaines espèces présentent des particularités et des propriétés physiques leur permettant d'être utilisées comme matériaux dans divers domaines. Les roseaux peuvent être utilisés dans la construction ou l'artisanat. Dans la construction, on peut trouver des toits de chaume de roseau et de scirpes. Il est également possible de fabriquer des plaques et des briques en roseau pressé et des armatures en roseau tissé (Anonyme, 1984)

Les laîches et les scirpes peuvent être utilisés dans l'ameublement. On peut obtenir des nattes en tissant les roseaux et les massettes.

Le coton des graines de *Typha latifolia* est un excellent matériau pour la production d'isolation domestique et opportun pour des sacs de couchage, coussins et vestes. Les fibres peuvent produire du papier et des plantes tels que *Phragmites, Ascelpias* et *Scirpus* sont également de bonnes sources pour produire du papier (Lakshman, 1987).

Les teneurs en fibres des jacinthes d'eau permettraient de les faire entrer dans la fabrication de papier ou de textiles (Sauze, 1983). Elles sont utilisées également pour fabriquer des meubles.

3.2.9.4 Valorisation en amendement

Les lentilles et les jacinthes d'eau peuvent servir de substrat carboné pour un co-compostage avec le résidu du tamisage du lisier. La jacinthe d'eau peut également être utilisée comme fertilisant organique (Wolverton et Rogers, 1975).

3.2.9.5 Valorisation énergétique

La conversion du matériel végétal en énergie aussi bien qu'en aliments et fertilisant a été démontré (Culley et Epps, 1973 ; Ghosh et Klass, 1976 ; Parra et Hortenstein 1974 ; Taylor *et al*., 1971 ; Taylor et Robbins 1968 ; Wolverton et McDonald, 1981 et 1983). La jacinthe d'eau par exemple, peut être utilisée pour la production de méthane (Wolverton et Rogers, 1975).

Seconde partie : Station de Guernévez, matériel et méthodes

4. Le site expérimental

La zone d'expérimentation dédiée au traitement du lisier frais dilué par lombrifiltration et lagunage est divisée en 3 parties (cf. figure 12) :

- un **lombrifiltre** expérimental ayant été construit pour définir, dans un premier temps, les paramètres du lombricompostage (charge à appliquer, survie des lombriciens, conditions d'oxygénation, type de litière…). Le lombrifiltre a été le premier ouvrage construit à Guernévez et a permis de tester les premières approches de la lombrifiltration pour effectuer un dimensionnement du lombrifiltre compte tenu du nombre d'animaux présents dans la porcherie avant la construction de l'ouvrage à plus grande échelle.
- Une **station expérimentale** de lagunage à macrophytes ayant été construite pour définir, dans un premier temps, le choix de la filière de traitement (lagunage et lits plantés) dans le cadre d'une application à plus grande échelle. Dans un second temps elle permet de tester l'adaptation et la croissance de différentes espèces d'hélophytes et de macrophytes. La station expérimentale a été le second ouvrage construit à la SPEG et a permis les premières approches de l'ensemble du processus. Des expérimentations pour effectuer un choix sur les plantes utilisées ont été menées sur cet outil, avant la construction des bassins de lagunage à grande échelle (Oudart, 2009).
- Un **prototype** mis en marche en août 2007 pour traiter le lisier frais d'une porcherie de 30 truies gestantes. Ce lisier frais passe à travers un tamis, un lombrifiltre puis un décanteur avant d'être envoyé en lagunage. Le prototype permet de valider la filière de traitement et de valorisation du lisier frais à l'échelle d'un bâtiment d'élevage.

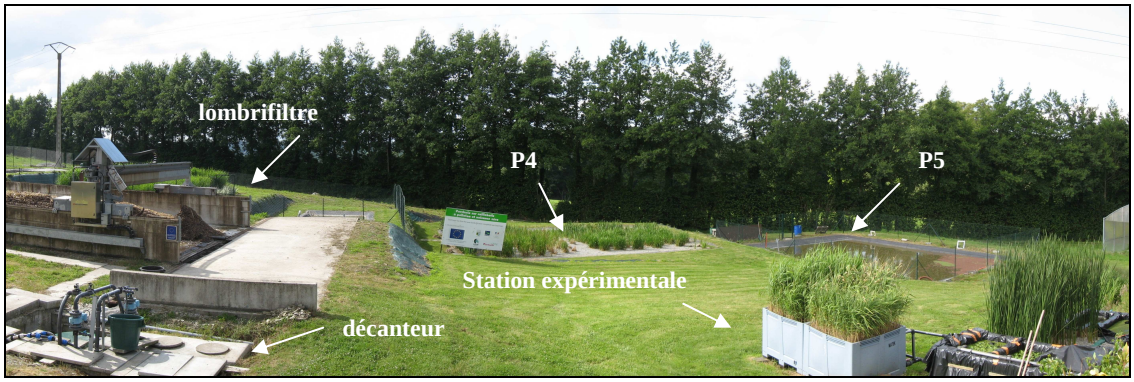


Figure 12 : Le site expérimental (Revaka, 2009)

Le prototype a été construit à Guernévez avec pour objectifs d'améliorer le bien-être de l'homme et de l'animal en réduisant les émissions d'ammoniac et de substances malodorantes, de pouvoir traiter le lisier en valorisant les sous-produits du traitement, de limiter les rejets dans le milieu naturel, et de créer des produits et sous-produits commercialisables.

5. Matériel et méthodes

5.1 Dispositif de traitement et de valorisation de l'effluent

Le suivi de l'épuration s'effectue sur deux zones de travail décrites auparavant : la station expérimentale et le prototype. En amont de ce système se trouve une verraterie comptant 30 truies gestantes. Le cheminement de l'effluent est décrit dans la figure 13 ci-dessous sur laquelle n'apparaît pas la station. Cette dernière initialement alimentée par du lisier stocké l'est aujourd'hui par le liquide

après décanteur. Une fois traité, ce liquide est conduit vers la lagune P5. Il s'agit donc d'un système parallèle au prototype.

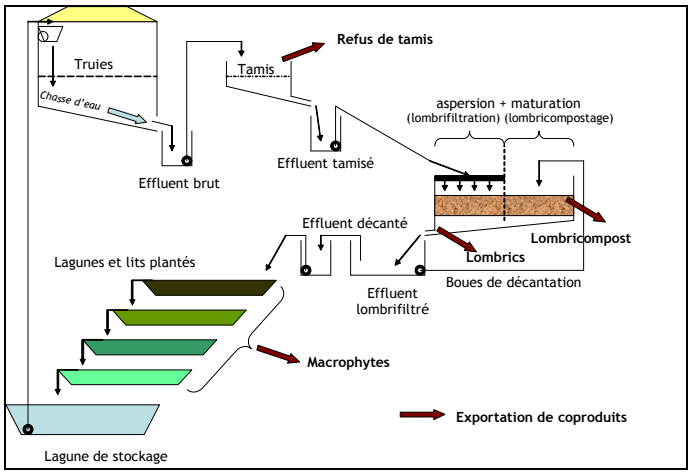


Figure 13 : Schéma global du procédé de traitement du lisier frais dilué par le prototype à Guernévez (Oudart, 2009)

5.1.1 Le bâtiment d'élevage et la chasse d'eau

Le système de chasse d'eau a été installé dans un ancien bâtiment verraterie-gestantes, en caillebotis intégral. Il comporte deux préfosses séparées par la gaine de ventilation. Les fonds de préfosse, dont le sol est légèrement en pente (1 à 2 %) vers l'évacuation, mesurent 2 m de large sur 12 m de longueur. Le nettoyage du fond de préfosse de la verraterie est assuré par un système de chasse d'eau se déclenchant toutes les 4 heures, soit 6 fois par jour. Des bacs basculants en inox d'une contenance de 400 litres d'eau sont fixés au dessus des caillebotis en partie haute de la porcherie. Les bacs sont remplis par un pompage de l'eau présente dans la lagune de stockage en fin de traitement. Une fois le remplissage maximal atteint, les bacs basculent grâce au déplacement du centre de gravité. L'effluent, composé des fèces et de l'urine des truies ainsi que de l'eau de nettoyage, s'écoule dans une fosse à l'extérieur de la porcherie. Cette fosse a un volume de 1,5 m^3 et est dotée d'une pompe.

5.1.2 Le tamis vibrant

Après le flushing (chasse d'eau), l'effluent est envoyé sur un tamis vibrant (cf. figure 14). Un moteur rotatif est fixé au tamis, lui-même relié au châssis par 6 ressorts. Le filtre en acier inoxydable d'une porosité de 600 µm permet la séparation de la matière solide de la phase liquide. La phase solide (refus de tamis) est récupérée dans un bac vidé toutes les deux semaines pour être compostée. L'effluent tamisé est récolté dans une fosse en ciment d'une contenance de 1800 litres équipée d'une pompe. Ce dispositif permet une rétention d'une partie de la charge azotée de l'effluent et enlève surtout une part importante des MES et du phosphore particulaire (Guivarch et Quillien, 2006).

Figure 14 : Un exemple de tamis vibrant permettant la séparation des phases liquides et solides (Chartier, 2005)

5.1.3 Le lombrifiltre

Le lombrifiltre est composé d'une dalle en béton de 96 m² (12 x 8 m) installée avec une pente de 1 % dans le sens de la longueur. De chaque côté de la dalle sont construits des murs de 1,2 m de haut sur lesquels est élevé un pont roulant équipé d'une buse d'aspersion et d'une fourche de décolmatage. Ce système est à la base prévu pour l'aspersion de lisier sur paille.

Sur la moitié de la dalle dans le sens de la longueur sont installés des caillebotis en inox de fente 5 mm sur lesquels reposent 50 cm de plaquettes forestières grossières, inoculés par des lombrics (*Eisenia fetida* et *Eisenia andrei*). Le filtre ainsi obtenu a une surface de 48 m². Trois sillons sont creusés sur lesquels l'aspersion est faite. Ceux-ci sont décolmatés grâce à la fourche de façon hebdomadaire. Les billons quant à eux ne sont aspergés que le week-end servant ainsi de refuge aux lombrics en cas de trop forte pression hydraulique dans les sillons.

La seconde moitié de la dalle, munie de 4 drains en plastique, porte un lombricompost conçu de la même manière, occupant une surface équivalente et récupérant d'une part les matériaux déplacés par la fourche, d'autre part les boues de la fosse de décantation. L'effluent s'écoule par gravité vers la fosse de décantation à travers une grille qui retient les plaquettes forestières ainsi que les lombrics. La grille est nettoyée plusieurs fois par semaine et les lombrics et plaquettes sont récupérés dans un bac en plastique puis remis sur le lombricompost.

5.1.4 La fosse de décantation

La fosse de décantation (anciennement simple fosse de répartition) est un parallélépipède de 2 m de profondeur pour 1 m de large et 2,5 m de longueur. Le fonctionnement de cette fosse a été modifié depuis le 1er août 2008 dans le but de décharger l'effluent lombrifiltré encore riche en matières en suspension. L'alimentation en provenance du lombrifiltre est effectuée par des tuyaux en PVC de diamètre 100 mm. Un coude orientant le tuyau d'arrivée vers le bas ainsi qu'une séparation permettent de casser le flux d'arrivée et donc d'obtenir une meilleure sédimentation. La sortie d'eau en haut de fosse et du côté opposé à l'arrivée d'eau alimente une cuve en PVC équipée d'une pompe permettant l'alimentation de la première lagune ou de la cuve d'alimentation de la station expérimentale. Au fond de la fosse de décantation se trouve une pompe permettant la vidange des boues. Lors de l'opération de vidange des boues, celles-ci sont alors envoyées sur la seconde partie du lombrifiltre servant à la création de compost proprement dit.

5.1.5 La station expérimentale

Cette station est composée de 4 niveaux (1, 2, 3 et 4) de 3 bassins (a, b et c) en parallèle. Les niveaux 1 et 3 sont des lagunes à macrophytes tandis que les niveaux 2 et 4 sont des filtres plantés horizontaux à l'exception des bassins 2c1 et 2c2. La construction a été réalisée avec des parpaings creux et étanchéifiés par des bâches plastiques noires. Les bassins 2c1 et 2c2 sont constitués de deux bacs en plastique autorisant plusieurs modes de fonctionnement.

Le niveau 1 est un ensemble de bassins à eau libre. Ce sont des bassins de décantation dont la surface est de 0,67 m², sur lesquels sont présents des macrophytes flottants. Leur volume a été calculé pour un temps de séjour hydraulique (TSH) moyen de 5 jours.

La deuxième série de bassins est constituée de filtres plantés horizontaux. Le bassin de la série c est composé de 2 sous-bassins en plastique permettant de le configurer soit en filtre planté vertical, soit en filtre planté horizontal, par un système de vanne manuelle. Deux bacs sont donc présents pour permettre une alternance de l'alimentation. L'ensemble des bassins de ce niveau est conçu pour avoir un TSH de 4 jours. La surface des bassins est de 2,5 m² pour les séries a et b et de 2 m² (2x1 m²) pour la série c.

La troisième série est constituée de lagunes à macrophytes flottants d'une surface de 1,1 m².

La quatrième série de bassins est composée de lits plantés horizontaux d'une surface de 5 m² par bassin. A ce niveau, un système de récupération des eaux est installé pour renvoyer l'eau de la station vers la lagune de stockage du prototype.

L'ensemble de l'écoulement dans la station s'effectue par gravité grâce à un système de tuyauterie en PVC rigide DN50. Seuls les tuyaux entre les niveaux 3 et 4 sont d'un diamètre de 20 mm.

Les données techniques et le plan de la station expérimentale sont disponibles en annexe 2.

5.1.6 Les lagunes et filtres plantés du prototype

Le prototype construit en 2007 comprend une première lagune à macrophytes (P1), un filtre planté horizontal (P2) planté de phragmites, une seconde lagune à macrophytes (P3), un filtre planté à écoulement horizontal (P4) et une ultime lagune à macrophytes servant à l'origine pour le stockage (P5).

L'étanchéité de chaque bassin est assurée par une géomembrane. L'écoulement est gravitaire et les bassins sont reliés par des tubes en PVC de DN100. Le niveau est assuré par un coude extérieur pour chacun des bassins, des regards permettant de vérifier le niveau d'eau dans les filtres plantés.

Le dimensionnement a été réfléchi de manière à ce que les TSH soient de 5 jours pour la première lagune et de 4 jours pour les trois autres. La lagune de stockage peut quant à elle retenir jusqu'à 250 m^3 d'eau, correspondant à un TSH moyen de 2 mois environ. Elle reçoit les eaux du niveau 4 et de la station expérimentale. Une pompe immergée assure l'alimentation des chasses d'eau à partir de cette lagune.

La lagune P1 permet une sédimentation des particules plus fines, restées en suspension dans la fosse de décantation, grâce à un TSH plus long. Le filtre planté P2 contient des phragmites, des cannes de Provence et des iris étant placés en périphérie. La lagune P3, comme les autres lagunes, reçoit des macrophytes. Le filtre horizontal planté P4 est coupé en 2 parties au niveau de la répartition des plantes. En rapport avec l'écoulement de l'eau, chaque partie est respectivement appelée amont et aval. La lagune de stockage P5 sert également de bassin de finition. Ce bassin contient des poissons rouges servant de bioindicateurs.

Les caractéristiques techniques des bassins du prototype sont résumées en annexe 3.

5.1.7 L'alimentation et la maintenance du système

L'alimentation du système par flushing est effectuée 6 fois par jour, avec 4,8 m^3 d'eau épurée prélevés dans la lagune P5. Rappelons également que le rejet quotidien d'un porc représente 25 à 35 g d'azote et 23 g d'acide phosphorique.

Concernant le prototype, une pompe d'un débit moyen de 150 l/min branchée sur un tuyau en PVC souple DN 60 assure l'alimentation du système de lagunage. La pompe est automatisée et fonctionne grâce à des détecteurs de niveau. Une vanne manuelle permet d'orienter le flux d'eau soit vers les lagunes, soit vers la station expérimentale. Pour cette dernière, une cuve de 1m^3 est placée au dessus des bassins de la station expérimentale permettant ainsi un écoulement gravitaire de l'effluent d'alimentation. Une vanne manuelle et un tuyau en PVC souple DN100 reliant l'entrée des trois séries permet d'effectuer l'alimentation quotidienne. Un volume de 167 litres par série est envoyé quotidiennement. Une graduation de la cuve permet de mesurer ces volumes.

La gestion du procédé est facilitée par l'automatisation d'une grande partie du système. Une interface sur l'ordinateur permet de régler les actions à effectuer, les heures de déclenchement, et la durée de l'action. L'ensemble des pompes du système est équipé de capteurs de niveau permettant d'assurer un déclenchement ou un arrêt automatique de celles-ci. Un cycle est déclenché toutes les 4 heures. Les

deux bacs sont remplis l'un après l'autre (5 min chacun). Le tamisage dure 12 minutes, mais l'effluent ne coule que durant 7 à 8 minutes. Les minutes restantes servent à évacuer la phase solide vers le bac de récupération.

Enfin, la durée de lombrifiltration est réglée en fonction du niveau bas de la pompe de la fosse contenant le liquide tamisé de manière à la vider. La durée effective de cette opération est d'environ une heure et demie. Si besoin, l'ensemble des vannes et des pompes servant à l'alimentation des différentes étapes d'épuration du lisier peut être réglée manuellement.

Le plan global de la station expérimentale et du prototype est disponible en annexe 4.

5.2 Les analyses

Afin de suivre et de comprendre l'efficacité du traitement, des analyses d'eau sont effectuées à intervalle d'environ 15 jours. Par ailleurs, les plantes récoltées et les boues vidangées sont envoyées au laboratoire Agrilabo à Morlaix (Finistère) pour analyse de leur composition. Ceci dit, la station de Guernévez possède un laboratoire permettant d'effectuer une grande partie des analyses.

5.2.1 Les points de prélèvement

Un des buts des analyses d'eau étant de connaître l'abattement engendré par chaque niveau du procédé, les points de prélèvements doivent rendre compte des concentrations en amont et en aval de chaque étape. De ce fait, ces analyses sont effectuées dans des flacons de 100 ml ou 250 ml. Sur chaque flacon sont notés la date et le lieu de prélèvement. L'échantillonnage se fait dans deux flacons : l'un est destiné aux analyses le jour même ; tandis que l'autre est conservé au congélateur. Ils y sont placés immédiatement après l'échantillonnage afin d'éviter toute évolution des composés. Ainsi il est possible d'effectuer de nouvelles analyses en cas de résultats incohérents.

Lors du prélèvement le flacon est nettoyé deux fois avec l'effluent avant le prélèvement afin d'éviter toute contamination par un résidu éventuel présent dans le flacon. Les points de prélèvement de l'eau sont récapitulés dans le tableau 4.

Notation	Description	Lieu de prélèvement
Sp	Sortie de porcherie	En entrée de tamis
St	Sortie de tamis	En entrée de fosse 2
Sl	Sortie de lombrifiltre	Extrémité du caniveau avant la fosse de décantation
P0	Sortie de la fosse de décantation	Entrée de lagune 1
P1	Sortie de lagune 1	Entrée de lagune 2
P2	Sortie de lagune 2	Entrée de lagune 3
P3	Sortie de lagune 3	Entrée de lagune 4
P4	Sortie de lagune 4	Entrée de lagune 5
P5	Sortie de lagune 5	Entrée des bacs de chasse d'eau
1a	Sortie du bassin 1a	Entrée bassin 2a
1b	Sortie du bassin 1b	Entrée bassin 2b
1c	Sortie du bassin 1c	Entrée bassin 2c
2a	Sortie du bassin 2a	Entrée bassin 3a
2b	Sortie du bassin 2b	Entrée bassin 3b
2c	Sortie du bassin 2c	Entrée bassin 3c
3a	Sortie du bassin 3a	Entrée bassin 4a
3b	Sortie du bassin 3b	Entrée bassin 4b
3c	Sortie du bassin 3c	Entrée bassin 4c
4a	Sortie du bassin 4a	Sortie du bassin 4a
4b	Sortie du bassin 4b	Sortie du bassin 4b
4c	Sortie du bassin 4c	Sortie du bassin 4c

Tableau 4 : Lieux de prélèvement des échantillons (Oudart, 2009)

L'alimentation du niveau 1 de la station expérimentale s'est faite grâce au niveau 0 (cuve d'alimentation en lisier de la station expérimentale qui se trouve en amont du niveau 1) jusqu'à la date de raccordement avec le système de lombrifiltration. De ce fait, le niveau 0 des analyses caractérise l'entrée d'effluent au niveau 1 de la station. En sortie de porcherie, sortie de tamis, sortie de

lombrifiltre et sortie de décanteur, les effluents sont encore riches en matière en suspension. Il est donc nécessaire d'effectuer plusieurs prélèvements à homogénéiser dans un seau avant d'en prendre un petit échantillon dans un flacon.

5.2.2 Les analyses d'eau

Les analyses d'eau sont réalisées pour la plupart à partir de kits prêts à l'emploi (Hach Lange). Les paramètres chimiques suivants sont étudiés et seront utilisés dans cette étude : demande chimique en oxygène (DCO), azote total (Nt), ammonium (NH_3), phosphore total (Pt), potassium (K), nitrates (NO_3^-), nitrites (NO_2^-). Chacun de ces tests est réalisé pour 21 échantillons pour une même date de prélèvement.

5.2.2.1 Les analyses chimiques

Les protocoles des analyses DCO, Nt, Pt, K^+, NH3, NO_3^-, NO_2^- sont disponibles en annexe 5. Chacun des tests repose sur une mesure colorimétrique. Chaque kit permet de mesurer la concentration en un certain élément dans une certaine fourchette de concentration (en mg/L). Suivant la charge des échantillons, il est nécessaire d'effectuer des dilutions ou d'utiliser des références de kits différents. La concentration des effluents n'étant pas constante, il est parfois nécessaire d'ajuster ce protocole, l'appareil de mesure colorimétrique (photomètre Dr Lange Lasa 100) indiquant par un « s » ou un « i » si la concentration est respectivement supérieure ou inférieure à la fourchette du test. Le test est dans ce cas-là de nouveau effectué avec une autre dilution ou référence de kit. De même certains tests sont à effectuer sur échantillon filtré ou non.

Les tests des nitrates, nitrites et ammonium sont à effectuer en priorité pour limiter l'impact de l'évolution des composés dans les mesures. L'ensemble des concentrations est exprimé en mg/L.

5.2.2.2 Les analyses de boues et de plantes

Les analyses sont effectuées pour connaître les caractéristiques chimiques des plantes récoltées et des boues produites par les bassins de lagunage. Les échantillons sont prélevés lors de la récolte des macrophytes ou de la vidange des lagunes puis stockés temporairement au congélateur à -18 °C et envoyés au laboratoire d'analyse Agrilabo à Morlaix. Les analyses suivantes sont effectuées :
-Plantes : MS, matières minérales totales (MMT), Nt, P_2O_5, K_2O, Cu, Zn.
-Boues : MS, MMT, MO, N-NH_4, Nt, P_2O_5, K_2O, Cu, Zn, C_{org}, C/N

5.2.3 Les données météorologiques

Depuis 2006, les données météorologiques de Météo-France pour la station de Spézet (située à 7,5 km de Guernévez) sont disponibles. Ces données permettent de calculer la quantité réellement abattue d'éléments. En effet, ceci permet le calcul du flux d'eau passant dans le dispositif grâce aux données de pluviométrie et de température. Un travail important a dû être fait pour permettre le regroupement des données qui sont disponibles en annexe 6.

5.2.4 La base de données

Les données traitées couvrent la période du 13 mars 2006 au 11décembre 2008 pour la station et du 9 janvier au 11 décembre 2008 pour le prototype. Elles ont été acquises grâce au travail des chercheurs, ingénieurs, techniciens, ou stagiaires qui se sont succédés sur le site.

En conséquence, elles présentent une certaine hétérogénéité tant dans leur contenu que dans leur présentation. Un travail d'homogénéisation a été entrepris à partir de 2008, une mise en forme standardisée ayant été adoptée et des analyses refaites lorsque des résultats paraissaient aberrants. Néanmoins, ce travail se devait d'être continué. De ce fait, j'ai mis les résultats sous la forme d'un

tableau Excel relativement volumineux dans lequel se trouvent toutes les informations récoltées depuis 2006 à la fois sur la station expérimentale et sur le prototype.
Une analyse a pu alors être faite pour faire ressortir les résultats qui paraissaient incohérents. Ces résultats représentent en moyenne 20 % des cas (proportion plus ou moins importante selon l'expérimentateur). La présence de tels résultats peut s'expliquer par des problèmes rencontrés lors des prélèvements, des manipulations, voire lors de l'entrée des résultats dans le fichier. Les cahiers de manipulations des différents expérimentateurs sont alors de bons outils de compréhension. Lorsque l'échantillon pour lequel un résultat d'analyse était douteux était disponible au congélateur, l'analyse a pu être refaite. Dans le cas où l'analyse a pu être refaite une ou plusieurs fois (puisque l'on retrouve la même proportion d'erreurs dans les analyses refaites), il a fallu intégrer les résultats au jeu de données. La démarche suivie a été la suivante :

- la valeur finalement trouvée était plus cohérente que la première. Elle a alors été utilisée en remplacement de l'ancienne.
- La ou les nouvelles valeurs étaient différentes de ce qui était raisonnablement attendu, mais aucune des valeurs ne présentait plus de cohérence qu'une autre. La moyenne en a été alors retenue.
- La ou les nouvelles valeurs étaient moins bonnes que l'ancienne, qui, sans être bonne, restait néanmoins dans des limites raisonnables. Il a alors été décidé de garder l'ancienne plutôt que de supprimer le point, ce qui aurait pu poser des problèmes de traitement.
- Enfin, lorsque les résultats relatifs à un échantillon ont paru complètement aberrants, ce point a été complètement supprimé pour le traitement des données.

De plus, ce travail a permis de mettre en évidence la mauvaise qualité des données sur les MS et MES due à l'utilisation d'une balance pas suffisamment précise jusqu'à septembre 2008, elles ne seront donc pas utilisées pour ce travail.

Après chaque année, lorsque les stagiaires quittaient la SPEG, il y avait arrêt des analyses. Il y a donc 3 années de données qui commencent pour la première le 13/03/2006, pour la seconde le 18/01/2007 et pour la dernière le 03/01/2008.

5.2.4.1 Le traitement des données de la station expérimentale

Une seconde étape du traitement de données a été l'extraction des résultats. Pour ce faire, j'ai intégré les données météorologiques au tableau de données afin de calculer l'évapotranspiration sur chaque bassin par la formule suivante (Société forestière de Franche-Comté, 2006):

ETP = (Rayonnement global + 50) x (0,4 x Température moyenne)/ (Température moyenne + 15) Avec le rayonnement global en cal/cm²/j et la température en °C

Grâce à cela, j'ai pu calculer les quantités d'éléments qui sont abattues par le dispositif. En effet, il est beaucoup plus pertinent de raisonner sur des abattements en quantités et non pas simplement en abattement de concentration car le système est soumis aux variations saisonnières (il n'est pas couvert). De ce fait, sur des périodes comparées, il est alors facile de savoir si les quantités épurées sont similaires malgré la pluviométrie et l'évapotranspiration puisque ces dernières sont prises en compte dans le calcul. Ce calcul a été fait uniquement sur les données de la station expérimentale puisqu'il n'y a de données disponibles sur le prototype que depuis février 2008 et avril 2008 pour P5. De ce fait, il ne serait pas possible pour ce dernier d'étudier l'effet des saisons par manque de comparaison.

Les calculs de la température moyenne et de la pluviométrie sont faits pour l'intervalle de temps séparant 2 analyses d'eau (T_n et T_{n+1}) et sont imputés à l'analyse à T_{n+1}. La date T_{n+1} n'est pas prise en compte pour ces calculs car cette journée n'a pas subi l'influence du temps (les prélèvements se faisant préférentiellement le matin). Concernant le calcul de l'ETP, il est fait comme expliqué ci-dessus mais en fixant le rayonnement global à 850 J/cm²/j (203 cal/cm²/j) en attendant de disposer des données

observées. Enfin, la pluie et l'ETP ont été déterminées en fonction de la surface de bassin de chaque niveau du lagunage de la station. Les résultats sont donc exprimés en m^3.
Pour le calcul du flux d'eau, il est fait de la manière suivante :

- apport = (nombre de jours écoulés entre T_n et T_{n+1}) x apport quotidien de lisier sur la station,
- les niveaux 1a, 1b et 1c reçoivent chacun le tiers de cet apport,
- les niveaux suivants reçoivent l'apport du niveau précédent auquel est ajoutée la pluie et soustraite l'ETP.

Ainsi, connaissant le volume d'eau qui passe et la concentration de l'eau en éléments à chaque niveau il est possible de calculer la quantité de nutriments abattue entre chaque bassin.

Il est également important de noter que pour l'intervalle allant du 28/03/2007 au 12/04/2007 les données de température n'étaient pas disponibles pour les 30 et 31/03. J'ai donc fait la moyenne sur 13 jours et non pas 15. Les dates du 15/05/2006, 01/06/2007 et 15/06/2007 ont été exclues car seul le niveau 0 (alimentation) a fait l'objet d'une analyse. Parfois, pour des raisons inconnues, il manque des résultats d'analyses pour certains niveaux. Lorsque cette situation s'est présentée, j'ai considéré que si la valeur finale manque, la concentration finale est identique à l'initiale et donc l'abattement est nul. Mais si c'est la valeur initiale qui manque alors j'ai ôté le résultat qui apparaissait alors comme incohérent.

Le tableau des données retouchées est disponible en annexe 7.

5.2.4.2 Le traitement des données du prototype

Concernant le prototype de la SPEG, les analyses régulières à toutes les étapes du système n'ont commencé qu'en 2008 et sur cette partie du système il est intéressant de voir où se situent les plus forts abattements et comment évoluent les concentrations au fil de l'épuration. De ce fait, un premier tri des données a été fait : les journées d'analyses pour lesquelles la série n'était pas complète ont été enlevées. Il s'agit des analyses suivantes : 09/01/2008, 23/01/2008, 12/02/2008, 05/03/2008, 24/05/2008, 04/04/2008, 17/04/2008. Des fautes de frappe manifestes ont également engendré un remplacement de ces valeurs par les valeurs du niveau précédent afin de considérer l'abattement comme nul sur cet étage (02/07/2008, 29/04/2008, 26/08/2008).

Enfin, l'abattement n'est pas considéré ici en quantité mais en concentration. Le modèle permet le calcul des quantités abattues très précisément grâce à la détermination précise du volume de la lagune, de la hauteur de liquide et grâce à l'intégration des données de précipitations et d'évapotranspiration (cf. le paragraphe suivant « le modèle Excel »). De ce fait, j'ai réalisé des calculs d'abattement par niveau sur les concentrations. De plus, j'ai matérialisé l'évolution des concentrations au fil du système.

Le tableau de données est également disponible en annexe 7.

5.2.5 Le modèle Excel

La mise au point du modèle s'est faite en étroite collaboration avec Paul Robin (INRA Rennes). Ce modèle permet de caractériser les flux d'eau et d'éléments au sein du prototype, les besoins de gestion à prévoir (récolte des macrophytes, vidange de boues…) et surtout vérifier le dimensionnement du système à chaque niveau. En effet, un tel outil peut permettre d'orienter la prise de décision concernant d'éventuelles améliorations à apporter. Il est basé sur le calcul des flux en éléments et matières à partir de paramètres définis et d'observations de terrain propre à chacun des niveaux du procédé. Il prend en compte le volume de liquide, et donc la quantité d'éléments, qui transitent dans le système mais également les prélèvements des boues (pompage dans le décanteur par exemple) et la croissance des végétaux. Ainsi, un maximum d'interactions sont prises en compte et intégrées dans le modèle.

Ce modèle n'a cependant pas été créé pour refléter exactement la réalité mais pour mettre en exergue le fonctionnement des compartiments, l'importance des flux, anticiper les problèmes du système (recouvrement par les macrophytes, débordement…) et comprendre jusqu'à quel point les niveaux sont dépendants les uns des autres. Les calculs sont effectués au pas de temps journalier, ce qui permet d'intégrer les éléments influençant de manière directe ou indirecte le bilan d'eau et d'éléments (récolte des plantes, pluviométrie…).

5.2.5.1 Conceptualisation

La première étape dans la mise en place du modèle a été de conceptualiser le système dans sa globalité. En effet, j'ai dû mettre en évidence les moindres flux qui définissent le système afin de ne pas les oublier lors de la création du modèle. La figure 15 permet, sous la forme d'un schéma, d'appréhender les pertes, les dépôts et les apports propres au système. En annexe 8 cette figure est agrandie pour une meilleure lisibilité.

Une fois cette schématisation réalisée, la description du modèle est effectuée de la manière suivante : le fichier étant divisé en 4 feuilles (paramètres, observations, calcul flux, calcul état) pour chaque niveau du système, j'ai décidé de prendre pour la présentation le compartiment lui-même (porcherie, tamis…) en déclinant ensuite le contenu de chaque feuille. Dans la première feuille – paramètres – se trouvent toutes les informations concernant le niveau (surfaces,…), dans la seconde feuille – observation – sont indiquées les informations générales des niveaux et les premiers calculs de flux, dans la troisième feuille – calcul flux – sont indiqués les calculs basés sur les paramètres et les observations et enfin, dans la dernière feuille – calcul état – est fait le calcul des flux au niveau de la journée. Ainsi, toutes les feuilles sont liées et les niveaux sont liés entre eux par différentes équations dont le sens général est présenté dans les paragraphes suivants.

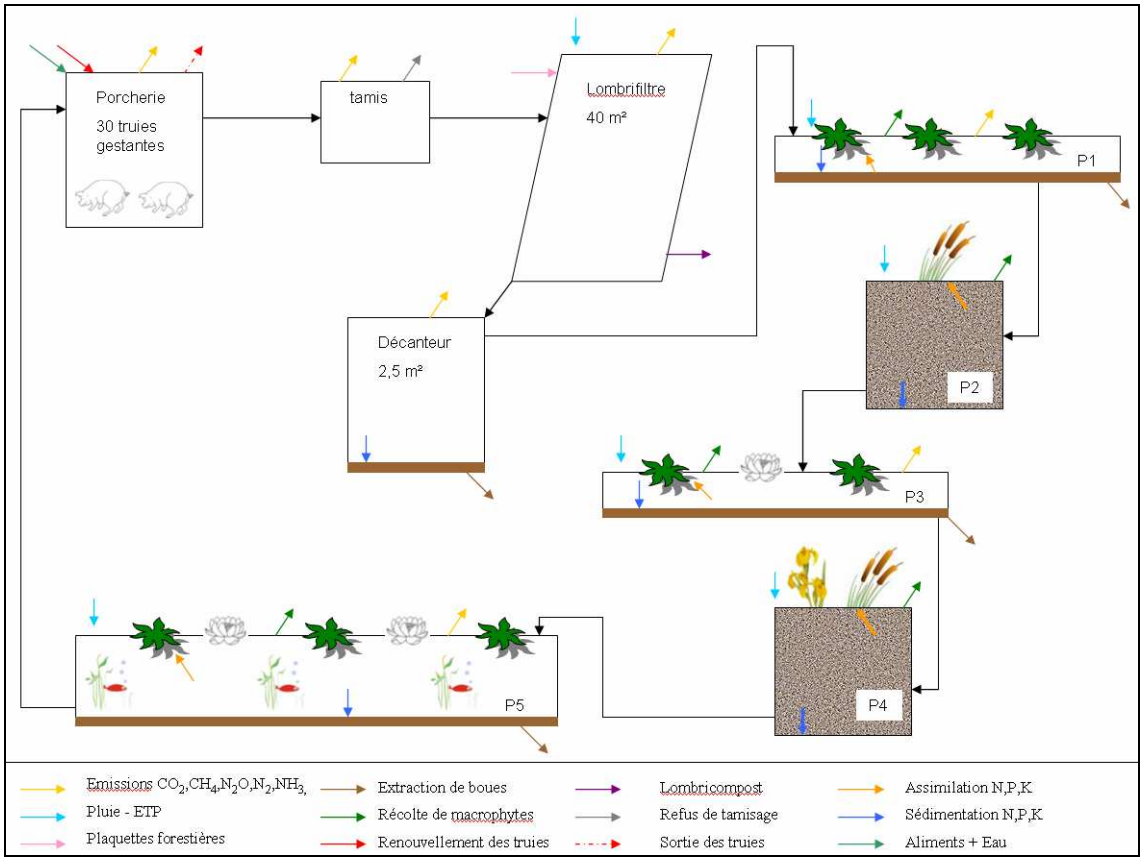


Figure 15 : Flux au sein du système de porcherie intégrée

5.2.5.2 Porcherie

Tous les tableaux concernant la porcherie sont présentés en annexe 9

- **paramètres :**

Cette partie contient tous les paramètres propres à la porcherie : le nombre de truies, la quantité d'eau ingérée par truie, le rapport entre la production de lisier en fonction de l'eau bue, la MS contenue dans le lisier ainsi que les autres éléments (N, P, K) contenus dans ce dernier, la production quotidienne de lisier par truie, la densité du lisier. Ces données permettent ensuite le calcul :

- des apports quotidiens d'excréments : nombre de truies x production de lisier par truie ;
- des MS : masse de lisier produite x concentration de MS dans le lisier ;
- d'azote : masse de lisier produite x concentration de N dans le lisier ;
- de phosphore : masse de lisier produite x concentration de P dans le lisier ;
- de potassium : masse de lisier produite x concentration de K dans le lisier.

- **observations :**

Dans cette feuille Excel, sont indiquées en rouge les observations qui sont imposées par le modélisateur et en noir les données obtenues par calcul afin de distinguer rapidement les éventuels changements, fruits de l'utilisateur du modèle lui-même, des erreurs de calage.

Pour la porcherie, voici les différentes indications que comporte cette feuille : le volume de liquide arrivant quotidiennement dans la verraterie (qui est égal à la chasse d'eau), la quantité de MS et d'éléments N, P et K associés.

- **calcul des flux :**

La quantité de pluie s'abattant sur la lagune 5 ainsi que la quantité d'eau évaporée sont calculées grâce aux observations de ces paramètres que l'on multiplie par la surface du bassin 5. Elles ne sont pas directement utiles à la caractérisation du liquide entrant dans la porcherie puisque ce volume est connu et imposé.

La colonne « sortie liquide totale » permet de connaître le volume d'eau sortant et est l'addition entre ce qui est pompé pour l'alimentation de la porcherie et l'eau qui s'écoule s'il y a débordement de la lagune. C'est la colonne « sortie liquide sans porcherie » qui permet de caractériser le volume d'eau de la lagune 5 en calculant le flux d'eau une fois la hauteur minimale de pompage de la lagune atteinte. Ce problème de débordement a déjà été rencontré lors de la saison automnale et le but de ce modèle est d'anticiper cela (prévision de pompage par exemple) ou de mettre en évidence un problème de dimensionnement pouvant expliquer ce phénomène. Enfin, la quantité sortante de liquide envoyée vers la porcherie est posée comme étant égale à la chasse d'eau.

Les paramètres de MS et éléments sont indiqués sur la base des analyses d'eau à ce niveau et le stockage d'eau dans les macrophytes de la lagune, bien qu'inutile pour caractériser la porcherie, permet de connaître les flux d'eau. La quantité d'eau contenue dans les végétaux est calculée à partir de la masse des plantes qui ont poussé, à laquelle est soustraite la masse de MS.

- **calcul de l'état :**

Le volume d'eau sortant de la porcherie se réfère à celui de la feuille intitulée « calcul flux ». Le calcul de la masse volumique d'eau correspondante se fait en divisant la masse de liquide sortant de la porcherie (eau + lisier) par le volume entrant et il en est de même pour les masses de MS (masse MS / volume entrant) et d'éléments.

5.2.5.3 Tamis

Tous les tableaux concernant le tamis sont présentés en annexe 10

- **paramètres :**

Le principal phénomène ayant lieu à ce niveau du procédé est la séparation des phases solide et liquide. De ce fait, les caractéristiques du tamis sont les suivantes :

- pourcentage du volume initial du lisier appartenant à la fraction de solide de l'effluent ;
- densité du solide dans le lisier ;
- densité de la partie liquide du lisier ;
- pourcentage de la masse initiale de lisier correspondant à la fraction en éléments (N, P et K) et MS contenue dans la matière solide ;
- masse de MS volatilisée (sous forme d'acides gras volatils, de C…) par m² et par jour ;
- masse deN volatilisée (sous forme de N_2, N_2O principalement) par m² et par jour ;
- masse de MS extraite par kg de lisier brut (appelée refus de tamisage).

- **observations :**

Il y a 2 volets qui composent les données du tamis pour cette feuille Excel. D'une part les observations sur le volume d'eau entrant quotidiennement (chasse d'eau + déjections des truies) ainsi que les quantités de MS et éléments associées, et d'autre part des données sur la fraction solide extraite grâce au tamisage.

Ces données sont les suivantes :

- masse de solide sortie (observation) ;
- masse de MS et éléments enlevée par kg de solide :
(masse de MS ou N, P, K à l'arrivée - masse de MS ou N, P, K en sortie) / masse de solide ;
- masse de solide récoltée par vidange du bac de récupération.

- **calcul des flux :**

Concernant le lisier arrivant au tamis, le calcul du volume est l'addition de la chasse d'eau et des déjections des truies. Quant aux MS et aux éléments, la quantité arrivant au tamis n'est autre que l'addition de ce que contient l'eau sortant de P5 et de ce que contiennent les déjections.

Pour calculer la masse de solide extraite quotidiennement grâce au tamis il faut calculer le volume de solide arrivant sur le tamis (grâce à la feuille paramètres : coefficient de partage eau-solide) et le diviser par sa densité. Pour les paramètres de MS et d'éléments il faut également se référer à la feuille « paramètres » et ainsi connaître leur pourcentage dans la fraction solide du lisier.

- **calcul de l'état :**

Pour la sortie du tamis, la masse de solide est calculée grâce à la feuille du flux. En effet, elle est égale au volume de solide tamisé divisé par la densité du solide dans le lisier. Dans la colonne qui suit, le cumul de la partie solide se calcule par l'addition des masses quotidiennes de solide retirées du tamis auxquelles on soustrait la masse de solide retirée du bac. Les concentrations en éléments sont calculées ainsi : éléments dans la fraction solide / quantité de solide créée quotidiennement. Concernant la partie du tableau consacrée à la sortie liquide du tamis, tous les paramètres sont calculés de la même manière qu'à la sortie de la porcherie (cf. calcul de l'état de la porcherie).

5.2.5.4 Lombrifiltre

Tous les tableaux concernant le lombrifiltre sont présentés en annexe 11

- **paramètres :**

Du fait des processus physico-biologiques ayant lieu au sein du lombrifiltre et de l'influence des paramètres extérieurs sur ce dernier, voici les données permettant la caractérisation de ce niveau :

- volume de lombrifiltre : surface x hauteur ;
- masse d'eau par volume de lombrifiltre ;
- surface du lombrifiltre : longueur x largeur ;
- évaporation en kg d'eau par m² de lombrifiltre ;
- masse de matière volatilisée par jour et par m² de lombrifiltre ;
- abattement en azote du au tamis ;
- concentrations en éléments (N, P et K) en sortie de lombrifiltre, l'hypothèse était faite que si ce dernier est à l'équilibre (population lombricienne stable) les assimilations et apports qui ont lieu au niveau de l'eau sont équilibrés. Les concentrations sont connues grâce aux analyses ;
- quantité d'azote perdue par sédimentation et volatilisation par surface de lombrifiltre ;
- départs de matière sèche et particulaire dans le liquide filtrant via le lombrifiltre ;
- quantité hebdomadaire de matière que la fourche sort par son action mécanique ;
- masse volumique du lombrifiltre ;
- densité de matière organique par litre de lombrifiltre ;
- volume d'air par m^3 de lombrifiltre :
  1000 litres (contenance maximale du lombrifiltre) – volume d'eau - volume de MO ;
- volume de matière dans le lombrifiltre :
  (masse volumique du lombrifiltre – masse volumique de l'eau dans le lombrifiltre)/ densité de la MO dans lombrifiltre

- **observations :**

Les données de ce niveau sont les suivantes :

- volume quotidien d'eau : chasse d'eau – eau contenue dans la fraction solide tamisée ;
- quantité d'éléments et de MS dans le liquide tamisé qui est différente de celle du lisier car l'extraction de la fraction solide grâce au tamis a un impact sur ces caractéristiques ;
- masse de plaquettes forestières neuves apportée quotidiennement.

- **calcul des flux :**

Pour cette partie des flux, le volume d'eau est calculé par la différence entre le volume de liquide arrivant au tamis et le volume de solide extrait de l'eau. Les concentrations en MS et éléments sont calculées sur la même base. Néanmoins, une fois de plus, l'apport de plaquettes neuves est pris en compte dans cette feuille.

- **calcul état :**

Les données du tableau dans cette feuille sont à nouveau calculées de la même manière que la sortie porcherie (cf. calcul état de la porcherie)

5.2.5.5 Décanteur

Tous les tableaux concernant le décanteur sont présentés en annexe 12

- **paramètres :**

Dans cette étape du procédé c'est la sédimentation qui joue un rôle important. En effet, celle-ci permet d'obtenir en sortie un effluent peu chargé en matière en suspension.
Voici ses caractéristiques :

- volume du décanteur : surface x hauteur ;
- surface du décanteur ;
- hauteur du décanteur ;
- pourcentage d'abattement de l'azote permis par le lombrifiltre et qui donne la concentration en N du liquide à ce niveau;
- concentration en N du liquide sortant du décanteur ;
- pertes gazeuses d'azote et de carbone dans les boues du fait de la minéralisation ;
- quantité d'éléments et de matière sédimentée par quantité d'éléments et de matière entrante ;
- masse de boues prélevée par pompage et rapportée au pas de temps journalier en prenant en considération l'effet de l'envoi sur le lombrifiltre (diminution de la teneur en eau et donc de la masse des boues) ;
- masse volumique des boues ;
- concentration en éléments et matière dans les boues en prenant en compte l'effet du passage des boues sur le second lombrifiltre.

- **observations :**

Le lombrifiltre est soumis aux conditions météorologiques extérieures ce qui engendre un calcul spécifique du volume d'eau entrant dans le décanteur. En effet, les apports d'eau par la pluie et l'évapotranspiration (ETP) sur le lombrifiltre doivent être corrélés avec le volume d'eau entrant sur le lombrifiltre. Ainsi, si la différence entre la pluie et l'ETP est positive, il y aura plus d'eau qui arrivera dans le décanteur que sur le lombrifiltre et inversement si cette valeur est négative.

D'autre part, on constate à nouveau des différences dans les concentrations en éléments du liquide lombrifiltré notamment sur les MS. Ceci est du au travail des lombrics et aux échanges ayant lieu au sein du niveau précédent. Concernant les autres paramètres, l'indication de la hauteur maximale des boues dans le décanteur sera utile par la suite pour le calcul de flux ainsi que la quantité de boue, et par conséquent d'eau, de MS et d'éléments extraits.

- **calcul flux :**

Cette partie du système a été une des plus délicates à modéliser et comporte de nombreux paramètres :

- le volume d'eau entrant : c'est le volume arrivé au lombrifiltre auquel on ajoute la pluie tombée et on soustrait l'évaporation ;
- le coefficient de MS que l'on peut faire varier en fonction de l'état du lombrifiltre. En effet, plus le lombrifiltre sera à l'équilibre, plus la porosité sera faible et donc plus les MS seront piégées d'où la variation du coefficient ;
- la masse de MS arrivant dans le décanteur correspond à la MS et la matière organique particulaire partant du lombrifiltre. Quant aux éléments, leurs concentrations sont égales à la concentration connue dans la feuille « paramètres » multipliée au volume d'eau ;
- le stock de surnageant est égal à la différence entre le volume pour lequel il y a écoulement de liquide et le volume des boues ;

- la volatilisation du carbone et de l'azote est calculée par le coefficient de volatilisation de C et N (feuille paramètres) multiplié par la masse de C et N sédimentée. Le calcul de cette dernière est fait dans la feuille « calcul état ». Le pourcentage d'azote entrant est simplement le ratio entre la partie de l'azote volatilisée et celle qui arrive dans le décanteur ;
- concernant le stockage des boues, tant que la hauteur des boues est inférieure à la hauteur d'écoulement de l'eau la sédimentation est égale au volume de boues crée soit la masse de MS entrante multipliée par le coefficient de sédimentation (colonne m^3 maxi/j de la feuille). Si la hauteur de boues est maximale, alors il n'y a plus de sédimentation jusqu'à ce que la volatilisation du carbone ou un pompage permette de créer de l'espace dans le décanteur ;
- pour le calcul des masses de MS et des éléments contenus dans les boues, il fait multiplier la masse entrante par le coefficient de sédimentation ;
- la masse d'eau extraite par jour est égale à la différence entre la masse de boues extraite et la masse de MS qu'elles contiennent ;
- la masse de boues qui sort du décanteur est fixée dans les paramètres ;
- la masse de MS et d'éléments contenue dans la boue est calculée par la concentration de ces paramètres dans les boues multipliée par la masse de boues sortie.

- **calcul de l'état :**

La hauteur de boue dans le décanteur est calculée grâce à l'addition de la hauteur de boue présente au pas de temps précédent avec la hauteur de boue sédimentée à laquelle on soustrait la hauteur de boues pompée. Le volume de boue est égal à la multiplication entre la hauteur de boue et la surface du décanteur. La masse de MS dans la boue est l'addition entre les MS présentent dans le stock de boue et les MS sédimentées auxquelles on soustrait la matière volatilisée et la matière éventuellement pompée, le tout rapportée au volume de boue. Il en est de même pour le calcul des éléments dans la boue excepté qu'il n'y a pas de volatilisation pour le phosphore et le potassium. Quant à la hauteur de surnageant, elle est égale à la différence entre la hauteur de liquide dans le décanteur et la hauteur de boues.

Pour la partie « sortie liquide décanteur » dans le tableau elle est identique pour les données à celle de la porcherie, il faut donc se référer au paragraphe « calcul état » de cette dernière pour le détail des explications.

5.2.5.6 Lagune 1

Tous les tableaux concernant la lagune 1 sont présentés en annexe 13

- **paramètres :**

Cette lagune est celle recevant l'eau la plus chargée. Voici ses caractéristiques :

- volume minimal d'eau dans la lagune pour qu'il y ait écoulement ;
- hauteur de la lagune qui est fonction du volume d'eau. La mise en place d'une telle relation n'a pas été aisée du fait de la complexité de la forme de chacune des lagunes et de chacun des filtres et est expliquée dans le paragraphe III.2.5.11 « Autres données » ;
- découpage de la journée en plusieurs pas permettant le calage des hauteurs d'eau au sein de la lagune et ainsi éviter les à-coups à chaque arrivée d'eau ;
- abattement sur l'azote permis par la lagune ;
- les concentrations en matière et en éléments des macrophytes flottantes ;
- pertes gazeuses d'azote et de carbone dans la lagune ;
- les flux de sédimentation de la matière et des éléments en partant de l'hypothèse qu'elle n'est pas uniquement fonction de la surface de la lagune mais également fonction de la quantité de plantes sur le bassin ;
- temps de doublement des plantes sur le bassin ;
- seuil à partir duquel la croissance des plantes diminue si aucune récolte n'a lieu ;

- diamètre du tuyau d'alimentation permettant une estimation du débit d'eau.

- **observations :**

Le passage par le décanteur engendre une eau moins chargée en MS et en éléments grâce à la sédimentation. De plus, le volume d'eau arrivant dans la lagune est considéré comme égal à celui entrant dans le décanteur afin que ce dernier ne déborde pas. Cette lagune recevant un liquide encore chargé le phénomène de sédimentation peut être considérable. Pour le moment, un curage annuel est nécessaire au maintien du fonctionnement de la lagune. De ce fait, il est important de caractériser les récoltes de boues qui ont lieu et donc l'eau et les éléments qu'elles contiennent.

Concernant les bassins à proprement parler, ils comportent tous des macrophytes dont la croissance et l'assimilation des éléments sont présentées dans la feuille Excel. Puisque cette partie est similaire à tous les niveaux, je la présente ici, sachant donc qu'elle existe pour les bassins suivants.

Cette partie comporte la biomasse présente sur le bassin, la récolte journalière des plantes et les caractéristiques nutritionnelles (N, P et K) ainsi que la matière contenue dans ces dernières et enfin le nombre de jours écoulés entre deux récoltes.

- **calcul flux :**

Le volume de liquide entrant dans la première lagune est le même que celui entrant dans le décanteur afin d'éviter des problèmes de débordement. Une fois de plus, le coefficient de MS permet de caractériser l'état du décanteur et donc la qualité des MS sortantes. En effet, lorsque le décanteur est par exemple saturé en boues, la qualité du liquide sortant est identique à celle du liquide entrant et c'est ce coefficient qui permet de le mettre en exergue.

Quant à la sortie des boues, elle permet de calculer la masse d'eau, de MS et d'éléments qui sort par le biais du pompage. Leurs calculs sont basés sur l'observation de la masse de boues pompée que l'on multiplie par sa concentration en MS, éléments ou teneur en eau.

Les macrophytes qui poussent sur les bassins sont caractérisés par leur croissance : d'après les observations faites par les anciens stagiaires de la SPEG sur la croissance des plantes, il est apparu que cette dernière est exponentielle, ce qui est pris en compte dans la formule. Puisque le temps de doublement des végétaux n'est pas toujours le même du fait des saisons par exemple, le coefficient de modulation du temps de doublement permet de le faire varier. Enfin, les masses en MS et éléments dans les macrophytes sont calculées en multipliant la masse de macrophytes présente sur la lagune par les teneurs en MS et éléments des plantes données par la feuille « paramètres ».

Pour tous les bassins la partie « macrophytes » et pour les lagunes la partie « sortie de boues » (il n'y a pas de boues qui s'accumulent dans les filtres plantés) sont identiques et ne seront de ce fait pas développées à chaque fois.

- **calcul état :**

Étant donné que cette partie est similaire pour tous les bassins, l'explication des données n'est faite que pour la lagune 1. Pour le stock de boues, le calcul est le même que pour le stock du décanteur (cf. « calcul état » du décanteur). Concernant la partie sortie de lagune, voici les données :

- entrée nette :
(volume liquide entrant + pluie – évaporation – eau boues pompées – eau plantes) / pas de temps ;
- concentration en éléments = masse éléments du liquide sortant / vol. liquide sortant ;
- volume initial = volume de la lagune + entrée nette ;
- hauteurs initiale et finale : elles sont calculées grâce aux polynômes propres à chaque bassin (cf. « observations » dans le paragraphe « autres données ») ;

- volume : c'est le volume de liquide dans la lagune. Il est calculé en additionnant le volume d'eau entrant et l'entrée nette et en soustrayant le volume de liquide sortant ;
- abattement en N = 1- (azote dans lagune - azote dans boues) / masse azote entrant.

5.2.5.7 Filtre 2

Tous les tableaux concernant le filtre 2 sont présentés en annexe 14

- **paramètres :**

Les paramètres du filtre planté sont les mêmes que ceux de la lagune 1 mise à part la prise en compte dans le calcul du volume de la porosité des graviers qui est de 0,45 et la différence de volume et de surface. Les valeurs de la volatilisation et de la sédimentation pourront être modifiées et affinées au fil de l'acquisition de connaissances sur le sujet car elles ne sont sans doute pas exactement égales à celles des lagunes.

- **observations :**

Dans le filtre planté l'estimation de l'arrivée d'eau doit tenir compte une fois de plus de la pluie qui tombe sur la première lagune ainsi que de l'évapotranspiration engendrée par les plantes. À ceci il faut en plus soustraire l'eau contenue dans les boues éventuellement récoltées de P0.

Contrairement aux lagunes, les filtres plantés horizontaux ne présentent pas d'accumulation de boues. En effet, les micro-organismes liés aux graviers minéralisent la matière qui devient alors assimilable par les plantes.

- **calcul flux :**

L'évaporation et la pluie sont calculées en multipliant la surface du bassin par les observations de ces paramètres. Le stockage d'eau dans les macrophytes est égal à la différence entre la masse de macrophytes présente sur le bassin et la masse de MS contenue dans ces mêmes macrophytes. La volatilisation du carbone et de l'azote dépendent directement de la masse de boues sédimentée et le pourcentage d'azote entrant représente le ratio entre l'azote qui arrive au filtre et celui qui en sort par volatilisation.

Le volume de liquide sortant de ce filtre est égal à la multiplication du débit maximal d'écoulement et du volume d'eau pouvant s'écouler ([hauteur d'eau – hauteur minimale d'écoulement] x surface). Pour les masses de MS et d'éléments, le calcul est fait en multipliant le volume d'eau à la concentration donnée par la feuille observation. Tous ces paramètres sont les mêmes pour les niveaux suivants et ne seront donc pas à nouveau développés.

- **calcul état :**

Cf. lagune 1

5.2.5.8 Lagune 3

Tous les tableaux concernant la lagune 3 sont présentés en annexe 15

- **paramètres :**

Les paramètres sont les mêmes que ceux de la lagune 1, exceptés le volume et la surface.

- **observations :**

Au fil du passage dans les différents niveaux du système il est intéressant de remarquer que l'effluent est petit à petit déchargé de ses éléments et de la MS. Pour ce niveau comme pour les précédents, le calcul du volume entrant dépend de la pluviométrie et de l'ETP du filtre2. De plus, la sortie des boues de la lagune est caractérisée.

- **calcul flux :**

Cf. lagune 1 et filtre 2

- **calcul état :**

Cf. lagune 1

5.2.5.9 Filtre 4

Tous les tableaux concernant le filtre 4 sont présentés en annexe 16

- **paramètres :**

Les paramètres du filtre planté, hormis le volume et la surface, sont les mêmes que ceux du filtre2.

- **observations :**

À nouveau ici, le volume d'eau entrant dépend de la pluie et de l'ETP ainsi que des récolte des boues touchant la lagune 3.

- **calcul flux :**

Cf. lagune 1 et filtre 2

- **calcul état :**

Cf. lagune 1

5.2.5.10 Lagune 5

Tous les tableaux concernant la lagune 5 sont présentés en annexe 17

- **paramètres :**

Mis à part le volume et la surface, les données sont les mêmes que les autres lagunes.

- **observations :**

Ce dernier bassin, et non le moindre par sa superficie, présente un volume d'eau égal à la différence entre le volume d'eau entré dans le filtre 4 et la pluie ainsi que l'ETP appartenant à ce dernier niveau. De plus, la récolte des boues est indiquée pour permettre des calculs ultérieurs.

- **calcul flux :**

Cf. lagune 1 et filtre 2

- **calcul état :**

Cf. lagune 1

5.2.5.11 Autres données

Tous les tableaux concernant les autres données sont présentés en annexe 18

- **paramètres :**

- dépôts d'azote atmosphérique : une information pouvant être importante à prendre en compte dans certaines conditions est l'apport d'azote par les dépôts atmosphériques. En effet, si de manière naturelle ces derniers sont de l'ordre de 4 à 6 kgN/ha/an, cette valeur peut augmenter aux alentours d'une exploitation jusqu'à atteindre 60 kg/ha/an en ce qui concerne Guernévez.
- Volume des ouvrages : la mise en place de la relation hauteur-volume au sein des lagunes et des filtres n'a pas été une chose aisée. Le design propre à chacun des compartiments a nécessité un calcul individuel. Ce dernier a été possible grâce au découpage en formes connues du volume considéré. De plus, dans un souci de précision, l'équation de régression correspond à un polynôme d'ordre 4 dont l'origine est placée à 0 et donnant la hauteur en fonction du volume. Voici les relations ainsi obtenues :

$H1 = -3{,}001.10^{-6}.V_1^4 + 2{,}484.10^{-4}.V_1^3 - 7{,}88.10^{-3}.V_1^2 + 1{,}426.10^{-1}.V_1$
$H2 = -5{,}7.10^{-7}.V_2^4 + 4{,}618.10^{-5}.V_2^3 - 1{,}588.10^{-3}.V_2^2 + 4{,}874.10^{-2}.V_2$
$H3 = -4{,}051.10^{-7}.V_3^4 + 3{,}4.10^{-5}.V_3^3 - 1{,}291.10^{-3}.V_3^2 + 4{,}531.10^{-2}.V_3$
$H4 = -4{,}727.10^{-8}.V_4^4 + 7{,}172.10^{-6}.V_4^3 - 4{,}386.10^{-4}.V_4^2 + 2{,}099.10^{-2}.V_4$
$H5 = 3{,}775.10^{-11}.V_5^4 - 1{,}62.10^{-9}.V_5^3 - 1{,}941.10^{-5}.V_5^2 + 1{,}184.10^{-2}.V_5$

Avec H1, 2, 3, 4 et 5 les hauteurs des bassins 1, 2, 3, 4 et 5
V1, 2, 3, 4 et 5 les volumes des bassins 1, 2, 3, 4 et 5

- **observations :**

Données : il s'agit des caractéristiques propres au système et qui déterminent le reste des niveaux. On y trouve la quantité de pluie et l'évapotranspiration, le nombre de truies, le volume d'eau de la chasse d'eau, la quantité d'eau utilisée pour laver la porcherie, la quantité de lisier pompé dans la fosse qui n'entrera pas dans le système (lors de débordement par exemple), la quantité de solide extraite après tamisage et après lombrifiltration et enfin la quantité d'eau prélevée dans la dernière lagune et qui ne fera pas partie du système. Toutes ces caractéristiques sont déterminées au pas de temps journalier et sont fonction du pas de temps précédent. Ainsi, lorsque les caractéristiques changent ou pour tester le modèle il suffit d'imputer le changement dans le tableau, de le marquer en rouge, et les valeurs suivantes seront automatiquement impactées.

- **calcul flux :**

Le volume de la chasse d'eau n'est pas calculé mais indiqué dans la feuille « observation ». Il en est de même pour les concentrations en MS et éléments de l'eau qui sont tirées des observations de la qualité de l'eau en entrée de porcherie. Pour calculer la masse de liquide, les MS et les éléments apportés au système par les déjections des truies il faut calculer le volume de déjections produit par les animaux (nombre de truies x lisier par truie) et le multiplier par les concentrations de chaque paramètre. Ceci dit, le calcul de la fraction liquide se fait par différence entre la masse totale et la masse de MS dans le lisier.

Troisième partie : résultats et discussion

6. Résultats

Grâce aux données récoltées tout au long des 3 années d'expérimentations j'ai pu mettre l'accent sur divers points afin de mieux comprendre le système : l'influence du traitement des données et l'intérêt du suivi précis des analyses, l'effet des associations de plantes sur l'épuration de l'eau, l'influence de la saison sur l'efficacité d'assimilation des plantes et la mise en évidence des processus intervenant réellement dans le dispositif aux différents niveaux.

6.1 Effet de la correction des données sur les résultats obtenus

La contrainte financière de l'expérimentation sur la station expérimentale et le prototype ne permettaient pas de faire l'analyse de 3 échantillons en chaque point de prélèvement, en raison du coût que représente un tel travail, le suivi de l'épuration nécessitant des prélèvements environ tous les 15 jours. Il avait donc été choisi de n'effectuer en chaque point qu'une seule série d'analyses par date. En revanche, un échantillon en chaque point de prélèvement et date a été conservé congelé jusqu'à vérification des résultats.

Cette vérification n'a pas pu intervenir rapidement, chacun des expérimentateurs qui se sont succédés à Guernévez ayant eu un travail considérable entre la construction ou le maintien en état du matériel, les plantations ou la récolte des plantes, le fonctionnement manuel ou automatique des systèmes et les prélèvements et analyses. Afin de pouvoir affiner ces données, il devenait nécessaire de regarder plus en détail le tableau de données et de reprendre les analyses qui s'avéraient manifestement non conformes avec ce qui pouvait être attendu, compte tenu des résultats obtenus sur la même série aux niveaux précédents et suivants ou aux dates de prélèvements antérieures et ultérieures, ainsi qu'au même niveau sur les deux séries voisines (pour la station expérimentale).

L'effet d'une telle analyse de données n'est pas négligeable, comme le montre la courbe obtenue avec le jeu de données brutes et le jeu corrigé. Ce dernier, gommant les points aberrants, permet alors une analyse plus fine des résultats.

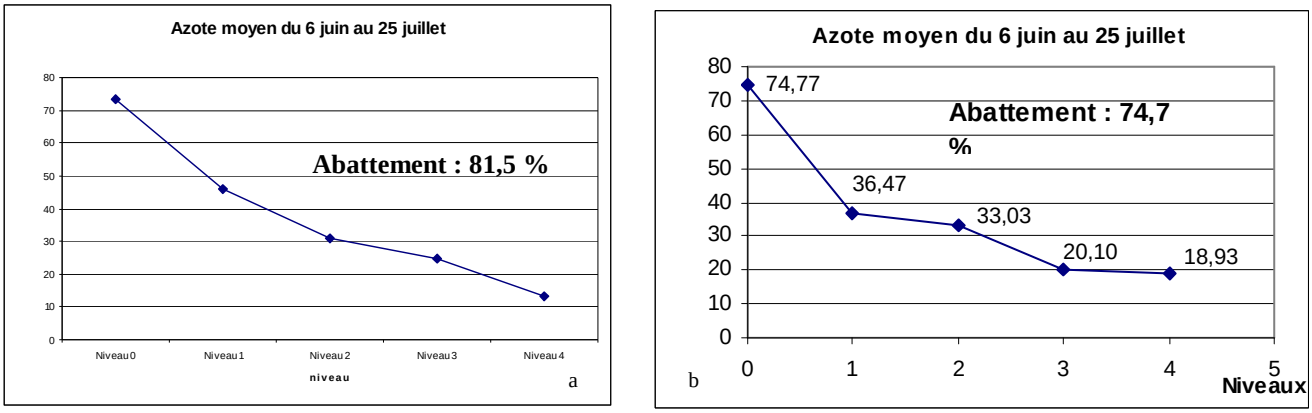
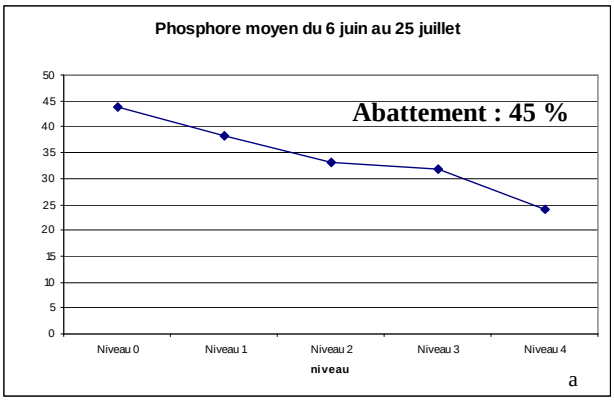


Figure 16 : Comparaison des résultats d'abattement obtenus sur la station expérimentale pour l'azote (mg/l) du 6 juin 2007 au 25 juillet 2007 lorsqu'on utilise le jeu de données après correction (a, à gauche) ou brut (b, à droite)



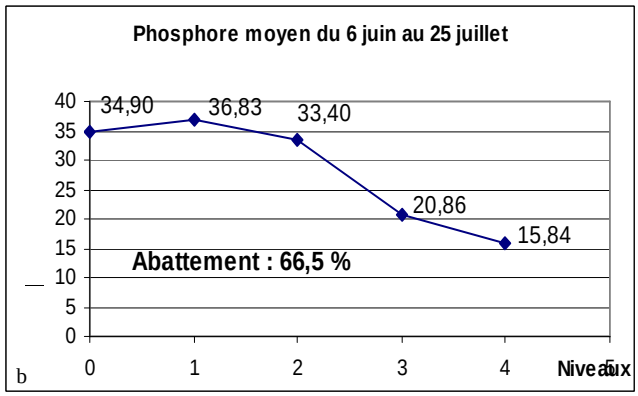


Figure 17 : Comparaison des résultats d'abattement obtenus sur la station expérimentale pour le phosphore du 6 juin 2007 au 25 juillet 2007 lorsqu'on utilise le jeu de données après correction (a, à gauche) ou brut (b, à droite)

Ainsi vont être étudiés, pour la station, l'effet de la saison et du type de plantes sur l'abattement du phosphore, de la DCO ainsi que sur l'abattement de l'azote total, la consommation et la production des différentes formes ioniques de l'azote en fonction de la saison et du type de bassin, puis l'abattement du potassium selon le niveau des bassins.

Pour le prototype, du fait que celui-ci a été mis en route tardivement, une étude préliminaire est seulement possible. Elle est menée sur les abattements en concentration, étant entendu qu'ils reflètent les abattements réels, sans toutefois pouvoir y être assimilés. La mise au point du modèle Excel de calcul des flux et des quantités des différents éléments permet d'aller plus loin.

6.2 Effet des plantes sur l'abattement de la DCO et de l'azote total (Nt)

Dans cette partie de l'étude je me suis tout d'abord focalisée sur les paramètres de la DCO et de l'azote total afin de déterminer s'il y a un effet des plantes ou de la saison ou non. Suivant la réponse, un découpage selon des périodes homogènes du point de vue des plantes et/ou de la saison sera fait sur les données afin de faire l'étude détaillée des autres paramètres. Voici dans un premier temps les différentes séries de plantes testées dans la station expérimentale :

	jeu 1	jeu 2	jeu 3	jeu 4	jeu 5	jeu 6
1a	lentilles d'eau	jacinthes d'eau	lentilles d'eau	lentilles d'eau	pas de plante	jacinthes d'eau/lentilles d'eau
1b	élodées	laitues d'eau	lentilles d'eau	lentilles d'eau /laitues d'eau	pas de plante	hydrocotyles
1c	hydrocotyles	hydrocotyles	hydrocotyles	hydrocotyles	pas de plante	lentilles d'eau
2a	roseaux	roseaux	roseaux	roseaux	roseaux	roseaux
2b	massettes	massettes	massettes	massettes	massettes	massettes
2c	roseaux	roseaux	roseaux	roseaux	roseaux	roseaux
3a	élodées	élodées	lentilles d'eau	jacinthes d'eau	pas de plante	fougères d'eau
3b	hydrocotyles	hydrocotyles	hydrocotyles	hydrocotyles	pas de plante	crassulas
3c	fougères d'eau	fougères d'eau	lentilles/fougères d'eau	fougères d'eau	pas de plante	myriophylles
4a	glycéries/iris/laîches	glycéries/iris/laîches	glycéries/iris/laîches	glycéries/iris/laîches	glycéries	glycéries
4b	scirpes/acores	scirpes/acores	scirpes/acores	scirpes/acores	carex	carex
4c	joncs/menthes	joncs/menthes	joncs/menthes	joncs/menthes	joncs	joncs/menthes

Tableau 5 : Les différentes séries de plantes testées

6.2.1 Abattement de la DCO

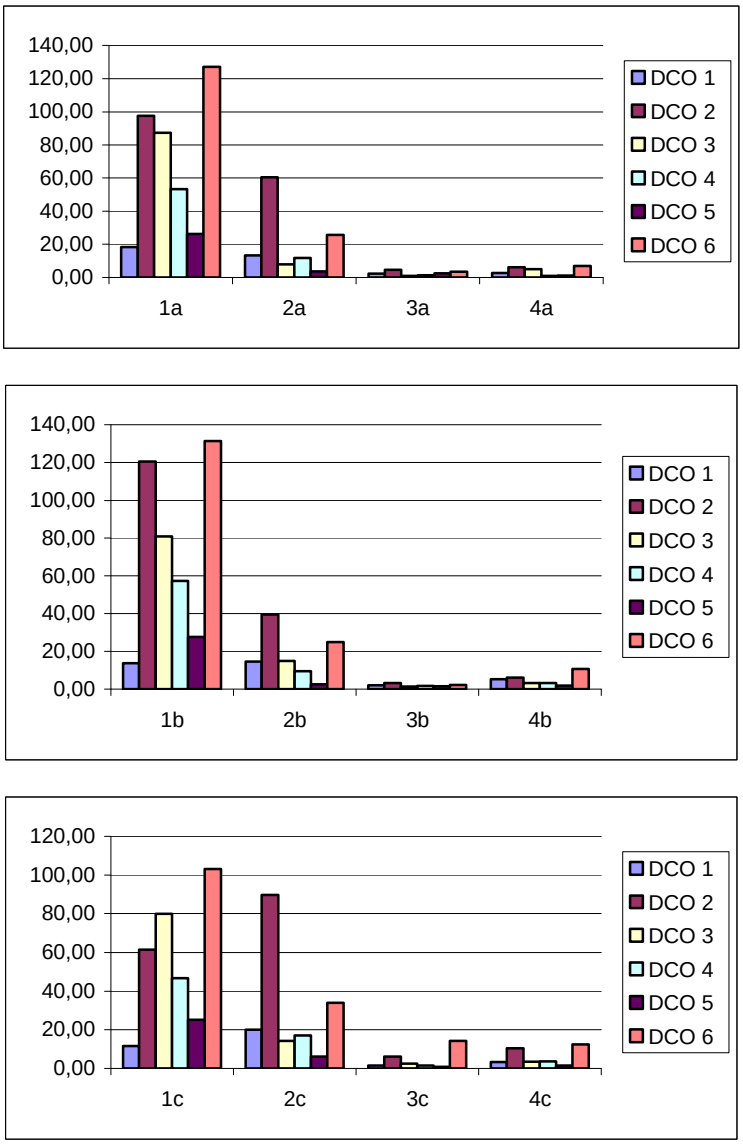


Figure 18 : Abattement de la DCO en fonction des jeux de plantes (1 à 6), des séries (a, b, c) et des niveaux (1 à 4) de la station expérimentale (g/j)

D'après la figure 18, les jeux 6 et 2 ainsi que les jeux 3 et 4 (dans une moindre mesure) semblent permettrent un abattement de la DCO plus important que les autres sur les niveaux 1 et 2. Il s'agit, pour les 2 premiers jeux, de jeux avec des jacinthes d'eau pour le premier niveau mais les plantes du niveau 2 sont les mêmes pour tous les jeux. Ceci dit, on constate également un plus fort abattement de ces séries au niveau 2.

Bien que la jacinthe d'eau soit connue pour sa bonne capacité épuratoire, il semblerait qu'un autre phénomène se combine à cet effet. Après observation des données, il ressort que les jeux 6 et 2 ont été mis en place en été et les jeux 3 et 4 au printemps et à l'été tandis que les autres ont été installés en hiver et printemps. De plus, le jeu 6 contient au niveau 3 des crassulas qui ont eu une mauvaise croissance d'où peut être le moins bon effet de ce jeu de plantes sur ce niveau.

De manière générale il y a un plus fort abattement dans les premiers niveaux de la station expérimentale. L'effluent arrivant à ces niveaux est très chargé donc les plantes ont beaucoup de nutriments à assimiler par rapport à celles des autres niveaux. De plus, dans tous les cas on constate que le jeu 1 apparaît comme le moins efficace, il est à ce propos important de noter qu'il s'agit du

premier jeu mis en place après la construction de la station. De ce fait, la première année, les rendements ne sont pas très bons. Ceci dit il est remarquable de voir que dès la deuxième année de mise en place (jeu 2 par exemple) la capacité d'épuration des plantes est effective. Ceci explique également le fait que pour toutes les séries, le jeu où il n'y a aucune plante dans les lagunes (jeu 5) a des valeurs d'abattement supérieures au jeu 1. En effet, même sans les plantes, les microorganismes sont en place contrairement à la première année de fonctionnement. Regardons à présent si le constat est le même pour l'azote.

6.2.2 Abattement de Nt

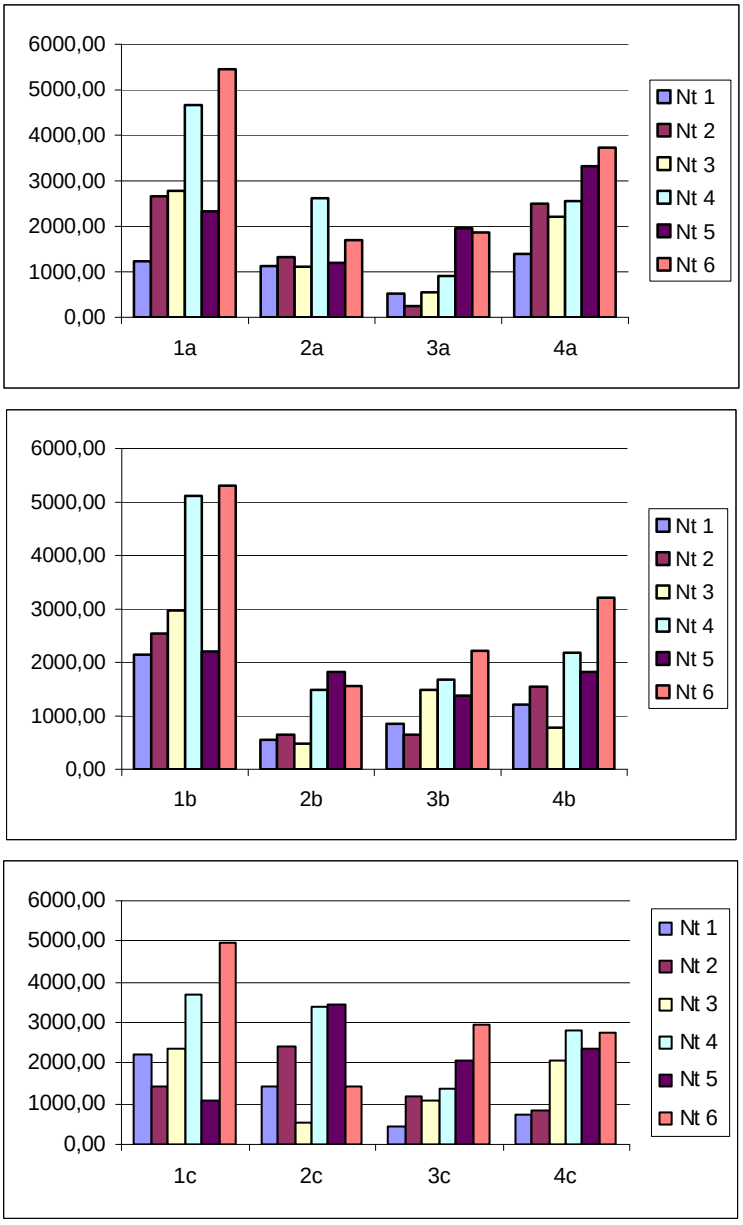


Figure 19 : Abattement de l'azote total en fonction des jeux de plantes (1 à 6), des séries (a, b, c) et des niveaux (1 à 4) de la station expérimentale (g/j)

Concernant l'azote total, une fois de plus le jeu 6 permet un important abattement de ce paramètre dans le liquide mais celle-ci est suivie par le jeu 4. Ce dernier a été mis en place au milieu de l'année 2007, c'est-à-dire fin du printemps, toute la période estivale et début d'automne. L'effet saison semble apparaître une fois de plus comme une explication plausible à ce résultat car pour la série 1, les jeux 1, 3 et 4 sont des lentilles d'eau or les résultats pour chacune d'elles sont très différents. De plus, sur le

niveau 2, tous les jeux ont une même plante alors que l'abattement est très variable. Une fois encore il semble que l'effet saison soit pour quelque chose dans ces résultats.

6.3 Effet de la saison sur l'abattement de la DCO et Nt

Après avoir constaté en regardant l'effet des plantes sur l'épuration de l'eau que l'effet saison doit certainement influencer l'abattement des éléments, voici quelques figures permettant de mieux comprendre le phénomène.

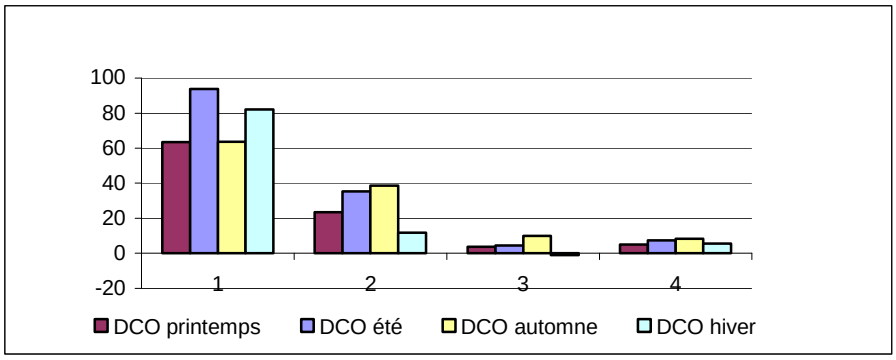


Figure 20 : Abattement de la DCO sur la station expérimentale en fonction des niveaux (1 à 4) et des saisons (g/j)

Comme on peut le constater sur la figure 20, l'effet de la saison sur l'abattement de la DCO se ressent surtout pour les premiers niveaux de la station. Par exemple, l'abattement de la DCO au printemps est 37 % moindre à celui d'été sur le niveau 1 et l'abattement de la DCO en hiver est 77 % moindre que celui d'été. D'une manière générale, l'effet de l'été et de l'automne semble bénéfique à l'abattement de la DCO. Le fait que l'abattement soit faible pour le printemps peut s'expliquer par le temps de réaction et de pousse des plantes en début de saison qui ne leur permet pas d'être immédiatement dans les conditions optimales d'épuration. Focalisons nous à présent sur les niveaux permettant la meilleure épuration de la DCO. D'après Wang et al (2009) si la DCO est sous forme particulaire, cela permet un bon abattement grâce aux processus physiques (filtration par le substrat des filtres plantés). Il semblerait que l'abattement soit lié à la charge de l'effluent. En effet, plus le liquide est chargé, meilleur est l'abattement. Cependant on constate qu'au niveau 3 l'abattement est plus faible que celui du niveau 4.

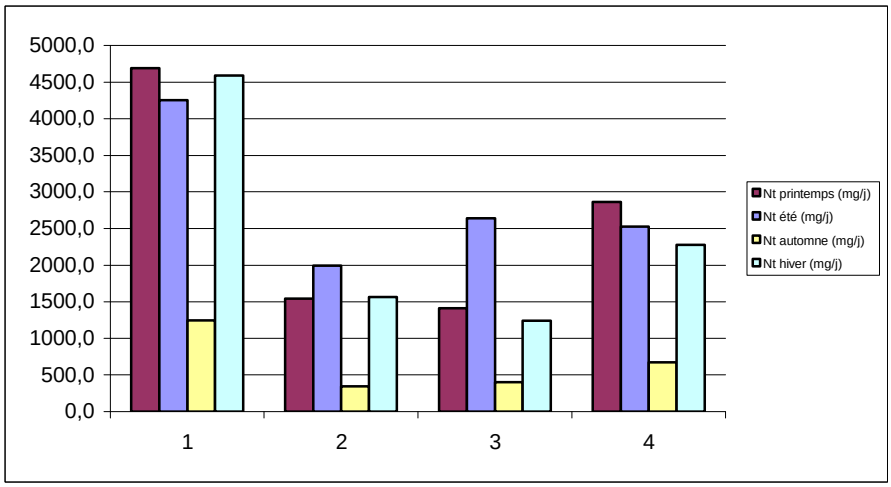


Figure 21 : Abattement de Nt sur la station expérimentale en fonction des niveaux et des saisons (mg/j)

Pour comprendre l'effet des saisons sur le paramètre Nt il est important de se rappeler que l'abattement de l'azote est surtout lié aux microorganismes présents dans les bassins et donc indirectement dû aux plantes. Ces dernières offrent surtout les exsudats racinaires et des surfaces de croissance aux microorganismes. D'après la figure 21, l'automne semble être une période néfaste à l'abattement de l'azote. Elle correspond à la période transitoire entre la phase de pleine croissance des plantes (et donc du relarguage de l'oxygène et des exsudats racinaires) et la phase de sénescence de ces dernières. Ceci expliquerait peut-être une mortalité dans les populations bactériennes et donc un moins bon abattement de l'azote. Ce n'est en tout cas pas le constat que l'on peut faire sur les autres saisons qui au contraire, bien que l'abattement soit très différent de l'une à l'autre (23 % d'abattement en moins sur le niveau 1 entre le printemps et l'été et 35 % en moins sur le niveau 3 entre l'été et le printemps), montrent un abattement important en début et fin de station.

Dans tous les cas et pour toutes les saisons ce sont le premier et le dernier niveau qui permettent un fort abattement de l'azote total. Pour le premier cela pourrait s'expliquer par le fait qu'il reçoit un effluent très chargé ce qui permettrait aux populations bactériennes de croître rapidement. Pour ce qui est du dernier niveau, le filtre planté, sa surface pourrait expliquer le fait qu'une dénitrification importante ait lieu. De ce fait, l'abattement est fort. Ceci dit, il est également important de souligner qu'un abattement, aussi faible soit-il, a toujours lieu quel que soit le niveau considéré.

6.4 Abattement de la DCO et des éléments au sein de la station expérimentale

6.4.1 Abattement du phosphore (Pt)

L'abattement du phosphore est surtout permis par la sédimentation car cet élément est lié aux particules en suspension dans le liquide. Ce phénomène est accentué par la présence de plantes car le système racinaire permet une meilleure sédimentation par piégeage préalable dans les racines. Dans la figure 22, le niveau 4 apparaît comme le meilleur au niveau de l'abattement du phosphore, sa grande surface permettant au phosphore d'être retenu par les graviers et le système racinaire et ensuite d'être assimilé par les végétaux. Le niveau 1 semble quant à lui permettre un très bon abattement pour une moindre surface (0,67 m² par lagune contre 5 m² par filtre planté au niveau 4). Dans les lagunes, le phosphore se trouve dans les boues et est ainsi retiré du système lors du dragage. Cette opération est très importante car elle permet au phosphore de ne pas être remis en suspension dans le liquide lorsqu'il y a agitation du milieu par exemple.

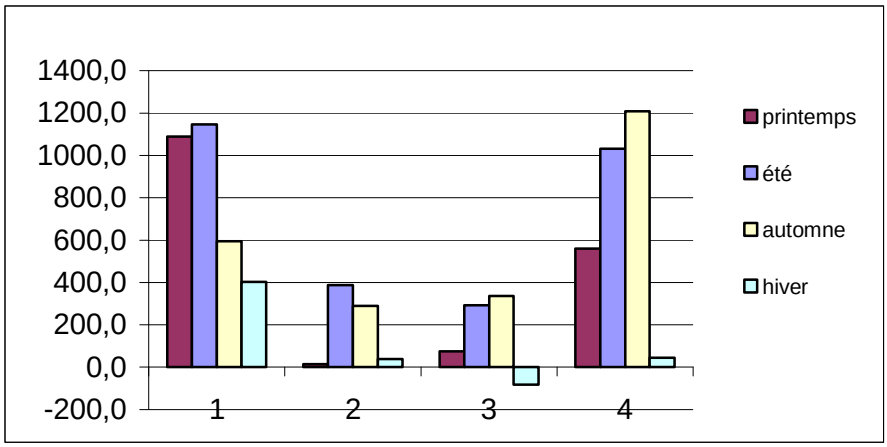


Figure 22 : Abattement du phosphore sur la station expérimentale en fonction des niveaux (1 à 4) et des saisons (mg/j)

6.4.2 Abattement de l'ion ammonium (NH_4^+)

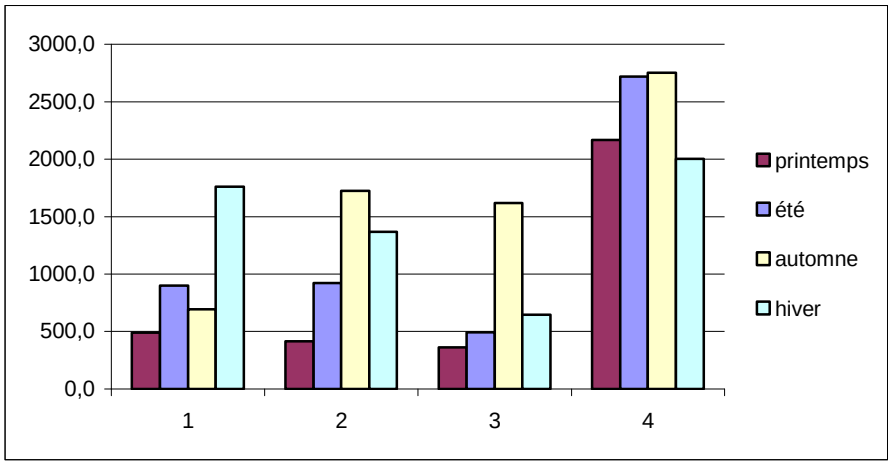


Figure 23 : Abattement de NH_4^+ sur la station expérimentale en fonction des niveaux (1 à 4) et des saisons (mg/j)

Tout comme pour l'azote total, la saison automnale apparaît différente des autres. Concernant l'ion ammonium, il semblerait que pour tous les niveaux, excepté le premier, ce soit la meilleure période pour l'abattement. Ceci dit, les résultats pourraient être biaisés du fait de la présence de poissons au niveau 3 pendant la saison 2008 qui peuvent aussi bien transformer l'ion ammonium qu'en produire. De plus, la formation d'ions ammonium peut être due à plusieurs choses : la dégradation de l'urée ou la dégradation de la matière organique.

Concernant le niveau le plus performant du point de vue de l'abattement de NH_4^+, il s'agit clairement du niveau 4 qui est le grand filtre planté. Ainsi, on peut dire que la surface de ce bassin est propice à une bonne nitrification (création de nitrites et nitrates à partir de l'ion ammonium).

6.4.3 Production et abattement des nitrites (NO_2)

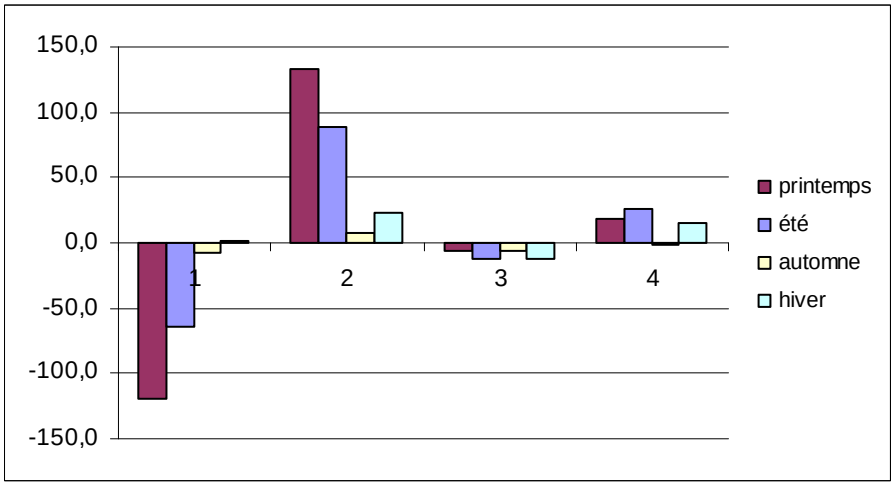


Figure 24 : Abattement des NO_2 sur la station expérimentale en fonction des niveaux (1 à 4) et des saisons (mg/j)

Les nitrites semblent être produits au niveau 1 et, en moindre quantité, au niveau 3 tandis qu'ils sont éliminés aux niveaux 2 et 4. La production et l'abattement des nitrites, c'est-à-dire les transformations biologiques, sont les plus forts pour le printemps et l'été. En effet, les courbes correspondant à ces saisons sont bien au dessus des courbes de l'automne et de l'hiver. Ces conclusions semblent montrer que les microorganismes trouvent à ces saisons de bonnes conditions de croissance. En automne et hiver cependant l'abattement est faible.

Ce qui est également mis en exergue par la figure 24, c'est la capacité des lagunes à nitrifier (création de nitrites, d'où les valeurs négatives ou très faibles d'abattement) et celle des filtres à dénitrifier (valeurs positives de l'abattement). Cette alternance permet un abattement intéressant de l'azote car l'ammoniac restant dans le liquide après son écoulement dans le premier filtre est alors transformé en nitrites et nitrates lors de son passage dans la seconde lagune.

6.4.4 Production et abattement des nitrates (NO_3)

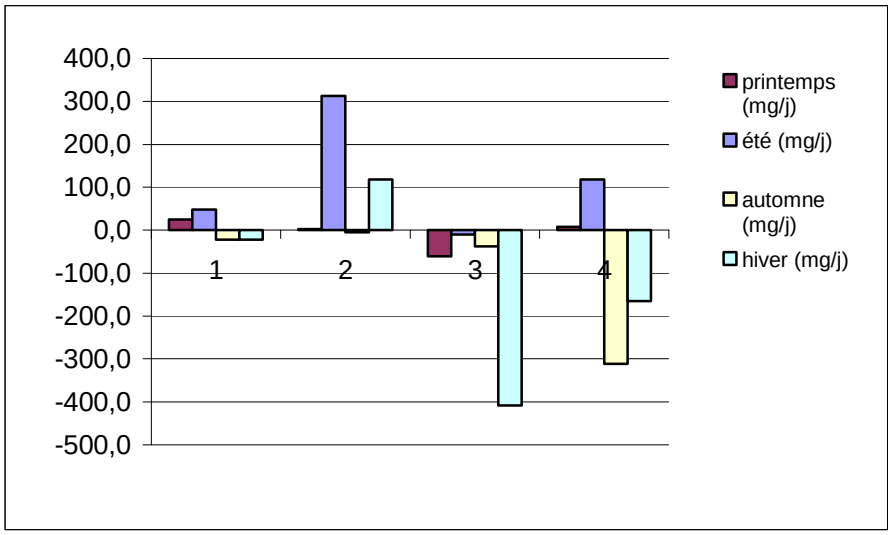


Figure 25 : Abattement des NO_3 sur la station expérimentale en fonction des niveaux (1 à 4) et des saison (mg/j)

Pour les nitrates le constat n'est pas le même que pour les nitrites : les lagunes semblent toujours abattre très peu, voire créer, les nitrates tandis que les filtres les transforment en azote gazeux d'où un abattement parfois important dans ces bassins mais le niveau 4 montre une certaine production de nitrates en automne et en hiver. Une grande différence est également visible sur les saisons optimales pour ces phénomènes. En effet, c'est ici uniquement l'été qui semble le plus propice à la dénitrification.

6.4.5 Abattement du potassium (K^+)

Cet élément n'a fait l'objet d'un suivi régulier qu'à partir de l'année 2008. De ce fait, l'effet saison n'est pas pris en compte par manque de données de comparaison. Le potassium est un élément assimilé par les plantes présentes sur les bassins. Aussi, plus la surface de végétaux est grande, plus l'abattement est fort et c'est ce qui est mis en évidence par la figure 26. Les niveaux 3 et 4 sont les plus performants pour l'abattement de ce paramètre et ce sont ceux qui ont une surface plus grande.

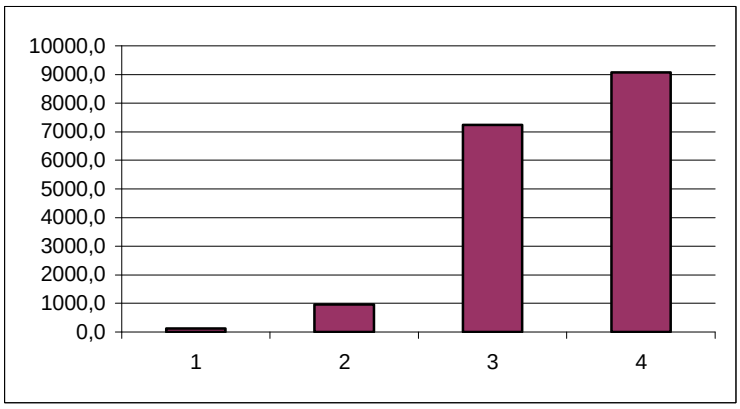


Figure 26 : Abattement de K^+ sur la station expérimentale en fonction des niveaux (1 à 4) (mg/j)

6.5 Abattement et évolution de la concentration de la DCO et des éléments au sein du prototype

Après avoir étudié le devenir des éléments au sein de la station expérimentale, nous allons nous intéresser aux phénomènes se produisant à plus grande échelle sur le prototype.

6.5.1 DCO

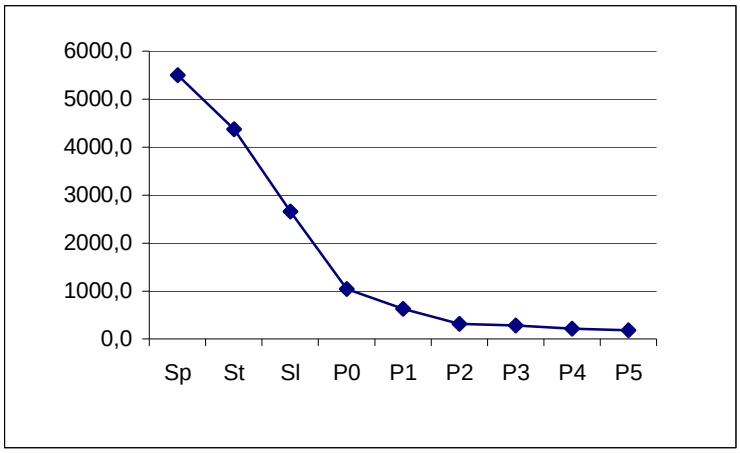


Figure 27 : Évolution de la concentration en DCO sur le prototype en fonction des niveaux (mg/j)

La figure 27 montre que les 3 premières étapes du procédé d'épuration de l'effluent sont primordiales dans la réduction de la concentration en DCO. En effet, le tamis, le lombrifiltre puis le décanteur permettent les plus fortes diminutions de concentration tandis que les premiers niveaux du lagunage affinent l'épuration. A ce propos, tout comme sur la station expérimentale, il semblerait que l'abattement de la DCO soit lié à la charge de l'effluent. En effet, plus l'effluent est chargé, plus le lagunage abat de DCO. Sur ce paramètre, un rejet de l'eau traitée pourrait être envisageable dans le milieu naturel car la concentration finale du liquide est inférieure aux normes (125 mg/l) (Agence de l'eau Seine Normandie, 2009).

6.5.2 Azote et ion ammonium

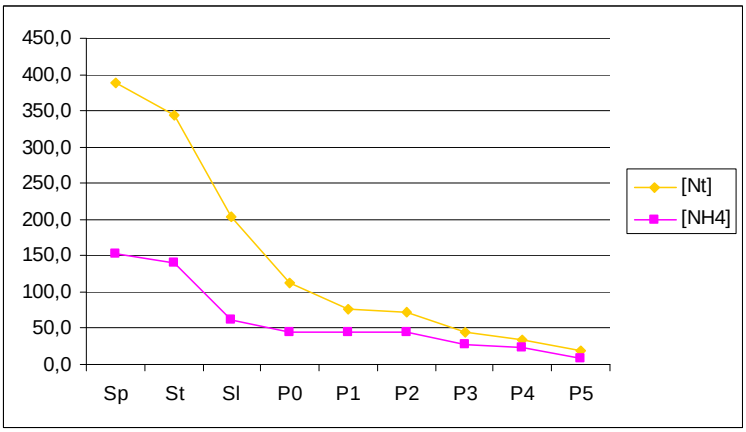


Figure 28 : Évolution de la concentration en Nt et NH_4^+ sur le prototype en fonction des niveaux (mg/j)

Il est visible sur ce graphique que l'effet du lombrifiltre sur les concentrations en Nt et NH_4^+ est très significatif. De plus, ces dernières diminuent tout au long du système mais, comme cela était prévisible avec le constat effectué sur la graphique précédent, les concentrations en Nt et NH_4^+ stagnent entre P1 et P2. Les concentrations en sortie du système sont faibles (14,9 mg/l pour Nt et 13,5

mg/l pour NH_4^+) et concernant des normes de rejet pour Nt le seuil est supérieur à la concentration moyenne (15 mg/l en zone sensible à l'azote) constatée sur le dispositif (Agence de l'eau Seine Normandie, 2009). Il est d'autre part intéressant de remarquer que le rapport NH_4^+/Nt n'est pas stable au cours du passage dans le système mais il augmente. Le lisier frais n'est en effet pas stable et la dégradation de la matière organique est de plus en plus régulière.

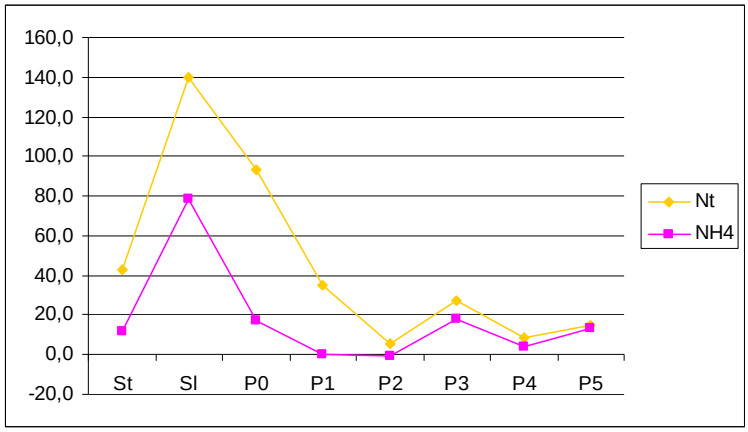


Figure 29 : Abattement de Nt et NH_4^+ sur le prototype en fonction des niveaux (mg/j)

La figure 29 met en évidence l'abattement de Nt par tous les niveaux du prototype mais il n'en est pas de même pour l'ammonium. En effet, les niveaux P1 et P2 n'abattent pas de NH_4^+. Ceci peut être dû à l'abattement des niveaux précédents qui est suffisamment important pour qu'il n'y ait plus dans le liquide suffisamment de NH_4^+ pour être transformé. Ce graphique met également en évidence le fait que le lombrifiltre permet un fort abattement de Nt et NH_4^+ notamment par transformation du NH_4^+ en nitrites et nitrates comme nous le verrons plus loin. De plus, comme cela a déjà été remarqué sur la station expérimentale, les lagunes (P3 et P5) permettent un bon abattement de ces paramètres grâce à la nitrification.

6.5.3 Nitrites et nitrates

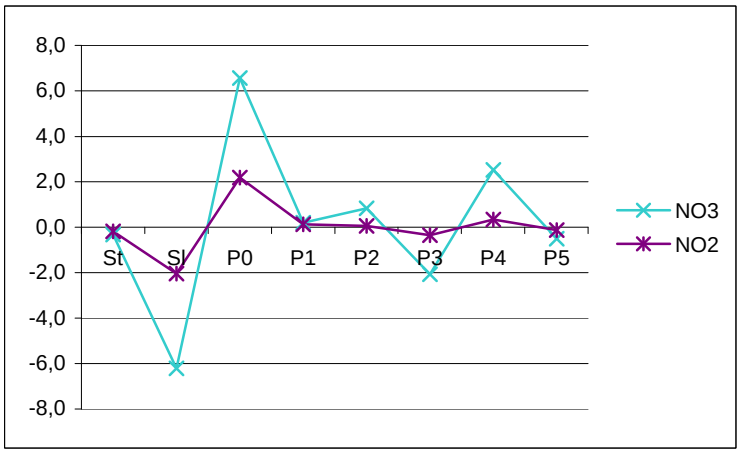


Figure 30 : Abattement des nitrites et nitrates sur le prototype en fonction des niveaux (mg/j)

Production et élimination des nitrites et nitrates s'effectuent en alternance. Prenons les éléments un à un : le tamis ne permet pas d'abattre de NO_2^- ni de NO_3^- car à ce stade ils ne sont pas encore formés ; le lombrifiltre quant à lui crée des NO_2^- et NO_3^- à partir de l'ammonium d'où un abattement négatif ; l'effet du décanteur est incontestable car il permet le plus fort des abattements du système sur NO_2^- et NO_3^- ; enfin, on constate des choses similaires à la station expérimentale, c'est-à-dire une production de NO_2^- et NO_3^- au niveau des lagunes et un abattement de NO_2^- et NO_3^- au niveau des filtres plantés. Voyons à présent l'effet de tout ceci sur les concentrations en éléments.

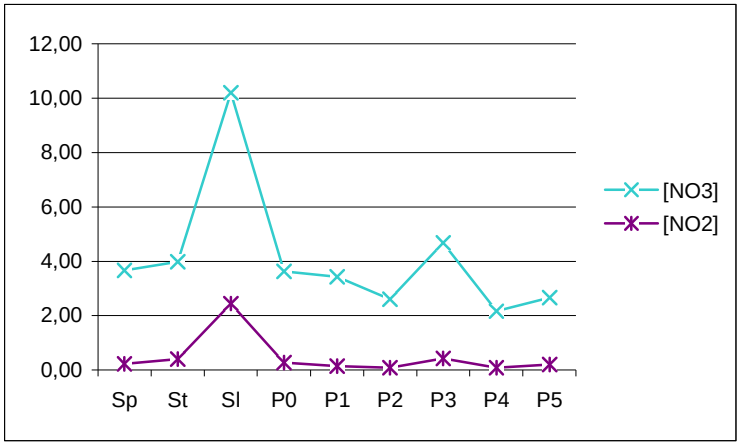


Figure 31 : Évolution de la concentration en NO_2^- et NO_3^- sur le prototype en fonction des niveaux (mg/j)

L'intérêt de cette alternance de nitrification/dénitrification réside dans l'élimination de l'ammonium formé au fur et à mesure. A ce propos, il est remarquable de voir à quel point le lombrifiltre permet la transformation de l'ammonium en NO_2^- et NO_3^-. Il est également intéressant de voir que la lagune 3 est très impliquée dans cette transformation tandis que les filtres plantés réduisent ensuite les concentrations. La lagune 1 étant en fait plus profonde pour faciliter la sédimentation, elle est également plus anaérobie, ce qui explique la différence constatée avec la lagune 3 et l'absence de nitrification.

6.5.4 Phosphore et potassium

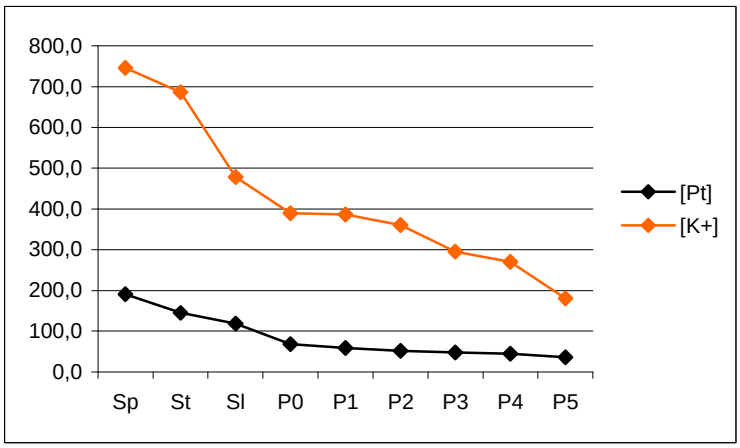


Figure 32 : Évolution de la concentration en Pt et K^+ sur le prototype en fonction des niveaux (mg/j)

Les concentrations des paramètres Pt et K^+ diminuent tout au long du procédé. L'assimilation par les plantes et/ou la sédimentation est donc efficace. Ceci dit, la concentration finale en Pt (36,1 mg/l) n'est pas compatible avec un rejet légal dans le milieu naturel du liquide traité. En effet, le seuil que donne la réglementation est de 2 mg/l (Agence de l'eau Seine Normandie, 2009). Il serait donc intéressant de mettre en place un dispositif de piégeage du phosphore en aval du procédé de traitement.

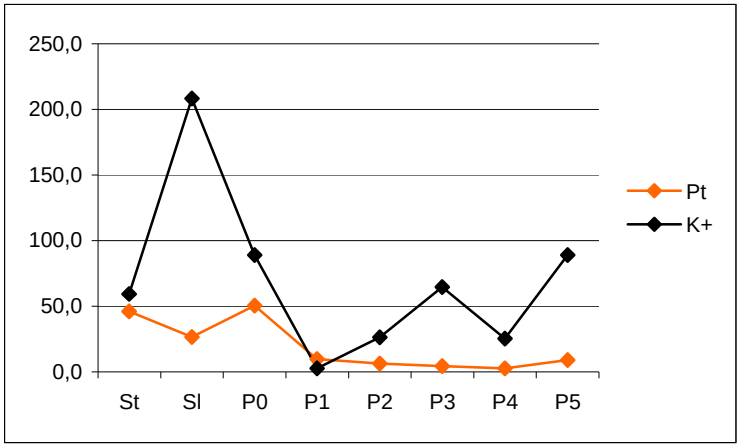


Figure 33 : Abattement de Pt et K^+ sur le prototype en fonction des niveaux (mg/j)

Les premières étapes du procédé permettent un abattement fort de K^+. Les filtres plantés réagissent de la même manière sur ce paramètre et la réduction qu'ils permettent n'est pas forte en comparaison aux lagunes 3 et 5. Il semblerait que plusieurs phénomènes expliquent un abattement aussi hétérogène. D'une part le K^+ peut être lié aux particules d'où un effet du tamis, du lombrifiltre et du décanteur ; d'autre part il est assimilé par les organismes (lombrics et plantes) ce qui signifie que plus long est le temps de séjour dans l'eau et plus grande est la surface de plantes disponible, meilleure peut être l'assimilation.

Concernant le phosphore, le tamis et le décanteur sont les deux éléments qui l'abattent fortement. Ceci semblerait vouloir dire que le phosphore est plutôt présent sous forme particulaire et que, lors de la séparation de phase et la sédimentation, il est piégé dans les matières solides.

6.6 Modèle Excel

Dans cette partie vont être confrontés les résultats obtenus grâce au modèle et les résultats des analyses. Ceci va permettre de savoir si le modèle Excel mis au point reflète bien la réalité ou s'il va être nécessaire d'y apporter des modifications.

6.6.1 Bilan d'eau

Sur ce point, le modèle est un outil intéressant car il permet de voir à travers les flux d'eau et au fil des saisons si les ouvrages sont suffisamment dimensionnés. En effet, le modèle caractérise les augmentations et diminutions de la hauteur d'eau dans les bassins et un débordement de ces derniers s'ils présentent un problème de dimensionnement. Manquant de temps, j'ai fait une comparaison du modèle et de la réalité uniquement sur la lagune P5. Ce choix se justifie par le fait que ce dernier bassin connaît effectivement des périodes de débordement ce qui devrait être visible, si le modèle fonctionne bien, sur les courbes de la figure 34.

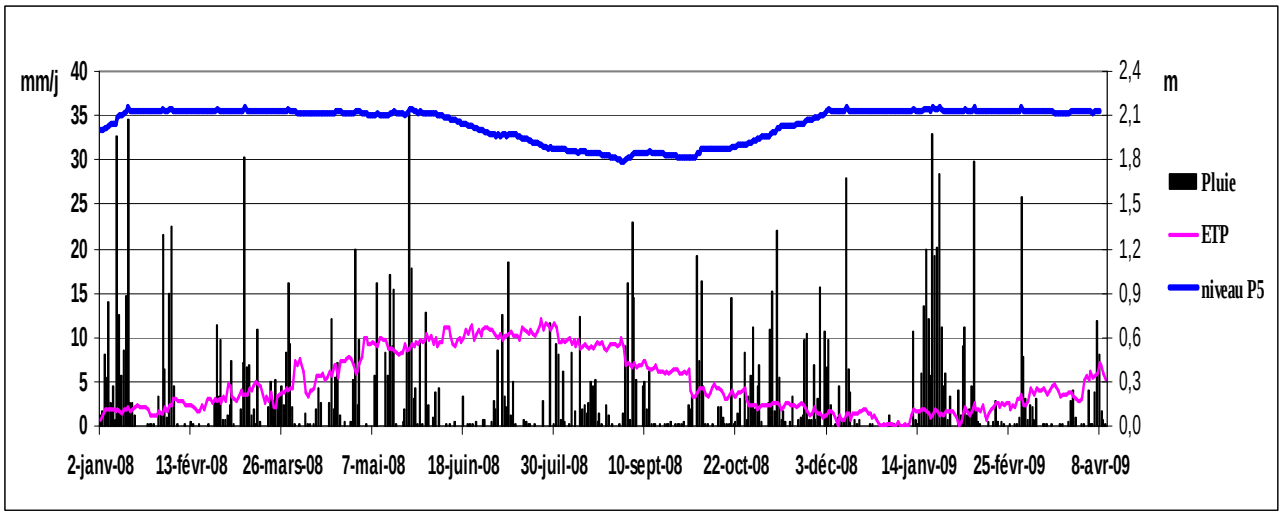


Figure 34 : Évolution du flux de pluie, d'évapotranspiration et du niveau de P5 en fonction du temps

Cette figure montre que selon le modèle, il y a un débordement de la lagune 5 tout l'hiver et au printemps, lorsque les précipitations sont les plus fortes. De plus, le modèle caractérise la baisse du niveau de liquide dans la lagune en été et en automne, périodes où l'ETP est plus forte et les précipitations moins élevées.

6.6.2 Le paramètre azote

Pour comparer les données des analyses d'échantillons et les résultats obtenus avec le modèle, nous allons nous focaliser sur le paramètre azote afin de savoir si le modèle reflète bien la réalité des analyses ou non. J'ai divisé cette comparaison en 4 étapes : en premier lieu nous allons nous intéresser aux résultats obtenus sur les dispositifs placés en amont (porcherie, tamis, lombrifiltre), puis à ceux concernant le décanteur suivi des premiers niveaux de lagunage (P0, P1 et P2) et enfin des 3 derniers niveaux (P3, P4 et P5).

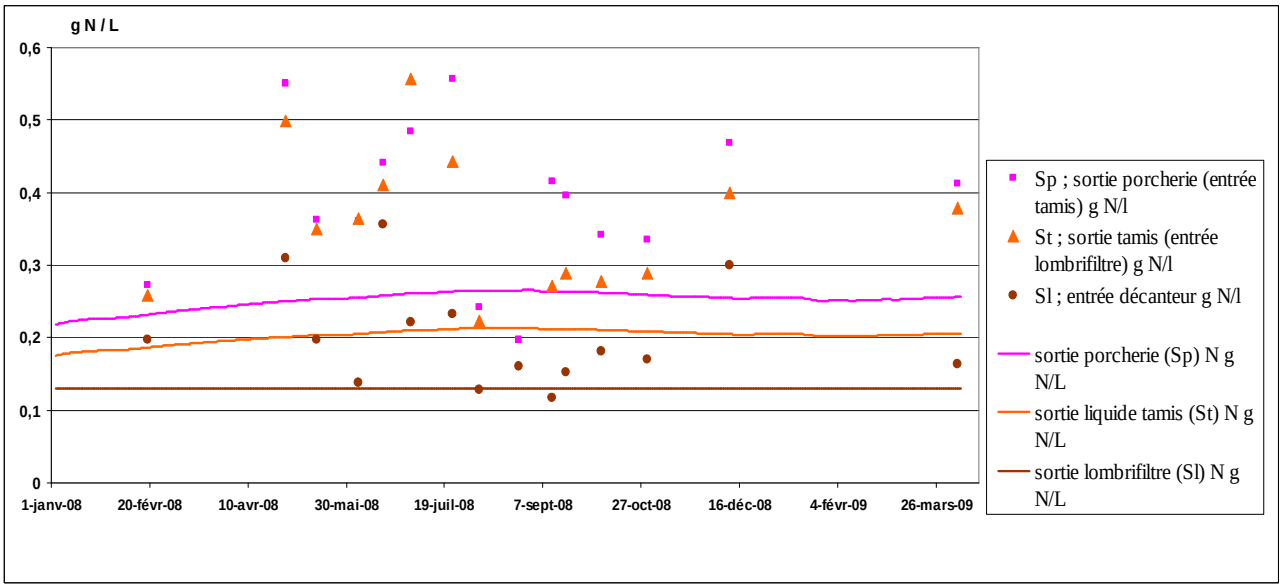


Figure 35 : Comparaison des résultats d'analyse et des résultats obtenus grâce au modèle pour Sp, St et Sl en fonction du temps

Ce qui apparaît sur cette figure 35 c'est l'instabilité de la concentration en azote pour les différents niveaux. En effet, on remarque que toutes les concentrations présentent les mêmes variations : une augmentation des teneurs au printemps et une diminution en été et en automne. Pour le liquide sortant

de la porcherie par exemple la concentration la plus faible se situe à 0,198 mg/l et la plus élevée à 0,556 mg/l. Concernant le modèle, il ne met pas en évidence ces variations. En effet, selon ce dernier les concentrations Sp et St varient peu au cours du temps et celle du lombrifiltre pas du tout. La concentration très stable du lombrifiltre que donne le modèle est due à une hypothèse faite à ce niveau. En effet, les paramètres du lombrifiltre sont posés tels que ce niveau du procédé servirait de tampon, permettant une très bonne stabilisation de l'effluent. À propos de la succession des courbes, le modèle représente bien la réalité, le niveau Sp est plus concentré en azote que le niveau St qui est lui-même supérieur au niveau Sl.

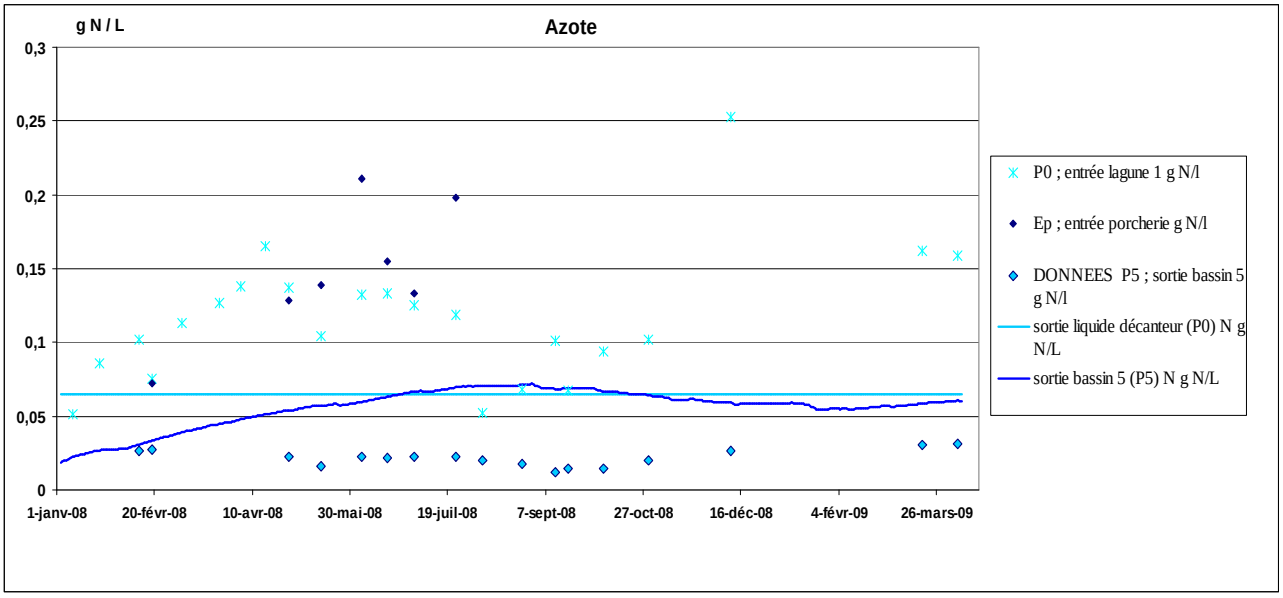


Figure 36 : Comparaison des résultats d'analyse et des résultats obtenus grâce au modèle pour P0, Ep et P5 en fonction du temps

Pour faire la comparaison des données sur le décanteur grâce à la figure 36 il est important de savoir que ce niveau du procédé d'épuration a subi un changement en août 2008. En effet, avant cette date le décanteur recevait à la fois le liquide lombrifiltré et le liquide de la lagune P5. C'était ensuite dans le décanteur que l'eau était prélevée pour l'entrée en porcherie. Dans un souci d'amélioration de l'aspect bactériologique de ce procédé il a été décidé de raccorder l'entrée de la porcherie directement sur la lagune P5 car l'eau ne contient plus à ce niveau de micro-organismes pathogènes.

On constate que le modèle surestime les concentrations en P5 et sous estime les concentrations de sortie du décanteur. De plus, il ne montre pas les variations des concentrations à la sortie du décanteur et présente des variations de concentrations pour la sortie du liquide en P5 alors qu'il n'y en a pas. En effet, à ce niveau le liquide est stable au cours du temps.

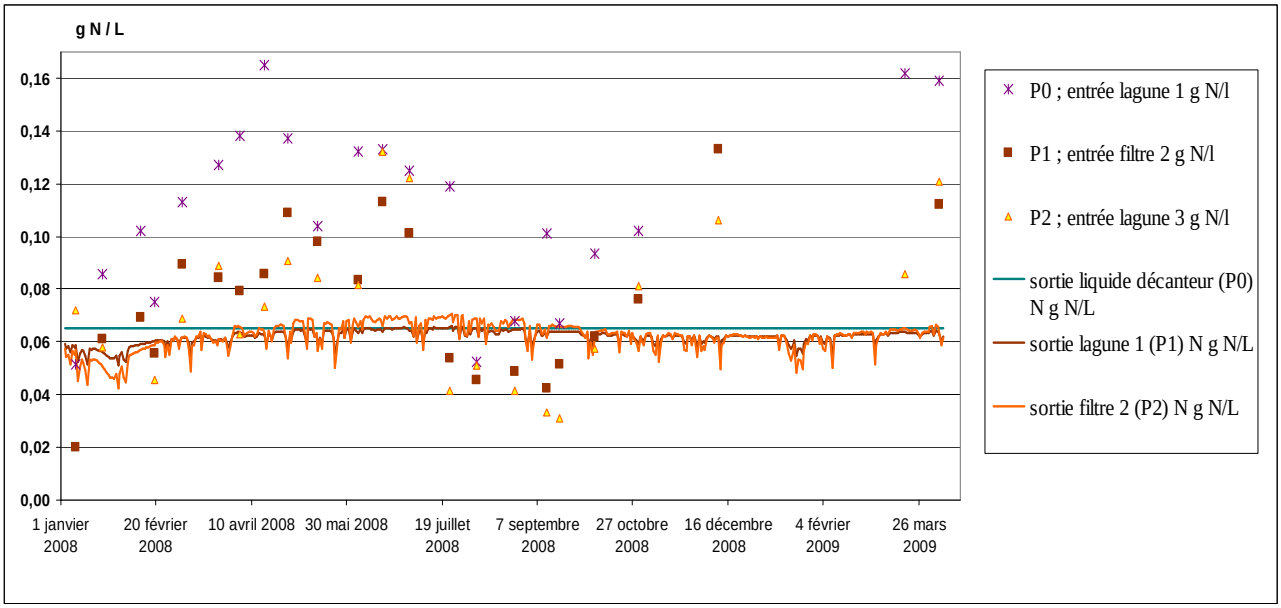


Figure 37 : Comparaison des résultats d'analyse et des résultats obtenus grâce au modèle pour P0, P1 et P2 en fonction du temps

Sur les premiers niveaux du lagunage on constate qu'il y a des variations dans les concentrations au cours du temps. Elles sont plus faibles en été et en automne tandis qu'elles sont maximales en hiver et au printemps. Ceci n'est pas visible avec le modèle, qui considère que les concentrations sont stables au cours du temps. De plus, on constate que le modèle affiche des concentrations en P1 et P2 parfois supérieures à celle de P0 et même des concentrations en P2 supérieure à celles de P1. Ce n'est que rarement le cas dans la réalité. Enfin, le modèle sous estime les concentrations en azote sur ces premiers niveaux.

Les derniers niveaux du lagunage présentés dans la figure 38 sont caractérisés par les mêmes variations que les autres niveaux : diminution des concentrations en azote en été et automne et augmentation en hiver et au printemps. Les résultats d'analyses montrent que les concentrations sont de plus en plus faibles au fur et à mesure du passage dans les bassins. Ceci n'est pas mis en évidence par le modèle qui d'une part surestime les concentrations et présente des teneurs qui varient à tel point que parfois les concentrations de P5 sont supérieures à celles de P3, ce qui n'est jamais le cas.

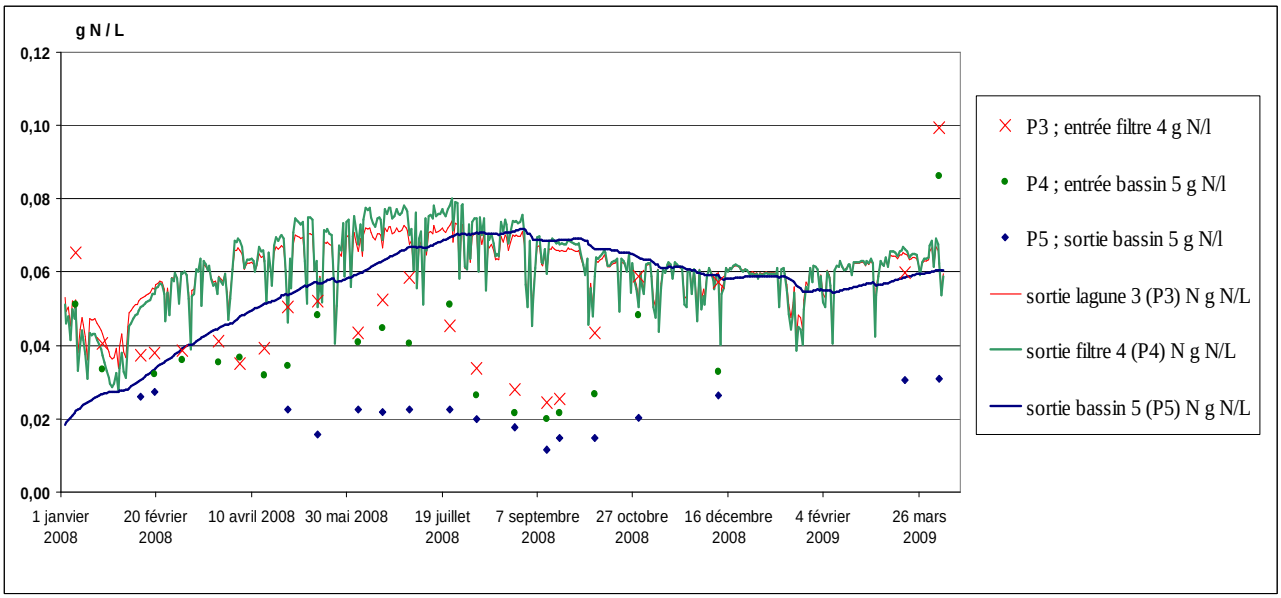


Figure 38 : Comparaison des résultats d'analyse et des résultats obtenus grâce au modèle pour P3, P4 et P5 en fonction du temps

7. Discussion

7.1 Formule d'ETP

La formule d'ETP qui a été utilisée pour le calcul de l'évapotranspiration sur la station expérimentale et sur le prototype (dans le modèle) est une formule très empirique. J'ai fait le choix de l'utiliser car les données qui étaient en ma possession ne me permettaient pas d'avoir tous les champs nécessaires à un calcul très précis d'ETP. En effet, les formules plus fines prennent en compte l'humidité de l'air, la force du vent… or je n'avais que les informations sur les températures et les précipitations à Spézet. De ce fait, et par manque de temps (le temps de retour des informations aurait été trop long étant donné le temps imparti), j'ai fait le choix d'utiliser ces données. Il n'y a que peu de stations qui enregistrent toutes les informations et au risque de perdre un peu de précision spatiale, il aurait été certainement plus pertinent de prendre un jeu d'informations complètes d'une station plus éloignée (Rostrenen à 37 km par exemple) afin de connaître plus précisément l'ETP. Cette formule permet donc de prendre en compte l'influence de l'ETP sur le flux d'eau mais ne permet pas de faire de conclusion sur son importance par rapport à la pluviométrie ou aux arrivées de liquide.

7.2 Abattements dans la station expérimentale

Concernant l'analyse des résultats de la station expérimentale, le constat peut être fait que les lagunes sont très performantes pour abattre la DCO lorsque l'effluent est chargé (niveau 1) tandis que la diminution de l'azote ne dépend pas autant de sa concentration dans le liquide. Ceci explique peut-être le choix de placer une lagune en premier niveau du prototype. Une grande partie des éléments peut sédimenter dès son arrivée dans le bassin. Ce phénomène est amplifié par la présence de macrophytes qui accentuent la sédimentation et donc l'abattement de la DCO et du Pt. Néanmoins toute la matière dissoute n'est pas retenue au premier niveau, une question peut donc être posée sur la pertinence d'utiliser des filtres plantés horizontaux. L'effluent étant encore chargé lorsqu'il arrive au deuxième niveau il risque d'y avoir un colmatage des filtres au fur et à mesure du passage du liquide. D'après Börner et al. (1998), le colmatage biologique est engendré par l'occupation de la porosité du matériau par la biomasse et les sous-produits issus du métabolisme bactérien. Si la production de boue devient supérieure au taux de décroissance de la biomasse, l'accumulation de boue peut survenir. De plus, plus le matériau du filtre est grossier, plus les MES pénètreront profondément. Le colmatage en sera retardé mais plus épais (Lefèvre, 1988). De ce fait, et puisque la maintenance du matériau utilisé dans les filtres n'est pas aisée (graviers), la pérennité de ce dispositif n'est pas assurée. Un changement de substrat (tourbe par exemple) pourrait être une réponse à ce problème mais, bien que le compostage pourrait être facilité, il faut être vigilant car la DCO pourrait être influencée par des substrats organiques. Néanmoins, l'avantage des filtres plantés verticaux par rapport aux horizontaux est de recevoir les eaux sur la surface, d'où la possibilité de curer les boues accumulées sur la surface du bassin quand cela s'avère nécessaire. Peut-être serait-ce une transformation à envisager ?

Concernant l'abattement de l'azote, on remarque que celui de l'ammonium dépend de sa transformation en nitrites et nitrates, or on a pu voir que celle-ci à lieu plutôt dans les lagunes et au printemps et en été. La solution n'étant pas que l'ion ammonium soit transformé en nitrites et nitrates, il est important que ces derniers soient à leur tour transformés en azote gazeux. La dénitrification semble quant à elle avoir lieu dans les filtres plantés. Cette alternance de filtres plantés et de lagunes est donc intéressante non seulement pour l'abattement de l'azote mais pour les autres paramètres également. Les lagunes permettent l'abattement de Pt, de l'ammonium et de la DCO ainsi que la production de nitrites et nitrates tandis que les filtres permettent l'abattement des nitrites et des nitrates. Mais une seule succession avec un dimensionnement plus important n'aurait-elle pas été suffisante ? De plus, il serait peut-être utile de revoir la nature du dernier bassin. En effet, la lagune P5 permet une nouvelle nitrification mais ne serait-ce pas plus adéquat de terminer le processus sur une dénitrification ?

Puisque l'abattement de l'azote dépend beaucoup du cortège microbien qui se trouve dans les bassins, il serait peut-être opportun de mettre en place une expérience visant à mesurer le potentiel redox des lagunes et des filtres afin de déterminer les populations de microorganismes qui s'y développent (Faulwetter et al, 2009).

Une autre remarque importante est celle de l'importance de la photosynthèse pour un tel procédé. Ceci s'explique par le fait que la photosynthèse, c'est à dire la croissance des plantes, dépend directement de l'ensoleillement et donc de la saison. Ainsi, le choix des espèces de plantes utilisées est de moindre importance par rapport au choix du lieu de lagunage qui doit profiter au maximum de l'ensoleillement. Il est nécessaire pour avoir une épuration optimale que les plantes profitent au maximum du printemps et de l'été. En effet, il apparaît grâce aux résultats obtenus que se sont les meilleures saisons du point de vue de l'épuration de nombreux paramètres. Ceci dit, le climat du Finistère n'a pas permis de garder les plantes sur les lagunes durant la saison hivernale ce qui oblige à racheter des plantes en début de saison. Ceci représente un coût supplémentaire du dispositif (surtout s'il est utilisé à plus grande échelle) et une perte de temps non négligeable car il faut alors être très vigilant à l'implantation des plantes. De plus, il ne faut pas manquer le bon moment de mise en place car si les végétaux sont placés tardivement, leur croissance et donc l'épuration seront impactées.

Il serait à ce propos très intéressant de mettre au point de nouvelles expériences suivies sur un long terme, contrairement à ce qui a été fait jusqu'à présent (les modalités changeaient plusieurs fois par année). En effet, il serait par exemple bon de voir comment des espèces végétales non invasives et retrouvées dans les cours d'eau alentours s'adapteraient sur un tel dispositif. Beaucoup de macrophytes à caractère invasif ont été utilisés jusqu'à présent or, dans le contexte actuel des connaissances sur le problème des invasions biologiques il me paraît judicieux de se prémunir. Ce risque est cependant plus fort pour les lagunes (risque de dispersion par les oiseaux par exemple) que pour les filtres plantés (plantes enracinées dans un substrat fixe).

Dans un autre registre mais tout aussi important que les autres, il serait nécessaire de revoir la prise de données des stagiaires. En effet, le nombre de fichiers sur lesquels les données étaient enregistrées (données sur les conditions climatiques, sur les récoltes des plantes, sur les analyses des boues…) et la présence de valeurs aberrantes au fur et à mesure des années ont entraîné un important travail de remise à jour des informations et celui-ci n'est d'ailleurs pas terminé (pas de prise en compte des récoltes et autres mesures des macrophytes ainsi que des analyses de boues dans le fichier que j'ai réalisé). Il faudrait donc un unique fichier informatique dans lequel les stagiaires mettraient les informations au fur et à mesure de la prise des données (récoltes de plantes, problème apparus sur le système…). Ce fichier devrait être vérifié dans les jours suivants par le chercheur en charge du projet afin de déceler rapidement les erreurs. Ainsi, les analyses sur les échantillons problématiques pourraient être refaites ou les valeurs étranges comprises (perturbation du milieu par la récolte des plantes…) ce qui permettrait le désengorgement du congélateur dans lequel les prélèvements sont conservés. Il faut beaucoup de rigueur pour faire ce travail mais dans le cadre d'un dispositif de recherche cela est essentiel. De plus, il en va d'une optimisation du travail pour les personnes travaillant sur le dispositif.

7.3 Abattements dans le prototype

Concernant les résultats sur le dispositif à plus grande échelle, on constate que la DCO est abattue par les procédés basés sur des processus physiques tels que le tamis (séparation de phases), le lombrifiltre (rétention et transformation des matières en suspension) et le décanteur (sédimentation). Pour le phosphore on peut faire le même constat.

Si l'on regarde de plus près l'abattement de l'azote total, on pourrait se poser la question de la nécessité de conserver le tamis car le lombrifiltre à lui seul permettrait une très bonne diminution de ce paramètre. Néanmoins, ce niveau du procédé permet sans conteste la rétention du phosphore (qui se trouve pour une grande part dans la fraction solide du lisier) et la diminution de la concentration du

potassium (peut-être lié aux matières). De plus, il permet de diminuer la charge de l'effluent arrivant sur le lombrifiltre qui, ne l'oublions pas, fonctionne grâce à des organismes vivants qui n'apprécieraient peut être pas de recevoir directement du lisier brut. L'utilisation d'une centrifugeuse plutôt que du tamis vibrant serait une évolution intéressante car la maintenance du tamis est trop régulière pour que son efficacité soit optimale. Le lombrifiltre est cependant plus contraignant du point de vue de la maintenance qu'un simple décanteur ou filtre planté vertical. Il faut en effet nettoyer plusieurs fois par semaine la grille et les lombrics et plaquettes doivent être récupérés dans un bac et remis sur le lombricompost. Cet aspect est plutôt négatif pour un emploi du lombrifiltre par un éleveur. Il serait peut être nécessaire d'ajuster encore certains paramètres (périodes de retournement du lombrifiltre, quantité et fréquence de l'apport de plaquettes forestières…) avant l'implantation du procédé chez les éleveurs.

À propos de l'abattement en nitrites et nitrates, les mêmes conclusions que sur la station expérimentale peuvent être faites : les lagunes produisent des nitrites et nitrates tandis que les filtres se chargent de la dénitrification. De ce fait, l'intérêt de l'alternance des deux bassins semble à nouveau être démontrée mais la question de leur nombre demeure…

Sur le paramètre phosphore on a constaté que le dispositif, bien que permettant la diminution de cet élément dans le liquide, ne permet pas d'atteindre une concentration faible du phosphore dans le liquide. De ce fait, un dispositif de piégeage pourrait être ajouté en aval du système afin d'améliorer cette épuration et de permettre un rejet de l'eau dans le milieu naturel en cas de besoin (problème sur les bassins, maintenance…).

De plus, nous avons parlé à maintes reprises de la dénitrification mais le diazote n'est pas le seul gaz qui peut être produit au sein du procédé. En effet, du CH_4 (méthane), du N_2O (oxyde nitreux) et du H_2S (sulfure d'hydrogène) peuvent être formés en cas d'anaérobiose (ce qui peut parfois se produire lorsque la hauteur des boues est importante). Ainsi, il serait intéressant de mesurer les gaz émis au différents niveaux du système afin de comprendre plus en détails ce qui se passe tout au long du procédé et de savoir quel impact environnemental peut avoir un tel dispositif.

Parlant des conséquences environnementales du dispositif il est important de notifier que lorsqu'un tel dispositif est mis en place avec utilisation de végétaux ayant un potentiel invasif, il est primordial de le rendre inaccessible à la plupart des animaux afin d'éviter les disséminations. Le prototype de Guernévez, pour la partie lagunage, est d'ailleurs grillagé. Ceci permet d'éviter à la fois les risques de noyade et les intrusions d'animaux. Le procédé tel qu'il est conçu à la SPEG n'a pas pour but l'augmentation de la biodiversité mais il existe des moyens d'intégrer ce paramètre au traitement biologique du lisier. Pour valoriser plus aisément les produits formés il serait intéressant de remplacer un des filtres plantés par un taillis à très courte révolution (TTCR) de saules ou par une bambouseraie.

Enfin, ce que l'on a pu constater sur la station expérimentale c'est que la première année de fonctionnement présente une moins bonne capacité d'abattement que les années suivantes, de bons espoirs sont donc encore permis pour l'avenir du prototype.

7.4 Le modèle Excel

Concernant le bilan d'eau, le modèle semble bien consrtuit puisqu'il représente bien les variations du niveau de remplissage de la lagune P5 au fil des saisons (augmentation lorsque les précipitations sont plus fortes et diminution lorsque les précipitations sont plus faibles et l'ETP plus importante). Ceci dit, il reste un problème dans les valeurs que donne le modèle. En effet, la lagune P5 ne déborde pas autant de fois que le modèle le laisse croire. Il serait d'ailleurs utile de voir exactement combien de jours dans l'année ce bassin déborde. Ainsi, le modèle pourrait être affiné ce qui permettrait de voir comment régler le problème du dimensionnement de cette lagune. À ce propos, le modèle pourra donner des indications quant au système à utiliser pour pallier le débordement qui a bien lieu (couverture des lagunes afin de ne plus avoir d'influence de la pluviométrie, augmentation de la taille

du bassin…). Il serait également intéressant pour le paramétrage du modèle sur les flux d'eau de faire une mesure précise des débits du liquide passant dans les bassins (entrée et sortie) afin de valider ou non les données du modèle.

Le modèle présente une faible variation des concentrations en azote de Sp et St tandis que les analyses montrent qu'il y en a une. Il serait de ce fait intéressant de voir ce qui influence le changement de concentration au fur et à mesure des saisons (entrées et sorties d'animaux, lavage de la porcherie…) afin d'intégrer ces variations directement dans le modèle pour que ce dernier reflète plus précisément la réalité. Ceci obligerait une fois de plus beaucoup de rigueur dans la prise de données car il faudrait noter chaque intervention. Néanmoins, les courbes des concentrations se succèdent correctement, c'est-à-dire qu'elles diminuent au fur et à mesure des passages dans le tamis et le lombrifiltre. Concernant le lombrifiltre, l'hypothèse selon laquelle il permettrait une très bonne stabilisation du liquide ne semble pas vérifiée puisque les analyses montrent la même variation à ce niveau qu'aux niveaux précédents. Ainsi, il serait nécessaire de représenter plus finement ce compartiment pour mieux refléter la réalité.

Concernant le décanteur, les concentrations en entrée de porcherie sont plus élevées que celles de sortie du décanteur du fait que le prélèvement de liquide se faisait pour la porcherie dans le mélange de liquide tandis que les particules dans l'eau sortant du décanteur (alimentation de la première lagune) ont eu le temps de décanter et une partie de l'azote de se transformer. Ensuite, les concentrations en sortie de décanteur sont également plus élevées que celles en sortie de P5 du fait qu'il s'agisse du dernier bassin et que l'azote a été transformé et utilisé dans les niveaux précédents. À ce propos, le modèle ne montre pas tout à fait cela car parfois il présente la concentration en P5 supérieure à celle en P0 ce n'est jamais le cas en réalité. De ce fait, le modèle ne reflétant pas la réalité, il sera nécessaire de l'affiner. On constate également qu'il montre une stabilité de la concentration de sortie du décanteur car elle est liée à celle du lombrifiltre supposée stable. Peut être qu'en rectifiant en premier lieu l'hypothèse sur le niveau du lombrifiltre, cela influencera automatiquement les niveaux suivants. Ceci dit, il serait sans doute nécessaire de faire 2 modèles : le premier représentant le fonctionnement avant le mois d'août 2008 et le second représentant le fonctionnement après les travaux.

Sur le lagunage, le modèle ne semble pas au point. En effet, les successions des courbes ne sont pas bonnes et les concentrations sont sous-estimées pour les premiers niveaux et surestimées pour les derniers. Il faudrait également lié plus fortement les concentrations à la saison car en réalité, l'abattement de l'azote est influencé par la croissance des macrophytes (qui se nourrissent avec ce nutriment) et des bactéries. Cette croissance est optimale en été et en automne et donc les abattements plus forts ce qui n'est pas visible dans le modèle actuel. De plus, une rectification importante sur la capacité épuratoire de la lagune P5 doit être faite car le modèle la sous-estime.

Conclusion

Le système de valorisation du lisier étudié à la station expérimentale porcine de Guernévez est un dispositif innovant. Il permet de considérer le lisier non plus comme un déchet mais comme un coproduit de l'élevage aux propriétés intrinsèques intéressantes et valorisables.

Le constat que je peux faire grâce aux résultats que j'ai obtenus sur la station expérimentale et sur le prototype est le suivant : le système est basé sur des processus biologiques très complexes qui sont difficiles à maîtriser et son utilisation à grande échelle en traitement secondaire ne semble pas encore d'actualité. En effet, de nombreux paramètres posent encore des problèmes comme l'hétérogénéité de l'effluent sortant de la porcherie (difficile adaptation des végétaux à ces fluctuations), le problème de maintenance du lombrifiltre (période la plus adaptée à la maintenance, lavages de la gouttière d'écoulement du liquide lombrifiltré trop fréquents…), le colmatage à prévoir des filtres plantés, le manque de précision dans la mise en place des expérimentations (changements trop fréquents des modalités, informations non centralisées…), l'utilisation de plantes à tendance invasive et l'obligation de replanter de nouveaux végétaux en début de saison (les macrophytes ne supportant pas l'hiver breton).

De ce fait, il est nécessaire de continuer à mener ce projet car de nombreuses pistes d'améliorations s'offrent au système. La transformation des filtres horizontaux en filtres verticaux afin de maîtriser le colmatage, le changement de substrat dans les filtres plantés actuels afin de faciliter la maintenance et d'en permettre une valorisation, la mise en place d'un système de piégeage du phosphore en aval, les essais d'utilisation d'espèces végétales locales, la mise en place d'un système parallèle de lagunage en cas de panne du système principal ou encore l'utilisation de la station expérimentale pour un traitement tertiaire de l'effluent traité sont des pistes à développer.

Concernant le modèle, un grand travail d'amélioration est à prévoir mais c'est un outil qui, bien que complexe à prendre en main, trouve son utilité sur un tel système. En effet, il est important de pouvoir prévoir d'éventuels problèmes pouvant apparaître sur le dispositif afin de les anticiper et de ne pas devoir stopper le traitement du lisier.

La promotion de ce système auprès des éleveurs ne dépend cependant pas uniquement de son bon fonctionnement, l'aspect social est également très important. En effet, il n'est pas certain que les exploitants soient prêts à utiliser des systèmes novateurs comme celui étudié à la SPEG. Ne serait-il alors pas utile à ce stade de l'expérimentation de connaître les réelles motivations et demandes des éleveurs pour l'utilisation d'un tel dispositif de traitement biologique ? Ceci permettrait d'orienter les futures évolutions du système vers une réelle demande.

Bibliographie

Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse (RMC), Groupe Macrophytes et traitement des eaux (1999). Epuration des eaux usées domestiques par filtration sur lits plantés de macrophytes. Prescriptions et recommandations pour la conception et la réalisation. 79p.

Ahmad N. (1977). Water hyacinth and fish farming. Pakistan Journal of Science 28, 55-59

Amblard C. (2008). Etude du fonctionnement d'un système de lagunage à macrophytes pour l'épuration d'effluents d'élevage de la station porcine expérimentale de Gurenévez (SPEG) des chambres d'Agriculture de Bretagne aux échelles expérimentale et pilote. Mémoire de stage de master 2, université de Rennes 1, France

Anderson L.W.J. (1985). Use of bioassays for athelochemicals in aquatic plants. A.C. Thompson (ed.) Chemistry of Allelopathy, ACS Symposium Series, 351-370

Anonyme (1984). Inventaire des modes de valorisation de la biomasse végétale spontanée des zones humides. Récolte des hélophytes. Rapport intermédiaire et Inventaire préliminaire, Synthèse des deux premières phases. ministère de l'Agriculture, direction de l'Aménagement, Paris. Office national de la chasse, Paris ; E.P.A., Lons-Le-Saunier.

Arragon P. (2005). Epuration des eaux usées : le lombrifiltre, procédé expérimenté avec succès dans un village de l'Hérault.

Baldwin J.A., Hentges J.F., Bagnall L.O. (1974). Preservation and cattle acceptability of water hyacinth silage. Hyacinth Control J. 12, 79-81

Berland J.M., Boutin C., Molle P., Cooper P. (2001). Guide procédés extensifs d'épuration des eaux usées adaptés aux petites et moyennes collectivités (500-5000 éq-hab) : mise en œuvre de la directive du Conseil n° 91-271 du 21 mai 1991 relative au traitement des eaux urbaines résiduaires. Luxembourg : Office international de l'eau, 41p.

Börner T., Felde K., Gschlössl T., Gschlössl E., Kunst S., Wissing F.W. (1998). Constructed wetlands for wastewater treatment in Germany. Constructed wetland for wastewater treatment in Europe. Ed. Vymazal J., Brix H., Cooper P.F., Green M.B., Habearl R., 169-190.

Boutin C., Esser D., Molle P., Liénard A. (2000). Les filtres et lits plantés de roseaux en traitement des eaux domestiques usées.

Boyd C.E. (1969). Vascular aquatic plants for mineral nutrient removal from polluted waters. Econ. Bot. 23, 95-103

CEMAGREF (2006). Filières extensives : Nouvelles techniques et axes de recherche. Lyon, 31p.

Charbonnel Y. (1989). Manuel du lagunage à macrophytes en régions tropicales. Agence de Coopération Culturelle et Technique, 36 p.

Chartier M. (2005). Mise en place d'un système de lagunage à macrophytes pour l'épuration d'effluents d'élevage de la station porcine expérimentale de Guernévez des chambres d'Agriculture de Bretagne. Mémoire de stage, Université de Rennes 1, France.

Choi E. (2007). The piggery waste problem : in search of a sustainable solution. Water 21, 19-21

CORPEN (2003). Estimation des rejets d'azote-phosphore-potassium-cuivre et zinc des porcs. Influence de la conduite alimentaire et du mode de logement sur la gestion des déjections produites. Juin 2003, 41p.

Cooper P., **Griffin** P. (1999). A review of the design and performance of vertical-flow and hybrid reed bed treatment systems. Wat. Sci. Tech. 40, 1-9

Cronk J.K. (1996). Constructed wetlands to treat wastewater from a dairy and swine operations : a review. Agriculture, ecosystems and environment 58, 97-114

Culley Jr D.D., Epps A.E. (1973). Use of duckweed for waste treatment and animal feed. J. Water Pollution Control. Fed. 45, 337-347

Cutler H.T. (1985). Secondary metabolites from plants and their allelochemic effects. Bioregulations for Pest Control, American Chemical Society, 456-468

Direction des affaires financières (service central des enquêtes et études statistiques) (1997). La mesure de l'excédent azoté. Agreste primeur 25

Direction des affaires financières (service central des enquêtes et études statistiques) (2002). Le cheptel moyen double en douze ans. Agreste primeur 108

Dyck K., Ladisch M.R. (1979). Cattails : A novel cellulosic substrate. Laboratry of Renewable Resources Engineering, Perdue University, Lafayette. Indiana Publication n° 7763

Faulwetter J.L., Gagnon V., Sundberg C., Chazarenc F., Burr M.D., Brisson J., Camper A.K., Stein O.R. (2009). Microbial processes influencing performance of treatment wetlands : a review. Ecological engineering 35, 987-1004

Fey A., Benckiser G., Ottow J.C.G. (1999). Emissions of nitrous oxide from a constructed wetland using a groundfilter and macrophytes in waste-water purification of a dairy farm. Biol. Fertil. Soils 29, 354-359

Fievet S. (2008). Etude du fonctionnement d'un système de lagunage à macrophytes pour l'épuration d'effluents d'élevage de la Station Porcine Expérimentale de Guernévez des Chambres d'Agriculture de Bretagne aux échelles expérimentale et pilote. Rapport de stage de fin d'études, Ecole et observatoire des sciences de la terre, Strasbourg, France

Gabrielson J.E. (1981). Cattail rhizome – derived alcohol interim report. Alcohol Fuels Technology Grant DE-FGO2-81. AF92016. U.S. Dept. of Energy

Ghosh S., Klass D.L. (1976). SNG from refuse and sewage sludge by the biomass process. Proc. Clean Fuel from Biomass, Sewage, Urban Refuse and Agricultural Wastes. Proceedings of the Symposium, Orlando, Fla., January 27-30, 1976. (A77-37652 17-44) Chicago, Institute of Gas Technology, 1976, 123-181

Gibbs R.L., Green C., Doctor V.M. (1983). Isolation and anticoagulation properties of polysaccharides of Typha angustata and Daemonorop species. Thrombosis Research 32, 97-108

Glass R.L. (1980). Chemical compounds in cattail useful as an energy source. Final report to the Minnesota Energy Agency on Alternative Energy Research, University of Minnesota, st.Paul, MN.

Goma G., Yameogo T. R. (1981). Production de méthane et d'éthanol par voie biologique à partir de la biomasse : potentialités et concepts technologiques. Actes du deuxième colloque international de technologie, Lomé (Togo) 112-121

Gray N.F. (2004). Biology of wastewater treatment. Imperial College Press. Series on environmental science and management 4, 1421 p.

Guivarch C., Quillien JP., Chambre d'agriculture de Bretagne (2006). Intérêt d'un racleur à séparation de phase sous caillebotis : résultats d'une étude à la station régionale de Guernévez.

Guy M. (1996). Le lagunage écologique, Programme d'économie environnementale urbaine et populaire, 14 p.

Haller W.T., Sutton D.L., Barlome W.C. (1974). Effects of salinity on the growth of several aquatic macrophytes. *Ecology* 55, 891-894

Hamon G., Crenn K., Morand P. (Décembre 2006). Mise en place d'un prototype de lagunage à macrophytes pour l'épuration d'effluents d'élevage de la Station Porcine Expérimentale de Guernévez des Chambres d'Agriculture de Bretagne. Université de Rennes 1, 130 p.

Ingevall A. (2002). Azolla, aliment viable pour le bétail. LEISA India 4 (1)

Jiang, Xinyuan (1997). Treatment and utilization in the Bejing zoo by an aquatic macrophyte system. 10 p.

Ladenburg K. (1981). Cattails, a potential energy source. Contract report to the South Carolina Sea Grant Consortium. Agricultural Energy Dept., Clemson University, Clemson, NC

Lakshman G. (1987). Ecotechnological oportunities for aquatic plants – A survey of utilization options. Aquatic plants for water treatment and resource recovery, 49-68

Lamy Y., **Moreau** S. (2005). La phytorestauration de l'eau ou l'utilisation des végétaux dans l'épuration des eaux usées et pluviales. Travail d'étude de licence 1 biologie, Université catholique de l'Ouest Bretagne Nord, Guingamp, France, 22 p.

Landrain B. (2007). Lombrifiltre et lagunes pour valoriser la chasse d'eau. Atout Porcs 39, 10-13

Landrain B., Rammonet Y. (2007). Préserver la qualité de l'air dedans comme dehors. Atout Porc Bretagne 39

Landrain B. (2008). Six bâtiments en lisier frais à Guernévez, fonctionnement et perspectives. Communication de colloque à Guernévez

Lareo L., Bressani R. (1982). Possible utilization of the water hyacinth in nutrition and industry. Food Nutr. Bull., Tokyo, Japan 4, 60-64

Lay-Son Aguilera M. (2003). Epuration des eaux usées par lombrifiltration. Mémoire de thèse.

Lefèvre F. (1988). Epuration des eaux usées par infiltration-percolation : étude expérimentale et définition du procédé. Thèse en sciences de l'eau et de l'aménagement. Université des sciences du Langdoc, Montpellier II, 257 p.

Levasseur P., Janvier R., Robin I. (2000). Déshydratation du lisier de porc aéré sur lit de séchage planté de roseaux. Techniporc 23 (6), 9-14

Mir Z., Lakshman G. (1986). Voluntary intake and digestibility of complete diet containing cary levels of cattails by sheep and cattle.

Moäder Y. (2007). Etude d'un système de lagunage à macrophytes, rapport de stage de DUT. IUT de Brest, France

Molle P., Liénard A., Boutin C., Merlin G., Iwema A. (2004). Traitement des eaux usées domestiques par marais artificiels : état de l'art et performances des filtres plantés de roseaux en France. Ingénieries, numéro spécial, 23-32

Mustafa A., Scholz M., Harrington R., Carroll P. (2009). Long-term performance of a representative integrated constructed wetland treating fermyard runoff. Ecological engineering 35, 779-790

Nandabalan K., Kannaiyan S. (1986). Effect of salinity on Azolla pinnata. International Rice Research Newsletter 11, 3-9

Oudart D. (2009). Etude du traitement du lisier de porc par lombrifiltration et lagunage à macrophytes à l'échelle du pilote. Mémoire de Master 2, Université de technologie de Compiègne, France

Parra J.V., Hortenstein C.C. (1974). Plant nutritionnal content of some Florida water hyacinths and response by pearl millet to incorporation of water hyacinths in three soil types. Hyacinth Control J. 12, 85-90

Pietrasanta Y., Bondon D. (1994). Le lagunage écologique. Economia, 112 p

Radoux M., Cadelli D., Nemcova M., Ennabili A., Ezzahri J., Ater M. (2000). Optimisation of natural wastewater treatment technologies in the MHEA. Proceeding of the 7th International Conference on Wetlands Systems for Water Pollution Control, Florida, USA

Reddy K.R., DeBusk T.A. (1987). Nutrient storage capabilities of aquatic and wetland plants. Aquatic plants for water treatment and resource recovery, Magnolia Publishing Inc. Orlando, Florida, 337-357

Reddy K.R., DeBusk T.A. (1987). State of the art utilization of aquatic plants in water pollution control. Wat. Sci. Tech., 19 (10), 61-79

Reddy K.R., Sutton D.L. (1984). Waterhyacinths for water quality improvement and biomass production. J. Environ. Qual. 13, 1-8.

Riviere A. (2001). Epuration des eaux usées domestiques par les bassins-filtres à plantes aquatiques : projets pilotes d'assainissement autonome en milieu rural ou périurbain. Association eau vivante (Nantes), 18 p.

Sauze F. (1983). Croissance de la jacinthe d'eau en eau résiduaire urbaine et effet épuratoire de la culture (1ère partie). Ecologia Meditarranea (3-4), 23 p.

Sevrin-Reyssac J., De La Noüe J., Proulx D. (1995). Le recyclage du lisier de porc par lagunage. Editions Lavoisier Tec&Doc., 118 p.

Singh P.K. (1979). Use of Azolla in rice production in India. Nitrogen and Rice, International Rice Research Institute, Los Banos, Laguna, Philipines, 407-418

Société forestière de Franche-Comté (2006). Vade-mecum du forestier, p. 270.

Stowell R., Tchobanoglous G. (1983). Design of water hyacinth systems. Unpublished manuscript, Department of Civil Engineering, University of California, Davis, CA

Su K.L., Staba E.J. (1973). Toxicity, anti-neoplastic and coagulation effects of aquatic plants from Minnesota. Lloydia 36, 99-102

Subudhi B.P.R., Watanabe I. (1979). Minimum level of phosphate in water for growth of Azolla determined by continuous flow culture. Curr. Sci. 48, 1065-1066

Tao W., **Wang** J. (2009). Effects of vegetation, limestone and aeration on nitritation, anammox and denitrification in wetland treatment systems. Ecological engineering 35, 836-842

Taylor K.G., Bates R.P., Robins P.C. (1971). Extraction of protein from water hyacinth. Hyacinth Control J. 9, 20-22

Taylor K.G., Robbins R.C. (1968). The amino acid composition of water hyacinth and its value as a protein supplement. Hyacinth Control J. 7, 24-25

Tchobanoglous G. (1987). Aquatic plants for wastewater treatment : engineering considerations. Aquatic plants for water treatment and resource recovery, 27- 48

Triponel S. (2007). Le lagunage à macrophytes : épuration des eaux usées et valorisation des plantes. Mémoire de Master 2 de biologie gestion marketing, Université de Rennes 1, Rennes, 57 p.

Van Aller R. T., Pessoney G. F., Rogers V. A., Watkins E. G., Leggett H. G. (1985). Oxygenated fatty acids: a class of allelochemicals from aquatic plants. ACS Symp. 268, 387–400

Van Hove C., Lopez Y. (1983). Fisiología de Azolla En. Boletín técnico. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias agropecuarias, Palmira, I (1), 43-58

Vivier E. (1994). Le lagunage naturel, technique d'épuration des eaux, pourquoi ? comment ? : Les principes, les techniques, les questions, les exemples et suggestions. Nord-nature (hors série), 69 p.

Wang R., Korboulewsky N., Prudent P., Baldy V., Bonin G. (2009). Can vertical-flow wetland systems treat high concentrated sludge from a food industry ? A mesocosm experiment testing three plant species. Ecological engineering 35, 230-237

Wolverton B.C., McDonald R.C. (1981). Energy from vascular plants wastewater treatment systems. Econ. Bot 3, 99-104

Wolverton B.C., McDonald R.C. (1983). Aquatic vascular plant food. Miloslav Rechcigl. Jr. (ed.) Handbook of Nutrition Supplements, Human Uses, 1, CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida, 263-272

Wolverton B.C., **Rogers** B.C. (1975). Water hyacinths for upgrading sewage lagoons to meet advanced wastewater treatment standards : Part I. Nasa, 9 p.

Sites Internet

Agence de l'eau Seine-Normandie :
http://www.eau-seine-normandie.fr/fileadmin/mediatheque/Eau_du_robinet/Odr-4-SB.pdf (visité le 10.08.09)

Chambres d'Agriculture de Bretagne : www.bretagne.synagri.com (visité le 11.03.09)

Dictionnaire de l'environnement : http://www.actuenvironnement.com (visité le 27.07.09).

Encyclopédie libre : http://fr.wikipedia.org/wiki/Mati%C3%A8res_en_suspension (visité le 27.07.09)

FAO : www.fao.org (visité le 25.03.09) « *L'application de la biotechnologie à l'alimentation animale dans les pays en voie de développement* »

Liste des contacts

Chazarenc Florent, Dr., Ing. Maître assistant à l'Ecole des Mines de Nantes :
Département systèmes énergétiques et environnement
GEPEA, UMR-CNRS 6144
La Chantrerie
4 rue Alfred Kastler BP 20722
44307 Nantes Cedex
Tél : 02 51 85 86 93
Fax : 02 51 85 82 99
florent.chazarenc@emn.fr

Hurvois Yvan , chargé de mission à l'Agence de l'eau Loire-Bretagne :
Agence de l'eau Loire-Bretagne
Direction des espaces ruraux, délégation Armor-Finistère
Parc technologique du Zoopôle, espace d'entreprise Keraïa
18 rue du Sabot Bât. B
22440 Ploufragan
Tél : 02 96 33 39 55
Fax : 02 96 33 62 42
yvan.hurvois@eau-loire-bretagne.fr

Landrain Brigitte, responsable de la SPEG :
Chambres d'agriculture de Bretagne
Station expérimentale porcine de Guernévez
Guernévez
29520 St Goazec
Tél : 02 98 26 80 10
Fax : 02 98 26 84 36
brigitte.landrain@finistere.chambagri.fr

Le Gall Louis, technicien en bâtiment à Pigalys (groupement de producteurs) :
Pigalys
Zone de Mespaol
29290 St Renan
02 98 32 03 20

Paul André, éleveur de porcs, président de la SPEG :
Lieu dit Quillourou
26640 Scrignac
02 98 78 21 67

Robin Paul, chargé de recherche à l'INRA :
Agrocampus Ouest
65 Route de St Brieuc
35000 Rennes
02 23 48 52 21

Table des annexes

Annexe 1 : Caractéristiques des macrophytes pouvant être utilisés pour l'épuration de l'eau (Triponel, 2007)

Annexe 2 : Ensemble des données techniques et plan de la station expérimentale (Oudart, 2009)

Annexe 3 : Ensemble des données techniques du prototype (Oudart, 2009)

Annexe 4 : Schéma global de l'expérimentation (Fievet, 2008)

Annexe 5 : Protocoles d'utilisation des kits d'analyse « Les méthodes rapides du Dr Lange »

Annexe 6 : Données météorologiques (Météo France)

Annexe 7 : Tableau de données

Annexe 8 : Flux au sein du système de porcherie intégrée

Annexe 9 : Extrait du modèle Excel concernant la porcherie

Annexe 10 : Extrait du modèle Excel concernant le tamis

Annexe 11 : Extrait du modèle Excel concernant le lombrifiltre

Annexe 12 : Extrait du modèle Excel concernant le décanteur

Annexe 13 : Extrait du modèle Excel concernant la lagune 1

Annexe 14 : Extrait du modèle Excel concernant le filtre 2

Annexe 15 : Extrait du modèle Excel concernant la lagune 3

Annexe 16 : Extrait du modèle Excel concernant le filtre 4

Annexe 17 : Extrait du modèle Excel concernant la lagune 5

Annexe 18 : Extrait du modèle Excel concernant les autres données

Annexe 1 : caractéristiques des macrophytes pouvant être utilisés pour l'épuration de l'eau (Triponel, 2007)

Type de plante	Conditions	Avantages / Inconvénients
Macrophytes flottantes		
Eichornia crassipes	Ne supporte pas les T de l'eau de moins de 10 °C	+ : pouvoir tampon, pH stabilisé entre 6,8 et 7,2 - : peut provoquer des anoxies en période chaude
Pistia stratiotes	Ne supporte pas les T de l'eau de moins de 10 °C	+ : résistance au vent, meilleur rendement d'épuration printemps et automne que la jacinthe d'eau - : moins efficace en été
Hydrocotyle sp.	En polyculture : permet une meilleure absorption de DBO_5	+ : plus efficace que jacinthe d'eau pour DBO_5, transporte mieux l'O_2 - : croissance moins rapide que la jacinthe d'eau
Althernanthera sp.	Se développe dans un milieu à fort teneur en CO_2	+ : résiste à la pollution et aux basses T. - : quand les feuilles sont à l'ombre elles se décomposent
Lemna sp.	Se développe spontanément entre 17-30 °C	+ : couvert végétal diminue les fluctuations thermiques, réduit l'influence du vent
Azolla	Tolère la contrainte de l'hiver sous forme de spores	+ : quand combiné à l'urée, réduction de la volatilisation de NH_3, qui réduit le pH de l'eau, effet tampon
Macrophytes émergentes		
Typha	est bien adapté aux zones aquatiques peu profondes	+ : épuration effective en hiver et en été

Juncus		+ : bonne épuration des métaux lourds
Scirpus	Se développe au bord des marais parfois jusqu'à 1,5m de profondeur	- : peu résistant aux fortes charges organiques, plus exigeante en P que Typha
Phragmites	Se développe davantage dans des bassins dont les bords sont verticaux et non inclinés	+ : bon traitement de l'eau - : croissance et densité décroissent avec la profondeur de la lame d'eau
Iris	Meilleur rendement pendant la période hivernale	+ : grosses racines retiennent la terre. Le meilleur rendement pour rétention de N et P pendant périodes de repos végétatif hivernale.
Trapa natans	Se développe dans marais ou eaux à écoulement lent	- : productivité moyenne
Glyceria aquatica		+ : joli roseau
Carex	Emplacement soleil ou mi-ombre, se développe en bordure.	

Tableau 6 : caractéristiques des macrophytes pouvant être utilisés pour l'épuration de l'eau

Annexe 2 : ensemble des données techniques et plan de la station expérimentale (Oudart, 2009)

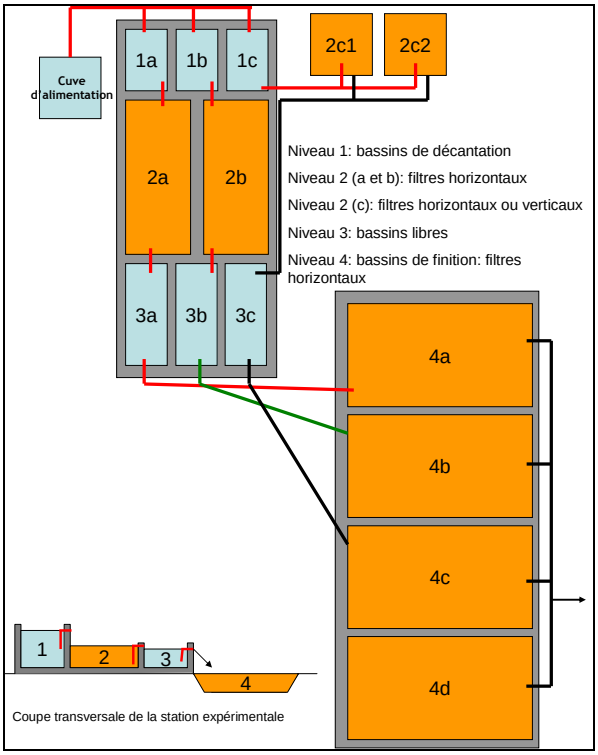


Figure 39 : plan de la station expérimentale

Bassin	Profondeur m	Surface m²	Volume m³	TSH calculé en jours	Remplissage	Etanchéité
Niveau 1 a, b et c	1,10	0,67	0,74	4,4	Eau	Enduit puis bâche plastique (600 µm) doublée
Niveaux 2a, 2b	0,51	2,50	1,28	3,4	Gravier concassé 6/10mm	Bâches plastiques
Niveau 2c	1,00	1,00	1,00	2,7*	Gravier concassé 6/10 sur 80cm (h); gravier concassé 20/40 sur 20cm (h)	Cuve PVC
Niveau 3 a, b et c	0,49	1,11	0,54	3,2	Eau	Enduit puis bâche plastique (600 µm) doublée
Niveau 4 a, b et c	0,35	5,00	1,75	4,7	Gravier concassé 6/10	géomembrane

Tableau 7 : récapitulatif des dimensions et temps de séjour hydraulique des bassins de la station expérimentale

*Ce temps de séjour ne tient pas compte de l'alternance entre les deux cuves. Si alternance il y a, alors ce temps de séjour hydraulique double.

Annexe 3 : ensemble des données techniques du prototype (Oudart, 2009)

Bassin	L (m)	l (m)	h_{max} (m)	Surface théorique (m^2)	Volume théorique (m^3)	TSH théorique (jours)	Etanchéité	Remplissage
P1	11,8	4,8	1,5	38	25	5	géomembrane	eau
P2	12,2	8,4	0,75	102	50	4	géomembrane	Gravier 6/10mm, +20/40mm au niveau des arrivées d'eau
P3	12,2	4,4	0,75	44	25	4	géomembrane	eau
P4	15,0	11,6	0,6	197	50	4	géomembrane	Gravier 6/10mm, +20/40mm au niveau des arrivées d'eau
P5	16,8	10,8	2,1	181	250	60	géomembrane	eau
Total				562	400	77		

Tableau 8 : caractéristiques techniques des bassins du prototype

Annexe 4 : schéma global de l'expérimentation (Fievet, 2008)

Les plantes indiquées sont données à titre d'exemple

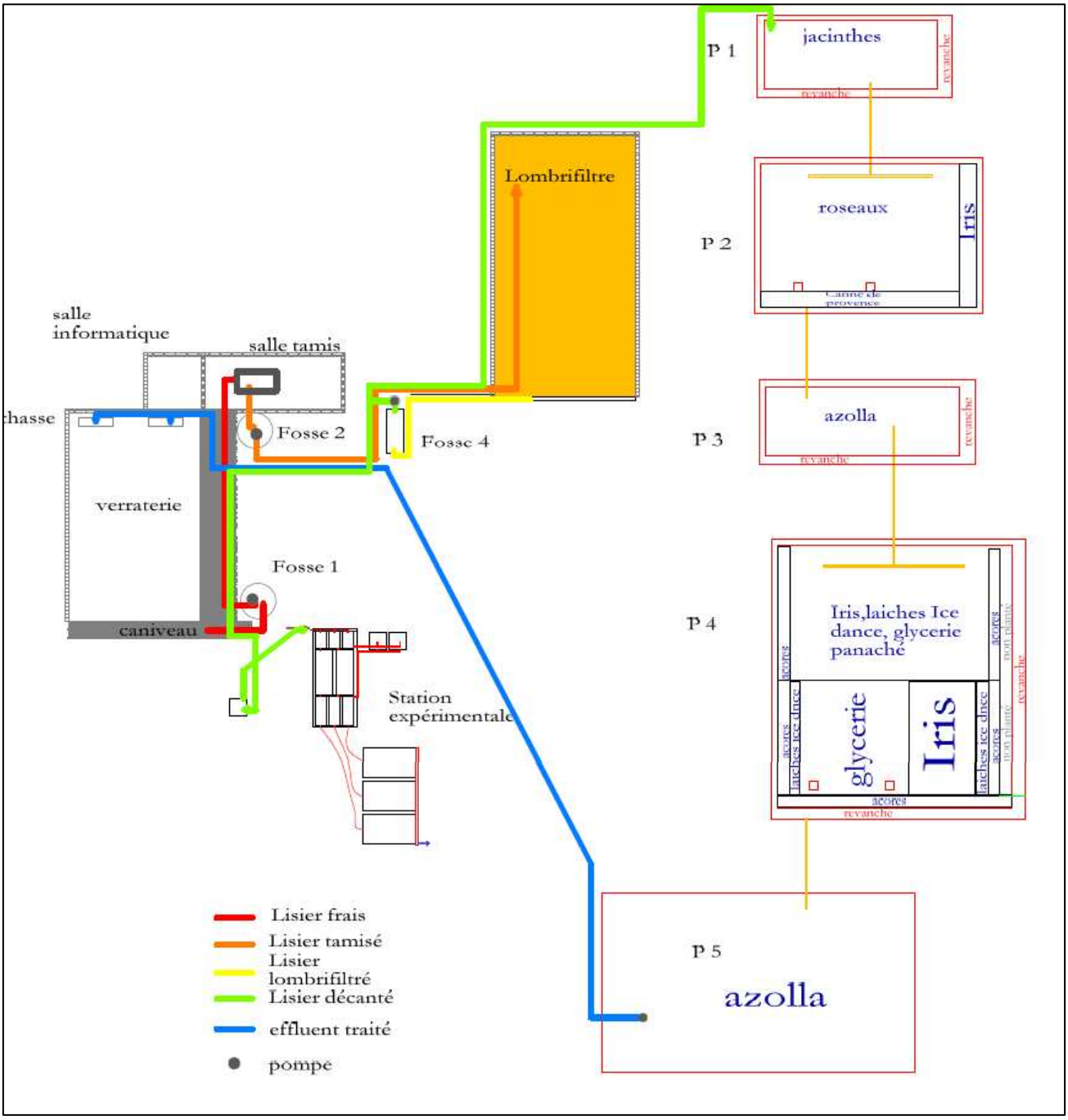


Figure 40 : schéma global de l'expérimentation

Annexe 5 : protocoles d'utilisation des kits d'analyse « Les méthodes rapides du Dr Lange »

- **Mesure de la demande chimique en oxygène.**

Les substances oxydables réagissent avec du bichromate de potassium sulfurique, en présence de sulfate d'argent. Le Cr^{3+} formé donne une coloration verte, mesurée avec le spectrophotomètre.

- **Dosage de l'azote total.**

L'azote organique et inorganique est oxydé en nitrates en présence de péroxydisulfate. Les ions nitrates réagissent ensuite dans une solution d'acides sulfuriques et phosphoriques avec du diméthylphénol-2,6 en formant du nitrophénol, dosé au spectrophotomètre.

- **Dosage de l'azote ammoniacal**

En milieu alcalin et en présence de nitroprussiate, qui agit comme un catalyseur, les ions ammonium réagissent avec des ions hypochloreux et salicyliques et donnent du bleu d'indophénol susceptible d'un dosage colorimétrique.

- **Dosage des nitrites**

Les nitrites réagissent en solution acide avec des amines primaires et aromatiques pour donner des sels diazonium. Ceux-ci forment avec des composés aromatiques un colorant azoique coloré, dosé au spectrophotomètre.

- **Dosage des nitrates**

Dans une solution d'acide sulfurique et phosphorique, les ions nitrate réagissent avec le 2,6-diméthylphénol pour donner du 4-nitro-2,6-diméthylphénol, dosé au spectrophotomètre.

- **Dosage du phosphore**

Les ions phosphates réagissent en solution acide avec les ions molybdate et antimoine pour donner un complexe de phosphore molybdate d'antimoine. Celui-ci est réduit par l'acide ascorbique en bleu de phosphoremolybdène, dosé au spectrophotomètre.

Annexe 6 : données météorologiques (Météo-France)

Date	Pluie (mm)	Tmin	Tmax	Tmoy
15-juin-06	0,2	13	19,3	14,7
16-juin-06	0	7,5	25,3	16,5
17-juin-06	0,2	9,6	27,5	19,7
18-juin-06	0	13,1	26,1	19,4
19-juin-06	0,6	14	17,7	15,3
20-juin-06	1,2	13,3	17,7	14,9
21-juin-06	0,6	13,6	17,5	14,7
22-juin-06	0	12,1	19,6	14,3
23-juin-06	0	5,3	21,6	13,7
24-juin-06	0	8,2	24,3	16,4
25-juin-06	0,4	12,6	22,2	16,8
26-juin-06	0,6	12,7	21,8	16,5
27-juin-06	0	11,8	22,3	16,5
28-juin-06	0	10,2	24,1	16,7
29-juin-06	0	11,2	25,5	17,4
30-juin-06	0	10	27,3	18
01-juil-06	0	11	31	22
02-juil-06	2,4	17,1	32,4	24,2
03-juil-06	0,2	16,6	27,2	21,1
04-juil-06	0	17,8	23,7	19,6
05-juil-06	17	16,1	23,3	18,1
06-juil-06	0,8	15,2	22,2	17,4
07-juil-06	3,8	14,8	18,8	16,3
08-juil-06	1,2	12,3	21,9	17,1
09-juil-06	0,8	14,3	22,2	17,7
10-juil-06	0,2	14,4	23,5	19
11-juil-06	0	14,3	21,8	17
12-juil-06	0,2	9,5	23	16
13-juil-06	0	10,4	22,7	16,4
14-juil-06	0	12,9	23,1	17,9
15-juil-06	0	13,7	28,7	20,5
16-juil-06	0	12,9	31,8	21,9
17-juil-06	0	10,4	34,3	22,5
18-juil-06	0	14,3	34,9	25,2
19-juil-06	2,2	16,6	26,7	20,4
20-juil-06	0	15,8	28,4	21,3
21-juil-06	0	14	29,1	20,8
22-juil-06	2	15,8	25,4	19,8
23-juil-06	0,6	15,6	25,5	19,1
24-juil-06	0,2	10,4	30,7	20,5
25-juil-06	0	13,7	27,1	20,3
26-juil-06	0	14,5	26,7	19,9
27-juil-06	0	14,8	26	19,4
28-juil-06	0	11,8	25	18,2
29-juil-06	4	14,9	22,7	18,2
30-juil-06	0	13,7	23,9	18
31-juil-06	5,6	15	22,1	17,2

01-août-06	0,4	14,3	20,3	16,7
02-août-06	0,6	14,5	20,5	15,8
03-août-06	0	10,9	20,5	15,4
04-août-06	0	12,4	23,8	17,8
05-août-06	0	12,5	23	18,2
06-août-06	0,2	16,1	26,6	19,5
07-août-06	0	12,4	23,3	17,7
08-août-06	0	14,7	24,8	18,8
09-août-06	0,2	9,9	21,5	15,5
10-août-06	0	9,7	21,4	15,5
11-août-06	0,4	11,3	20,1	15,6
12-août-06	0	12,2	20,6	15,8
13-août-06	0,2	9,7	18,5	14,2
14-août-06	0	11	21,6	15,5
15-août-06	3,8	9,5	20,7	14,6
16-août-06	14,4	13,5	19,9	15,9
17-août-06	10,4	13,1	20,7	15,4
18-août-06	0,6	12,4	21	16,2
19-août-06	1,2	14,1	21,1	16,5
20-août-06	0,2	13,5	21,6	16,7
21-août-06	0,4	14,1	20,4	16,6
22-août-06	0	9,6	22,3	15,7
23-août-06	14,6	12,5	19,3	15,3
24-août-06	0	10,9	20,7	15
25-août-06	1,2	12,4	20,3	15,9
26-août-06	0	14,4	20,2	16
27-août-06	3,8	12,2	22	16,6
28-août-06	7,8	13,6	19,5	16
29-août-06	3,2	12	18,8	14,1
30-août-06	0	9,4	21,2	14,8
31-août-06	0	11,2	22,6	16,3
01-sept-06	0,2	11	22,4	16,6
02-sept-06	3,4	15,1	19,2	17,7
03-sept-06	2,8	18,6	21,5	19,5
04-sept-06	0,2	18,8	25,1	20,6
05-sept-06	0,2	14,9	28	20,9
06-sept-06	0	14,5	27,1	19,6
07-sept-06	0	16,4	21	16,8
08-sept-06	0	10,6	23,4	16,1
09-sept-06	0	12,1	25,2	18,1
10-sept-06	0,2	11,6	26,7	18,7
11-sept-06	1	14,7	22,9	17,5
12-sept-06	0,2	15,6	24,7	18,5
13-sept-06	3	15,3	20,7	17,4
14-sept-06	11,6	14,2	17,4	14,5
15-sept-06	0,2	8,4	17,2	13,5
16-sept-06	0	11,8	19,6	14,6
17-sept-06	0	11,6	22,8	17,3
18-sept-06	0,8	13,3	21,4	16,8
19-sept-06	0,2	12	21,3	16,1
20-sept-06	0	13,4	23,4	18,5
21-sept-06	1,6	15,7	24,6	18,2
22-sept-06	11,3	14,2	19,9	15,8
23-sept-06	2	13,6	21,4	16,5
24-sept-06	6,4	13,1	18,7	14,8
25-sept-06	1	11,9	19,6	14,5
26-sept-06	0,2	9,1	21,2	14,6
27-sept-06	1,8	12,7	19,9	16,4
28-sept-06	9,8	16,6	20,5	17,6
29-sept-06	10	13,3	19,9	15,8
30-sept-06	7,8	13,2	19,7	16,4

01-oct-06	4,8	14,1	18,6	15,8
02-oct-06	4,2	13,1	18	14,8
03-oct-06	0,2	10,2	16,9	12,4
04-oct-06	0,2	6,6	16,8	11,9
05-oct-06	6,6	10,9	17,3	14,8
06-oct-06	8,8	13,7	17,5	15
07-oct-06	0,2	8,3	19	12,3
08-oct-06	7,2	9,9	18,3	14,1
09-oct-06	1,8	14,8	20,8	17,6
10-oct-06	29	14,5	21	17,6
11-oct-06	1,4	12,5	17,3	13,9
12-oct-06	0,4	7,6	19	12,7
13-oct-06	0	4,8	19,2	11,5
14-oct-06	0	7,6	21,1	14,4
15-oct-06	0,2	11,1	17,8	13,9
16-oct-06	1	12,3	20,3	15,8
17-oct-06	11,2	14,5	19,2	15,9
18-oct-06	6,3	14,5	19,7	16,7
19-oct-06	19	11,5	15,4	13
20-oct-06	2,6	11,7	16,6	14,2
21-oct-06	11	12,3	17,3	14,2
22-oct-06	23,4	11,8	16,3	14,6
23-oct-06	39,5	9,8	16,2	12,7
24-oct-06	0,6	10,4	15,4	12,7
25-oct-06	0,8	11,6	19,7	15,7
26-oct-06	0	14,4	20,3	15,5
27-oct-06	0,2	10,6	19,2	14,4
28-oct-06	0,2	13,6	21,2	15,8
29-oct-06	0,2	10,2	16,3	14,3
30-oct-06	0	14,8	16,8	15,7
31-oct-06	0,2	12,1	14,8	13
01-nov-06	0,2	5,1	12,2	7,2
02-nov-06	0,2	0,4	11,2	4,7
03-nov-06	0,2	0,3	11,4	5,6
04-nov-06	0,2	2,1	12	6
05-nov-06	0,2	0	14,8	5,8
06-nov-06	0,2	0,3	15,4	7,2
07-nov-06	0,4	0,1	11,7	5,9
08-nov-06	0	7,2	15,9	11,9
09-nov-06	0,2	8,7	16,5	11,7
10-nov-06	4,4	6,1	16	11,7
11-nov-06	1,4	12,2	15,1	12,7
12-nov-06	0	8,9	13,3	10,8
13-nov-06	0,4	9,8	14,3	13
14-nov-06	1	12,8	15,1	13,3
15-nov-06	17,4	12	15,5	13,9
16-nov-06	12,4	8,3	11,4	9,9
17-nov-06	24,1	6,9	13,8	9,2
18-nov-06	0,2	1,6	11,3	6,2
19-nov-06	9	2,3	12,6	7,6
20-nov-06	27,3	7,9	13,4	11,5
21-nov-06	4,6	5,9	11,5	7,8
22-nov-06	11,8	5	14,2	11,4
23-nov-06	3,2	9,3	13,9	11
24-nov-06	39,3	8,3	14,4	11,9
25-nov-06	4,2	7,8	12,3	10,4
26-nov-06	10,8	8,7	13,7	11,8
27-nov-06	17,2	10,9	14,8	12,5
28-nov-06	5,6	7,5	13,6	9,6
29-nov-06	0	6,5	14,1	9,6
30-nov-06	6,8	6,9	12,9	9,6

01-déc-06	15,6	9,6	13,7	12,8
02-déc-06	10,8	8,7	13,1	10,4
03-déc-06	23	8,8	13	10,5
04-déc-06	10	9,7	13,8	13
05-déc-06	10,6	9,7	13,1	11
06-déc-06	25,2	6,1	13	8,5
07-déc-06	27,4	8,1	13,2	10,9
08-déc-06	4,6	5	10,5	6,2
09-déc-06	4	3,7	9,4	5
10-déc-06	4	0,6	11	7
11-déc-06	12,8	8,9	11,7	9,7
12-déc-06	0,2	4,4	11,6	8,1
13-déc-06	0	8,3	12,4	10,4
14-déc-06	0	8,9	12,8	10,4
15-déc-06	7	8	12,5	10,1
16-déc-06	1	5	10	7,5
17-déc-06	0,8	2,6	11,1	6,3
18-déc-06	0,2	4,1	11,8	6,2
19-déc-06	0,2	-0,1	5,9	1,9
20-déc-06	0,2	-3,5	6,6	1,3
21-déc-06	0,2	-2	6	2,3
22-déc-06	0	3,1	7	5
23-déc-06	0,2	-3	5,7	1,5
24-déc-06	0	0,1	3,4	1,3
25-déc-06	0	0,4	5	2,2
26-déc-06	0	0	4,3	1,6
27-déc-06	0,2	1,8	6,5	4,6
28-déc-06	0,2	2,5	8,2	4,1
29-déc-06	35,6	1,7	13,1	9,9
30-déc-06	14,2	10,2	13,3	11,7
31-déc-06	16,4	9,3	13,7	11,7
01-janv-07	5	6,6	9,5	8
02-janv-07	0,4	5,9	10,6	7,6
03-janv-07	3,8	5,9	11,8	10
04-janv-07	0,2	8,3	10,9	9,4
05-janv-07	4,4	8,6	11,9	10,7
06-janv-07	3,2	7,6	11,5	9,5
07-janv-07	13,2	6,9	10,3	9
08-janv-07	6,6	8,4	12	10,4
09-janv-07	3,8	10,8	12,1	11,3
10-janv-07	4,8	4,8	10,7	8,2
11-janv-07	1,8	3,8	10,7	8,7
12-janv-07	1,2	6,9	10,8	9,5
13-janv-07	2	8,8	9,8	8,8
14-janv-07	0,2	2,4	9,3	4,7
15-janv-07	0,2	-1,4	11,5	6,4
16-janv-07	4,4	8,5	10,7	9,4
17-janv-07	24	8,2	10,9	9,6
18-janv-07	7,8	8,7	11,5	10,9
19-janv-07	2,2	10,4	11,2	10,7
20-janv-07	3,8	6,2	10,7	8,2
21-janv-07	3,2	3,4	8,4	5,3
22-janv-07	2	0,8	6,8	2,7
23-janv-07	0,6	0	4,2	2
24-janv-07	6,2	-1,6	4,1	1,1
25-janv-07	2	-0,8	3,1	0,1
26-janv-07	0,2	-3,4	4,1	0,8
27-janv-07	0	1,9	6,3	4,7
28-janv-07	0	4,8	6,7	5,4
29-janv-07	0	4	6,4	4,9
30-janv-07	0,2	3	9,1	4,9
31-janv-07	0	-1,7	7	3,3

01-févr-07	0,8	4,8	8,5	7
02-févr-07	1	6,6	8,3	7,2
03-févr-07	0	5,5	8,9	6,4
04-févr-07	0	1,4	10	4,8
05-févr-07	0	1,7	6,8	3,7
06-févr-07	3,6	-0,5	5,1	2,4
07-févr-07	13,2	2,8	7,6	4
08-févr-07	9,2	2,7	8,3	5,8
09-févr-07	14	4,7	10	6,8
10-févr-07	7,6	5,5	10,7	8,7
11-févr-07	15	8	10,8	9,4
12-févr-07	4,8	5,9	9,1	7,6
13-févr-07	33,6	4,7	10,1	7,7
14-févr-07	2,2	6,6	10,2	7,8
15-févr-07	0,8	4,3	10	7,8
16-févr-07	0,8	6,8	11,8	8,5
17-févr-07	0,2	4,4	13,8	8,3
18-févr-07	0	4,1	11,1	7
19-févr-07	6,8	5,1	9,1	7,3
20-févr-07	1,8	7,7	10,8	8,8
21-févr-07	8,2	4,2	10,2	7,4
22-févr-07	11	7,3	11,2	8,8
23-févr-07	22,2	6,6	10,5	8,7
24-févr-07	16	6,5	10,1	8,2
25-févr-07	5	4,5	10,1	7,2
26-févr-07	1,8	4,7	9,9	7,4
27-févr-07	3,4	7	10,4	9,6
28-févr-07	13,8	8,5	10,8	9,4
01-mars-07	0,4	7,2	9,8	7,9
02-mars-07	11,8	4,1	10,8	7,7
03-mars-07	7	6,1	11,1	8,3
04-mars-07	14	6,7	11	8,9
05-mars-07	33,8	3,8	10,1	7,5
06-mars-07	6	7,7	10,3	8,2
07-mars-07	9,6	4,5	9	6
08-mars-07	1,6	3,2	11,5	7,4
09-mars-07	0,6	6,8	11	7,9
10-mars-07	0,2	3	12,4	6,9
11-mars-07	0,4	2,3	14,4	7,4
12-mars-07	0	-0,2	15	7,7
13-mars-07	0	6,4	14,9	8,4
14-mars-07	0,4	0,1	16,1	5,9
15-mars-07	0,4	-1,5	15,1	5,9
16-mars-07	0	0,1	12,1	5,4
17-mars-07	0,6	4,4	11,2	8
18-mars-07	7	5,4	8,7	6,3
19-mars-07	10,4	0,6	5,6	3,2
20-mars-07	2	1,4	5,1	2,5
21-mars-07	0,4	-1,8	5,8	1,5
22-mars-07	6,8	-2,1	6,7	3,3
23-mars-07	0,6	5,2	7,1	5,6
24-mars-07	0,2	0,4	8,8	4,6
25-mars-07	1	3,1	8	5,8
26-mars-07	0	1,2	10,4	5,9
27-mars-07	0	2,9	14,2	8,4
28-mars-07	2,4	4	14,5	9,3
29-mars-07	5	5	11,3	8,1
30-mars-07	4	0,1	10	0
31-mars-07	11,6	2,2	8	0

01-avr-07	0,8	6,2	13,4	9,8
02-avr-07	0	9,5	18	13,8
03-avr-07	0	8	12,5	10,2
04-avr-07	0	5	12	8,5
05-avr-07	0,2	1	15	8
06-avr-07	0,2	1	19	9,5
07-avr-07	0	5	17,5	11,3
08-avr-07	0,2	3	16	9,5
09-avr-07	0,2	1,2	17,5	9,3
10-avr-07	0	2	21,2	11,6
11-avr-07	0	3,3	21,2	11,9
12-avr-07	5,8	6	17,6	10,7
13-avr-07	7,4	6,6	16,1	12,6
14-avr-07	0,2	12,6	19,6	14,3
15-avr-07	0	6,8	20,9	13,1
16-avr-07	0,2	10,9	20,5	13,8
17-avr-07	0,2	7,6	21,7	13,5
18-avr-07	0	7,3	20,7	12,9
19-avr-07	0	2,8	21	11,8
20-avr-07	0	2,3	21,6	12,4
21-avr-07	0,2	4,4	23,5	13,8
22-avr-07	0	5	23,3	13,6
23-avr-07	0	7,2	21,3	14,4
24-avr-07	1,2	11,4	21,2	15,3
25-avr-07	3	11,2	16,3	12,6
26-avr-07	8,8	9,4	15,7	12,1
27-avr-07	3,6	8	24,3	14,6
28-avr-07	2,4	11,2	20,3	14,5
29-avr-07	0	10,9	21,7	16,2
30-avr-07	26,1	10,6	22,9	13,8
01-mai-07	0,2	11	14,7	12,8
02-mai-07	0	9,5	21,6	15,1
03-mai-07	0	6,7	17,7	12,1
04-mai-07	0	7	16,4	11,2
05-mai-07	0	4,7	18,4	11,8
06-mai-07	0,2	7,5	17,2	13,4
07-mai-07	5,8	13,2	14,8	13,8
08-mai-07	6	12,9	15,1	13,9
09-mai-07	0,4	12,9	17,3	14
10-mai-07	3	12,5	16,4	13,2
11-mai-07	9,6	9,2	15	11,9
12-mai-07	8	11,2	17,5	13,3
13-mai-07	31,2	9,8	15	12
14-mai-07	0,8	10	14,2	10,6
15-mai-07	8	6,3	13,1	11,2
16-mai-07	1,8	10,3	13,7	12,3
17-mai-07	0	12,6	22,3	16,4
18-mai-07	0,2	12,4	21	14,3
19-mai-07	0,2	7,2	16,9	11,4
20-mai-07	8,2	6,2	15,4	10,4
21-mai-07	5,4	8,4	12,5	10,7
22-mai-07	0	11,2	19,8	14,1
23-mai-07	0,2	5,3	22,6	14,2
24-mai-07	0	8,2	24,3	16,6
25-mai-07	0	9,3	19,4	13,9
26-mai-07	7,4	9	15,3	11,5
27-mai-07	17,6	7,8	12,2	9,7
28-mai-07	0,4	7,9	14,1	10,1
29-mai-07	7,2	3,4	16,1	10,9
30-mai-07	5,6	10,2	17,1	13,4
31-mai-07	15,8	10,1	15,5	12

01-juin-07	0	7,2	17,5	12,6
02-juin-07	0	10,1	18,5	14,5
03-juin-07	18,4	11,8	18,7	14,4
04-juin-07	0,6	12,2	19,4	14,4
05-juin-07	0,2	10,6	21,7	15,4
06-juin-07	0	10,1	19,3	14,3
07-juin-07	1	12,5	23,4	16,6
08-juin-07	0	11,6	26,6	19,1
09-juin-07	0	10,7	26	19,3
10-juin-07	0,2	14,2	23,1	18,4
11-juin-07	0	15,7	23,8	18,1
12-juin-07	0	10,8	23,6	17,7
13-juin-07	3,8	13,8	20,1	16,1
14-juin-07	14,6	13,7	20,9	15,9
15-juin-07	11	11,8	20	15
16-juin-07	7,2	13,3	17,4	14,2
17-juin-07	9,6	10,5	16,6	13,9
18-juin-07	0	13,6	20,3	16,2
19-juin-07	0,6	13,3	22,4	16,7
20-juin-07	2,6	13,8	18,3	15,5
21-juin-07	14,8	13	16,5	14,1
22-juin-07	2,6	12,4	18,8	14,6
23-juin-07	1,2	13,1	18	14,5
24-juin-07	25,6	11,8	14,9	12,8
25-juin-07	5,8	9,5	16,4	12,6
26-juin-07	1,4	11,7	15,3	12,5
27-juin-07	1,6	8,6	16,6	12,4
28-juin-07	1	11,3	17,8	13,8
29-juin-07	2,2	12,5	19,4	15,6
30-juin-07	11,8	14,7	17,7	15,5
01-juil-07	8,6	13,9	18,2	15
02-juil-07	13,4	12,1	16,3	13,9
03-juil-07	3,2	12,8	19	14,7
04-juil-07	0,4	11,9	18	14,3
05-juil-07	7,6	12,2	16,1	14,2
06-juil-07	0,6	12,1	19,3	15,2
07-juil-07	0	11,6	20,7	15,4
08-juil-07	10,4	12,3	20,3	14,8
09-juil-07	0,8	10	17,8	13,6
10-juil-07	0	11,7	18,5	14,6
11-juil-07	0	10,1	21,6	15,7
12-juil-07	0,8	14,3	19,4	16,8
13-juil-07	4	15	23	17,9
14-juil-07	0,4	13,8	20,9	16,7
15-juil-07	3,4	13,6	22,3	16,9
16-juil-07	0,8	12,6	20,1	16,4
17-juil-07	10,2	14,2	19,4	16,1
18-juil-07	0	13	21,1	16,6
19-juil-07	6,2	11,8	21,6	14,6
20-juil-07	0,2	11,8	19,8	15,1
21-juil-07	2,2	11,8	18,9	14,6
22-juil-07	7,6	11,6	20,1	15,6
23-juil-07	7,6	13,8	18,3	15,5
24-juil-07	0	14,1	21,4	16,5
25-juil-07	3,8	12,1	19,7	16,2
26-juil-07	0,6	14,3	19,6	16,1
27-juil-07	5,8	14,3	18,2	16,5
28-juil-07	0,8	13	21,7	17,2
29-juil-07	5,4	16	17,3	15,9
30-juil-07	0,2	10,3	21	14,8
31-juil-07	0,2	7,2	23,3	15,3

01-août-07	0,2	9,4	23,7	16,1
02-août-07	0,6	10,8	21,5	14,9
03-août-07	0	9,1	24,6	16,3
04-août-07	0,2	10,4	26,7	18,9
05-août-07	4,2	12,6	27	19,8
06-août-07	0,2	11,1	20,5	15,5
07-août-07	2	9,4	19,9	14,1
08-août-07	0,2	10,2	20,3	14,5
09-août-07	0,2	6,7	21,7	14,1
10-août-07	0	7,4	24,6	15,6
11-août-07	0,2	7,3	25,2	16,3
12-août-07	0	10,4	21,5	15,4
13-août-07	5,8	12	20,1	16,2
14-août-07	31,8	15,8	17,8	17,8
15-août-07	4,8	14,8	16	17
16-août-07	1	11,6	14,7	15,6
17-août-07	0	11	14,8	15,6
18-août-07	7,2	12,6	15,4	15,3
19-août-07	1,4	13,1	13,9	14,3
20-août-07	15,2	11,9	14,4	14,6
21-août-07	0	12,2	14	13,8
22-août-07	0,2	13,8	16,4	16,4
23-août-07	0,2	15	16,4	17,5
24-août-07	0	12	16,2	16,5
25-août-07	0,2	13,6	18,5	19,5
26-août-07	0	11,9	17,7	18,3
27-août-07	0,2	14,9	17,6	18,8
28-août-07	0	11,6	15,7	16,1
29-août-07	0,2	11,5	15	15,8
30-août-07	0	7,9	13,6	13,2
31-août-07	0	11,9	15,5	15,8
01-sept-07	0	13,5	15	16,3
02-sept-07	0,6	9,8	14,8	14,2
03-sept-07	0,4	12,3	15,2	15,9
04-sept-07	0,2	7,8	13,4	14,1
05-sept-07	0	6,2	14,2	14,2
06-sept-07	0,2	8,8	16,5	17,1
07-sept-07	0,2	11	17,5	17,9
08-sept-07	0	12,6	16,6	18
09-sept-07	0,4	11,9	16,2	16,9
10-sept-07	0	9,8	14,6	14,8
11-sept-07	0	10,6	14,7	15,8
12-sept-07	0,4	6,4	13,4	13,7
13-sept-07	0,2	6,7	14	14,5
14-sept-07	0	8,9	14,7	14,9
15-sept-07	0,2	11,3	15,9	15,6
16-sept-07	3,2	12,3	16	17,1
17-sept-07	13,6	12,2	12,8	14
18-sept-07	0	5,8	10,3	11,1
19-sept-07	0	6,2	11,4	11,9
20-sept-07	0	9,2	13,5	13,6
21-sept-07	0,2	9,4	13,8	14,7
22-sept-07	0	9,4	14,8	15,4
23-sept-07	14,6	12,7	15,7	15,1
24-sept-07	1,8	11,5	13,7	14,9
25-sept-07	0,4	8,8	12,2	13,1
26-sept-07	0,8	7,1	10,1	11,7
27-sept-07	0,2	3,9	8,9	9,4
28-sept-07	0,2	4	9,2	10,6
29-sept-07	0,2	3,2	9,7	11,1
30-sept-07	1,6	7,5	13,8	12,4

01-oct-07	0,2	13,3	16	16,7
02-oct-07	0	14,2	15,7	16,4
03-oct-07	0,2	12,9	15	17
04-oct-07	0,2	8,2	13,5	14,1
05-oct-07	0,2	9,4	14,2	15,3
06-oct-07	0	9,3	12,9	14,1
07-oct-07	0	10,4	14,2	15,3
08-oct-07	0,2	11,6	14,4	15,8
09-oct-07	4,2	11,8	14,8	14,7
10-oct-07	0,4	9,8	12,4	12,7
11-oct-07	0,2	8,4	11,4	12,7
12-oct-07	0,4	7,7	11,4	12,9
13-oct-07	0,4	5,6	10,1	11,4
14-oct-07	0	3,2	9,4	10,8
15-oct-07	0,2	9,3	12,5	13,1
16-oct-07	4,2	11	14,2	14,7
17-oct-07	0	10,1	11,6	13,3
18-oct-07	0	4,9	9,3	10,8
19-oct-07	0,2	1,4	7,3	8,6
20-oct-07	0,2	1,8	7,4	8,3
21-oct-07	0	2	8,3	8,8
22-oct-07	0	5,6	8	8,9
23-oct-07	0	3,7	7,7	8,7
24-oct-07	0,2	0,8	6,6	6,9
25-oct-07	0	4,7	8,5	7,7
26-oct-07	0	6,5	8,8	9,1
27-oct-07	0	7,9	10,7	11,4
28-oct-07	4,4	9	12,9	12,2
29-oct-07	0,2	8,9	10,2	11,4
30-oct-07	0,4	6,4	9,6	10,9
31-oct-07	0,4	5,3	9,2	10,7
01-nov-07	0	6,4	10,5	10
02-nov-07	0	11,1	12,9	14,1
03-nov-07	0	10	12,1	12,6
04-nov-07	0,2	6,3	10,1	10,4
05-nov-07	0,2	5	8,7	9,7
06-nov-07	0	5,2	8,8	9,8
07-nov-07	0,8	3,2	8,3	7,5
08-nov-07	0,8	8,1	10,6	10,9
09-nov-07	0	5,7	8,5	8,9
10-nov-07	0	7,3	9,9	10
11-nov-07	0,6	8,1	10,1	10,8
12-nov-07	0,2	6,2	7,9	9,8
13-nov-07	0,8	0	7,1	6,5
14-nov-07	1,6	8,2	9,2	10,3
15-nov-07	0,2	0,8	4,6	5,9
16-nov-07	0,2	-2,5	1,6	3,4
17-nov-07	1,4	-2,9	1,5	2,3
18-nov-07	20,2	1,1	7,4	6,3
19-nov-07	3	5,1	7,1	8,1
20-nov-07	11	5,2	7,2	7,7
21-nov-07	16,4	1,1	7	5,7
22-nov-07	1,4	4,8	7,4	8,4
23-nov-07	0,4	3	4,8	6
24-nov-07	1,2	-1,1	4,7	4,6
25-nov-07	0,2	6,3	10,1	9,4
26-nov-07	0,2	8,8	10,3	10,4
27-nov-07	2	10	10,5	11
28-nov-07	1,4	8,6	9,9	10
29-nov-07	2,8	7,2	9	9,8
30-nov-07	11,8	5,3	10,5	9

01-déc-07	0,6	6,6	9,8	9,6
02-déc-07	30,4	10,6	11,4	12
03-déc-07	0	8,8	9,9	10,5
04-déc-07	7	7,9	12	11
05-déc-07	8,6	10,8	12,1	12,5
06-déc-07	7,8	10,1	12,9	12
07-déc-07	2,8	7,2	9,5	9,6
08-déc-07	20,2	5,7	10	9,7
09-déc-07	4,6	5,7	8,8	8,2
10-déc-07	0,8	6,4	7,4	8,2
11-déc-07	0,2	0,3	3,4	5,2
12-déc-07	0,2	-1	3,1	3,3
13-déc-07	0,2	-2	1,8	2,4
14-déc-07	0,2	-2,3	0,8	2
15-déc-07	0	-3	-1,5	-1,5
16-déc-07	0,2	-6	-2,3	-1,1
17-déc-07	0	-5,3	-0,9	-0,9
18-déc-07	0,2	-4,6	-0,6	-0,1
19-déc-07	0	-6,1	-0,5	-0,4
20-déc-07	0	-0,9	3,2	3,8
21-déc-07	0	1,3	4,9	4,6
22-déc-07	0,2	4,5	5,7	6,9
23-déc-07	0	2,6	4,3	6,5
24-déc-07	0,4	-3	5,6	4
25-déc-07	13	7,1	8,2	9,2
26-déc-07	0,8	3,7	8,8	7,7
27-déc-07	0	9,2	10	10,3
28-déc-07	3,6	7,5	10,2	9,7
29-déc-07	1,6	6	7,9	8,1
30-déc-07	0	4,2	7,3	7,7
31-déc-07	0	5,2	7,3	7,2
01-janv-08	0	2,2	4,1	4,7
02-janv-08	1,2	0,2	1,4	2,2
03-janv-08	1,6	1,9	5	4,2
04-janv-08	8	5,9	7,7	8,4
05-janv-08	5,4	7,1	8,1	8,4
06-janv-08	14	5,9	9,1	9,4
07-janv-08	2,6	6,8	9	9,4
08-janv-08	4,6	7,8	9,5	9,3
09-janv-08	0,8	4,7	7,7	7,9
10-janv-08	32,6	7,3	10,1	9,6
11-janv-08	12,6	5,2	7,2	7,5
12-janv-08	5,6	2,3	7,1	6,4
13-janv-08	8,6	8	9,2	9,3
14-janv-08	14,6	6,3	8,8	8,8
15-janv-08	34,6	8,1	9,6	10
16-janv-08	2,6	4,8	7,3	7,7
17-janv-08	2,6	7,1	10,2	9,9
18-janv-08	1,2	9,4	12	11,3
19-janv-08	0	11,6	12,5	12,9
20-janv-08	0	10,6	11	11,3
21-janv-08	0	8,7	10,8	10,6
22-janv-08	0	8,3	10,7	11,1
23-janv-08	0	9,9	10,6	10,8
24-janv-08	0,2	6,1	7,9	8,3
25-janv-08	0,2	-2,1	3,2	4,6
26-janv-08	0,2	-3,1	2,4	4,1
27-janv-08	0,2	-3,3	3,6	5,1
28-janv-08	0	1	5,4	4,9
29-janv-08	3,4	5,5	6,4	6,6
30-janv-08	1,2	4,1	5,4	6,4
31-janv-08	21,6	2,5	7,6	6,5

01-févr-08	6,4	3,4	5,3	6,1
02-févr-08	1	0,4	4,3	4,6
03-févr-08	14,8	4,1	7	7,2
04-févr-08	22,6	2,4	6,8	7
05-févr-08	4,6	7,8	11,6	10,5
06-févr-08	0	6,9	9,7	10,5
07-févr-08	0,2	7,5	8,3	9,5
08-févr-08	0	3,2	8,6	9,8
09-févr-08	0	2,5	8,2	9,2
10-févr-08	0,2	-0,8	6	7,1
11-févr-08	0	0	6,2	7,3
12-févr-08	0	2	5,9	7,2
13-févr-08	0,4	0,1	5,6	7,3
14-févr-08	0,2	-0,4	5,4	6,3
15-févr-08	0	0,6	3,7	5,3
16-févr-08	0	-1,4	2,4	4
17-févr-08	0,2	-3,3	3,4	4,5
18-févr-08	0	2,3	6,1	7,3
19-févr-08	0	-1,7	5,6	5,1
20-févr-08	0	5,9	8,4	9,8
21-févr-08	0,2	5,7	9,9	10,1
22-févr-08	0	7,6	9,6	10,8
23-févr-08	0	5,1	8,9	8,6
24-févr-08	2,8	6,3	9,5	10,3
25-févr-08	11,4	5,9	9,7	9,5
26-févr-08	3,2	8,5	9,9	10,6
27-févr-08	9,6	5,7	9,2	8,7
28-févr-08	0,6	9,8	11,1	11,8
29-févr-08	0,8	7,6	10	10
01-mars-08	1,2	9,5	11	11,8
02-mars-08	2,4	9,2	10,7	10,7
03-mars-08	7,4	3,9	5,9	6,8
04-mars-08	0,2	3,3	5,1	6,2
05-mars-08	0	0,3	5,7	5,5
06-mars-08	0	3,1	7	6,4
07-mars-08	1,8	6,8	7,4	9,1
08-mars-08	7	4,5	8,4	7,6
09-mars-08	30,2	4,7	6,7	7,2
10-mars-08	6,6	4,9	7,9	7,1
11-mars-08	6,8	6,6	10,8	9,9
12-mars-08	1,2	6,9	8,9	9,2
13-mars-08	1,8	5,9	9,8	10,3
14-mars-08	0,2	9,8	11,2	12,6
15-mars-08	11	8	10,4	11,3
16-mars-08	0,4	8,4	9,5	10,9
17-mars-08	0	6,7	7,2	7,5
18-mars-08	0	0,6	4,9	4,6
19-mars-08	0	2,8	4,9	6,3
20-mars-08	2,2	0,4	6,3	5,6
21-mars-08	5	6	7,9	8,4
22-mars-08	2,8	2,1	3,4	3,9
23-mars-08	5,2	-0,3	3,9	3,8
24-mars-08	2,6	3,7	7	6,9
25-mars-08	3,6	3,2	7,3	7,4
26-mars-08	4,6	5,7	6,2	7,8
27-mars-08	2,4	2,7	7,4	7,9
28-mars-08	8,4	6,6	9,3	9,4
29-mars-08	16,2	6	9,3	9,1
30-mars-08	9,2	7	8,5	9,9
31-mars-08	2,2	6,5	9,8	10,2

01-avr-08	0,2	8,6	11,5	12,6
02-avr-08	0	7,1	11,2	11,7
03-avr-08	0,2	8,9	12,1	13,8
04-avr-08	0	4,9	10,6	11,8
05-avr-08	0	6,1	8	9,4
06-avr-08	1,4	1,6	3,5	4,8
07-avr-08	0,2	-1,7	3,5	3,9
08-avr-08	0,2	-2	4,3	5,1
09-avr-08	0	-2	4,5	5
10-avr-08	0,2	-2,9	5,5	5,6
11-avr-08	2	3,2	8,1	8,2
12-avr-08	4,2	5,2	7,7	8,4
13-avr-08	2,6	3,9	7,4	8,4
14-avr-08	0	3,4	8	8,8
15-avr-08	0	0	7,4	7,5
16-avr-08	0	0,7	8,8	7,9
17-avr-08	2,6	5,1	8,3	9,7
18-avr-08	12	5,8	8,2	8,1
19-avr-08	2	7,8	11	11,7
20-avr-08	5,4	8,7	10,3	11,7
21-avr-08	7	5,2	8,7	7,7
22-avr-08	1,2	9,2	11,5	12,6
23-avr-08	0	7,6	12,1	12,9
24-avr-08	0,4	8,9	12,1	12,8
25-avr-08	0	8,6	12,5	13,4
26-avr-08	0	6,7	14,6	14,2
27-avr-08	0,4	10,4	11,8	13,7
28-avr-08	5,2	7,4	9,3	11,2
29-avr-08	20	6	8	8,9
30-avr-08	2,4	4,6	9	9,7
01-mai-08	9,6	5,7	8,7	9,8
02-mai-08	0	5,9	12	11,3
03-mai-08	0	11,2	17,6	17,6
04-mai-08	0,2	13,6	16	17,6
05-mai-08	0	10,2	14,6	15,6
06-mai-08	0	6,7	14,8	15,1
07-mai-08	0	7,7	16,8	16
08-mai-08	5,6	13,3	14,7	15,2
09-mai-08	16,2	11,2	13,3	14,6
10-mai-08	0	12,3	16,8	17,8
11-mai-08	0	11,3	17,5	18,3
12-mai-08	0	8,7	17,4	17,4
13-mai-08	8,2	9,1	16	17,1
14-mai-08	5,6	10,9	13,4	14,2
15-mai-08	17,1	8,7	12,4	13,9
16-mai-08	9	10,4	12,3	13,6
17-mai-08	15,4	10,5	12,1	13,4
18-mai-08	0,2	8,6	11,9	12,8
19-mai-08	0	7,4	11,4	12,2
20-mai-08	0	5,3	12,9	12,7
21-mai-08	0,4	4,4	13,7	12,4
22-mai-08	1,8	12,6	14,1	15,8
23-mai-08	8,6	7,9	13,6	13,3
24-mai-08	35,2	12,4	13,4	13,7
25-mai-08	17,7	10,9	14,9	15,5
26-mai-08	3	11,7	13,2	14,3
27-mai-08	4,2	10,6	15,1	15,9
28-mai-08	0,2	12,1	14,8	15,7
29-mai-08	9,4	11,7	15,1	17
30-mai-08	0,2	10,5	15,1	15,9
31-mai-08	0	11,3	16,3	16,9

01-juin-08	12,8	11,9	15,3	15,7
02-juin-08	2,4	12,4	13,7	13,6
03-juin-08	0	11,8	13,7	14,9
04-juin-08	1	7,6	12,7	12,8
05-juin-08	3,8	10,8	12,6	14,3
06-juin-08	0	7,2	11,8	11,9
07-juin-08	4,2	6,3	12,3	12,9
08-juin-08	0	5,5	14,1	13,3
09-juin-08	0	10,5	17,6	17,9
10-juin-08	0,2	10,7	17,6	17,8
11-juin-08	0	12,4	17,2	17,8
12-juin-08	0,2	11,7	14,2	15,1
13-juin-08	0	6,5	12	12,5
14-juin-08	0,4	5,9	12,3	12,2
15-juin-08	0	10,3	12,9	13,9
16-juin-08	0	7,9	13,8	14,2
17-juin-08	0	6,9	13,7	13,4
18-juin-08	3,2	10,8	14,6	14,7
19-juin-08	0	13,6	16,8	17,3
20-juin-08	0,2	13,5	16,3	16
21-juin-08	0,2	15,9	18,2	18,5
22-juin-08	0,2	16,2	16,5	18,7
23-juin-08	0	5,7	14,4	13,8
24-juin-08	0,4	7,3	16,5	15,8
25-juin-08	0	13,2	16,6	17,4
26-juin-08	0	9,3	15,1	15,3
27-juin-08	0,6	12,4	17,1	17
28-juin-08	0,6	15,2	17,3	18,1
29-juin-08	0	14,8	17,2	18,6
30-juin-08	0	9,9	17,1	17,4
01-juil-08	0,4	11,3	17,3	17,7
02-juil-08	2,8	12,1	15	16
03-juil-08	1,8	10,2	14,4	14,9
04-juil-08	8,6	10,8	14,9	14,3
05-juil-08	0	13	15,2	15,8
06-juil-08	12,6	12,4	13,5	14
07-juil-08	3,2	11,3	14,2	15,1
08-juil-08	2,2	11,5	14,4	15,3
09-juil-08	18,4	12,1	16,4	15,6
10-juil-08	1,2	14	16,4	16,9
11-juil-08	5	12,7	14,5	15,2
12-juil-08	0,2	11,3	13,8	15,1
13-juil-08	0	10,4	14,6	15
14-juil-08	0	8	15,1	13,6
15-juil-08	0	14,9	18,3	18,7
16-juil-08	0,8	12,8	15,9	17,4
17-juil-08	0,4	10,7	16	16,6
18-juil-08	0,2	13	16	16,2
19-juil-08	0,2	14,2	16,6	17,8
20-juil-08	0	10,4	15,2	15,8
21-juil-08	0,2	9	14,6	15,1
22-juil-08	0	7,6	16,4	17
23-juil-08	0	9,1	20,1	18,9
24-juil-08	0	17,1	20,8	22,3
25-juil-08	2,8	14,9	17,2	17,6
26-juil-08	0	15,1	18,1	19,9
27-juil-08	0	12,9	19,4	19,6
28-juil-08	11,6	12,6	16,2	17,9
29-juil-08	0	15,1	17,3	18,1
30-juil-08	0,2	15,4	19,1	19,8
31-juil-08	9,2	15,6	17,7	18,5

01-août-08	8	13,9	16,7	17,6	
02-août-08	0,8	15,2	17,7	17,9	
03-août-08	6,2	16,5	17,8	18,4	
04-août-08	0,4	13,4	17,2	17,8	
05-août-08	0	15,5	18,2	18,3	
06-août-08	0,2	16,3	18,2	19,2	
07-août-08	8,2	14,8	16,5	16,8	
08-août-08	0	14,8	16,4	18,1	
09-août-08	1,6	11,1	16	16	
10-août-08	0	15,5	16,8	18,2	
11-août-08	12,4	12	15,4	15,3	
12-août-08	1,8	12,7	15,5	15,7	
13-août-08	2,4	13,6	15,1	16,3	
14-août-08	1,4	11,4	14,3	15,5	
15-août-08	2,6	8,9	14	14,6	
16-août-08	5	13	14,8	15,5	
17-août-08	4,6	11	15,8	15,1	
18-août-08	5,2	14,5	15,9	16,4	
19-août-08	0,4	14,3	15,9	17,2	
20-août-08	1,4	14	15,6	16,5	
21-août-08	0,2	13,3	16,5	17,8	
22-août-08	0	12,5	20,1	14,9	16,3
23-août-08	2,4	9,8	19	14,2	14,4
24-août-08	1,2	12,4	20,3	15,8	16,4
25-août-08	0	12	20,3	16,4	16,2
26-août-08	0,2	14,8	22,1	17,1	18,5
27-août-08	0	14,3	22,2	16,6	18,3
28-août-08	0	14	17,7	15,7	15,9
29-août-08	0,2	13,9	23,5	16,7	18,7
30-août-08	0	10,8	29,3	19,5	20,1
31-août-08	1,4	13,4	19,1	15,4	16,3
01-sept-08	9	10,8	18,9	14,8	14,9
02-sept-08	16	13,2	18,3	14,9	15,8
03-sept-08	0,6	11,6	18,8	14,2	15,2
04-sept-08	23	10,8	16,3	13,7	13,6
05-sept-08	14,4	14	17,5	15	15,8
06-sept-08	5,2	12,1	17,2	13,7	14,7
07-sept-08	0	12,7	19,5	13,9	16,1
08-sept-08	0	7,2	20,6	14,8	13,9
09-sept-08	4,6	14,9	19,9	16,3	17,4
10-sept-08	5	12,9	19,8	16,6	16,4
11-sept-08	1,8	12,2	17,9	13,8	15,1
12-sept-08	6,2	8,5	18,6	12,7	13,6
13-sept-08	0,2	9,6	19,7	12,9	14,7
14-sept-08	0,2	6,2	21,4	13,2	13,8
15-sept-08	0,2	11,7	20,8	14,5	16,3
16-sept-08	0	6,6	20,2	12,1	13,4
17-sept-08	0,2	5,9	18,6	11,7	12,3
18-sept-08	0	6,6	18,4	11,5	12,5
19-sept-08	0,2	4,4	19	11	11,7
20-sept-08	0,2	4,6	20,4	11,9	12,5
21-sept-08	0,2	4,1	18,7	10,9	11,4
22-sept-08	0,4	5	18,9	11,7	12
23-sept-08	0	8	18,1	12,9	13,1
24-sept-08	0,2	9,2	16,8	12,7	13
25-sept-08	0,2	8,6	17,9	12,2	13,3
26-sept-08	0,2	6,4	19,7	11,3	13,1
27-sept-08	0,2	3,6	20,3	11,1	12
28-sept-08	0,4	4,5	21,3	11,6	12,9
29-sept-08	0	7,5	16,8	10,8	12,2
30-sept-08	2,4	7,8	15,4	12,5	11,6

01-oct-08	1,8	11,7	15,6	12,6	13,7
02-oct-08	3,2	7	14,7	9,1	10,9
03-oct-08	0	5,6	13,1	8,5	9,4
04-oct-08	19,2	5	15,5	11,2	10,3
05-oct-08	7,4	12,4	15,9	14,4	14,2
06-oct-08	16,4	12,6	17,9	14,7	15,3
07-oct-08	4,6	12	17,6	14	14,8
08-oct-08	0,2	6,3	17,6	10,6	12
09-oct-08	0,2	4,1	18,7	9,4	11,4
10-oct-08	0	4,1	19,5	10,9	11,8
11-oct-08	0,2	5,3	22,6	14	14
12-oct-08	0	10,8	22,7	17	16,8
13-oct-08	0	12,3	15,6	14	14
14-oct-08	2,2	11,8	15,6	13,7	13,7
15-oct-08	2,2	11,8	15	13,1	13,4
16-oct-08	1	8,9	15,3	10,3	12,1
17-oct-08	0,2	1,9	16,6	7,6	9,3
18-oct-08	0,2	2,1	16,3	7,8	9,2
19-oct-08	0,2	1,8	16,5	9,6	9,2
20-oct-08	14,4	8,6	15,2	12,6	11,9
21-oct-08	0,2	8,1	13,1	9,1	10,6
22-oct-08	0,4	4,2	16,4	9	10,3
23-oct-08	1,4	6,9	15,4	11	11,2
24-oct-08	3	10,6	13,6	11,4	12,1
25-oct-08	0	9,7	15,8	12,2	12,8
26-oct-08	8,4	11,6	15,8	13,5	13,7
27-oct-08	0,8	7	12,1	8,2	9,6
28-oct-08	3,4	2,3	11,1	5,5	6,7
29-oct-08	5,6	1,1	9,3	5,4	5,2
30-oct-08	11,2	3,7	12	5,8	7,9
31-oct-08	1,8	1,6	9,4	5,3	5,5
01-nov-08	4,4	4,9	8,6	6,9	6,8
02-nov-08	6,8	5,8	9,8	8,3	7,8
03-nov-08	0,4	8,6	11,8	10	10,2
04-nov-08	0	6,9	15,6	9,6	11,3
05-nov-08	0	7,4	12,3	10	9,9
06-nov-08	2,6	8,5	13,4	10,2	11
07-nov-08	11	7,1	13,9	9,5	10,5
08-nov-08	15,2	8,5	14,7	12	11,6
09-nov-08	1,6	7,6	13,9	11	10,8
10-nov-08	21,9	11,6	14,8	12,1	13,2
11-nov-08	5,4	6,5	13,6	9,1	10,1
12-nov-08	0,8	6	12,9	7,5	9,5
13-nov-08	1,6	2,5	12	8,1	7,3
14-nov-08	0,4	9,5	11,9	10,7	10,7
15-nov-08	0	10	12,2	10,9	11,1
16-nov-08	0,4	9,8	11,7	10,4	10,8
17-nov-08	3,2	9,2	12,1	10,3	10,7
18-nov-08	0	9,1	12,2	10	10,7
19-nov-08	0	5,4	13,3	8,7	9,4
20-nov-08	0,6	7	11,7	10,4	9,4
21-nov-08	1	10,3	12,4	10,8	11,4
22-nov-08	1,2	8,3	11	9,3	9,7
23-nov-08	9,8	5,5	11,4	8	8,5
24-nov-08	10,4	3,4	9,3	5,3	6,4
25-nov-08	0,6	2,2	8,4	4,1	5,3
26-nov-08	0,8	-0,5	7,9	4,6	3,7
27-nov-08	6,8	6,3	10	8,7	8,2
28-nov-08	0,6	3,2	9,6	5,8	6,4
29-nov-08	3	-0,2	6,3	4,4	3,1
30-nov-08	15,6	3,8	5,8	4,8	4,8

01-déc-08	0	2,9	5,6	3,6	4,3
02-déc-08	10,6	0,2	9,5	5,4	4,9
03-déc-08	6,6	1,9	10	5,6	6
04-déc-08	9,6	1,8	11,6	8,3	6,7
05-déc-08	2,4	5,7	10,5	7,7	8,1
06-déc-08	0	5,1	10,4	6,4	7,8
07-déc-08	0,2	-0,2	8,2	2,8	4
08-déc-08	1	-2,4	5,7	-0,9	1,7
09-déc-08	4,4	-1,7	7,9	4,5	3,1
10-déc-08	0,8	-0,2	7,5	2,6	3,7
11-déc-08	0,8	1,1	4,7	2,8	2,9
12-déc-08	28	1,4	10,4	6,5	5,9
13-déc-08	6,4	3,1	8,6	6,2	5,9
14-déc-08	3,8	-1,7	7	2,8	2,7
15-déc-08	0	2,6	7,3	6,3	5
16-déc-08	0,8	3	10,5	6,6	6,8
17-déc-08	0,2	4,6	10,7	7,1	7,7
18-déc-08	0,6	3,9	10,9	8,9	7,4
19-déc-08	0	6,5	11,7	8,8	9,1
20-déc-08	0	8	12,1	10,4	10,1
21-déc-08	0	9,1	11,8	9,6	10,5
22-déc-08	0	5,7	7,6	6,8	6,7
23-déc-08	0,2	4	7,8	6,1	5,9
24-déc-08	0,2	-0,4	9,6	3,5	4,6
25-déc-08	0	1,2	8	4,6	4,6
26-déc-08	0	0,9	6,1	3,1	3,5
27-déc-08	0	-2,3	4,7	0,4	1,2
28-déc-08	0	-3,1	2,1	-1,1	-0,5
29-déc-08	0	-3,1	7,3	0,7	2,1
30-déc-08	0,2	-4,6	5,2	-0,5	0,3
31-déc-08	0,2	-1,2	7,3	1,2	3,1

Tableau 9 : les données météorologiques

Annexe 7 : tableau de données

	valeurs à vérifier si échantillon disponible
	valeurs vérifiées, remplacées
	valeurs vérifiées, non remplacées
	Valeurs inutilisables
police	valeurs aberrantes

Date prélèvement	Niveau	Série	DCO (mg/L)	Nt (mg/L)	N-NH4 (mg/L)	N-NO3 (mg/L)	N-NO2 (mg/L)	Pt (mg/L)	K+ (mg/L)	pH	Plantes
13 mars 2006	**niveau 0**	**0**	269		42,45	1,102	0	5,48		6,17	
13 mars 2006	**niveau 1**	**1a**	217	25,1	26		0,047	2,72		6,68	lentilles
13 mars 2006		**1b**	403	32,4	24,7		0,063	2,88		6,65	élodées
13 mars 2006		**1c**	310	32,2	36,1	0,975	0	4,37		7,24	hydrocotyles
13 mars 2006	**niveau 2**	**2a**	18,35	17	18,3		0,01	1,70		6,62	roseaux
13 mars 2006		**2b**	22,8	19,9	21,8		0,026	1,83		6,62	massettes
13 mars 2006		**2c**	42,8	19,6	20,4	0,356	0,016	3,39		6,78	roseaux
13 mars 2006	**niveau 3**	**3a**	8,15	7,58	7,90	0,23	0,023	1,09		6,84	élodées
13 mars 2006		**3b**	15,8	10,80	10,40	1,01	0,032	1,12		6,60	hydrocotyles
13 mars 2006		**3c**	30,1	13,70	12,30			1,50		6,78	fougères d'eau
13 mars 2006	**niveau 4**	**4a**	5,26	1,23	0,047	0,308		0,489		6,03	glycéries/iris/laîches
13 mars 2006		**4b**	8,50	4,08	1,82	0,935		0,656		6,30	scirpes/acores
13 mars 2006		**4c**			0,45	0,546		0,242		6,36	joncs/menthes
29 mars 2006	**niveau 0**	**0**	308	38,4	28,2	0,413	0,098	2,82		7,12	
29 mars 2006	**niveau 1**	**1a**	138	21,3	13		0,049	2,79		8,33	lentilles
29 mars 2006		**1b**	232		10,8	0,329	0,079	3,17		8,18	élodées
29 mars 2006		**1c**	249		21,3	0,812	0,078	3,8		7,77	hydrocotyles
29 mars 2006	**niveau 2**	**2a**	30,6	13,9	6,86		0,017	2,46		7,49	roseaux
29 mars 2006		**2b**	84	23,5	16,8	0,321	0,026	2,87		7,73	massettes
29 mars 2006		**2c**	63,1	20,6	15	0,265	0,029	2,91		7,75	roseaux
29 mars 2006	**niveau 3**	**3a**	19,7	10,9	8,41		0,189	1,48		8,04	élodées
29 mars 2006		**3b**	57,3	14,7	8,13	1,19	0,965	1,39		8,48	hydrocotyles
29 mars 2006		**3c**	36,4	13,5	6,7	2,19	0,138	2,19		7,74	fougères d'eau
29 mars 2006	**niveau 4**	**4a**	6,37		1,45		0,026			6,67	glycéries/iris/laîches
29 mars 2006		**4b**	8,32	7,22	1,55	0,28	0,033	0,576		7,14	scirpes/acores
29 mars 2006		**4c**	10,5	6,88	3,42					6,94	joncs/menthes
20 avril 2006	**niveau 0**	**0**	174	23,8	16,3	1,05	0,056	1,02		6,59	
20 avril 2006	**niveau 1**	**1a**	244	30,4	17,2	0,911	0,124	2,84		7,46	lentilles
20 avril 2006		**1b**	149	22,6	16,5	0,389	0,040	1,23		7,69	élodées
20 avril 2006		**1c**	163	26,6	20,1	0,445	0,081	1,66		7,12	hydrocotyles
20 avril 2006	**niveau 2**	**2a**	53,3	15,3	12,8		0,030	1,13		7,18	roseaux
20 avril 2006		**2b**	52,2	15,9	12,9			1,83		7,74	massettes
20 avril 2006		**2c1**	28,5	12,0	8,66	0,341	0,025	1,23		7,10	roseaux
20 avril 2006	**niveau 3**	**3a**	60,0	16,5	11,3	0,255	0,035	3,65		7,34	élodées
20 avril 2006		**3b**	84,7	16,8	10,2	0,624	0,059	6,19		7,02	hydrocotyles
20 avril 2006		**3c**	81,1	16,1	10,9	0,312	0,043	3,66		7,34	fougères d'eau
20 avril 2006	**niveau 4**	**4a**	14,8		1,43	0,444	0,032	0,429		6,8	glycéries/iris/laîches
20 avril 2006		**4b**	24,0	9,45	6,25	0,323	0,027	1,95		6,95	scirpes/acores
20 avril 2006		**4c**	31,0	8,97	6,07	0,247	0,022	2,10		6,99	joncs/menthes
25 avril 2006	**niveau 0**	**0**	160	26,3	26,6	1,30	0	5,47		6,92	
25 avril 2006	**niveau 1**	**1a**	60,4	19,3	14,4	0	0	2,19		7,05	lentilles
25 avril 2006		**1b**	74,6	21,4	16,8	0	0	3,10		7,07	élodées
25 avril 2006		**1c**	60,2	21,7	16,4	0	0	2,89		7,09	hydrocotyles
25 avril 2006	**niveau 2**	**2a**	36,6	16,1	16,0	0	0	1,61		7,13	roseaux
25 avril 2006		**2b**	64,7	19,6	23,0	0	0	3,17		7,10	massettes
25 avril 2006		**2c2**	33,1	15,4	15,4	0	0	1,93		7,07	roseaux
25 avril 2006	**niveau 3**	**3a**	36,5	15,4	12,7	0	0	2,06		7,60	élodées
25 avril 2006		**3b**	76,7	16,8	12,9	0	0	2,77		7,05	hydrocotyles
25 avril 2006		**3c**	25,2	7,00	5,70	0	0	1,88		7,07	fougères d'eau
25 avril 2006	**niveau 4**	**4a**									glycéries/iris/laîches
25 avril 2006		**4b**									scirpes/acores
25 avril 2006		**4c**									joncs/menthes
3 mai 2006	**niveau 0**	**0**	247	25,2	16,7	0,47	0,074	1,88		6,99	
3 mai 2006	**niveau 1**	**1a**	123	20,3	13,5	0,253	0,045	1,32		7,37	lentilles
3 mai 2006		**1b**	178	20,7	15,0	0,386	0,045	1,56		7,18	élodées
3 mai 2006		**1c**	134	20,2	14,7	0,654	0,077	1,55		7,23	hydrocotyles
3 mai 2006	**niveau 2**	**2a**	76,1	18,3	14,1	0,266	0,028	1,59		7,39	roseaux
3 mai 2006		**2b**	69,2	19,9	14,5	0,259	0,025	1,46		7,42	massettes
3 mai 2006		**2c1**	48,0	14,0	8,53	0,568	0,02	0,972		7,31	roseaux
3 mai 2006	**niveau 3**	**3a**	39,6	16,3	10,6	0,269	0,068	1,07		7,35	élodées
3 mai 2006		**3b**	55,5	17,8	11,0	0,304	0,034	1,54		7,41	hydrocotyles
3 mai 2006		**3c**	34,6	15,4	6,85	0,452	0,084	0,899		7,53	fougères d'eau
3 mai 2006	**niveau 4**	**4a**	20,6	5,46	2,74	0,283	0,026	0,503		6,89	glycéries/iris/laîches
3 mai 2006		**4b**	38,3	11,1	6,82	0,851	0,035	1,7		7,53	scirpes/acores
3 mai 2006		**4c**	20,4	8,43	6,08	0,269	0,020	0,712		7,18	joncs/menthes
9 mai 2006	**niveau 0**	**0**	220	32,2	21,2	1,00	0	6,86		6,55	
9 mai 2006	**niveau 1**	**1a**	46,7	20,3	14,6	0	0	2,25		6,80	lentilles
9 mai 2006		**1b**	48,3	20,3	14,2	0	0	4,33		6,83	élodées
9 mai 2006		**1c**	53,2	20,7	13,6	0	0	4,59		6,93	hydrocotyles
9 mai 2006	**niveau 2**	**2a**	33,7	14,4	11,4	0	0	2,27		6,85	roseaux
9 mai 2006		**2b**	29,8	17,2	14,0	0	0	2,65		7,02	massettes
9 mai 2006		**2c2**	20,3	9,10	5,80	0,04	0	1,59		6,71	roseaux
9 mai 2006	**niveau 3**	**3a**	31,2	11,9	8,70	0	0,01	2,54		7,01	élodées
9 mai 2006		**3b**	32,5	15,1	12,9	0,05	0,07	2,56		7,13	hydrocotyles
9 mai 2006		**3c**	22	5,30	3,80	0,61	0,06	1,16		7,20	fougères d'eau
9 mai 2006	**niveau 4**	**4a**									glycéries/iris/laîches
9 mai 2006		**4b**									scirpes/acores
9 mai 2006		**4c**									joncs/menthes
16 mai 2006	**niveau 0**	**0**	147	10,2	0,715			1,58		6,73	
16 mai 2006	**niveau 1**	**1a**	227	22,4	7,33			3,74		7,10	lentilles
16 mai 2006		**1b**	107	20,7	7,16			4,54		7,21	élodées
16 mai 2006		**1c**	165	21,0	7,61			3,51		7,21	hydrocotyles
16 mai 2006	**niveau 2**	**2a**	33,6	10,5	4,24			1,56		6,90	roseaux
16 mai 2006		**2b**	30,7	16,1	6,61			1,80		7,13	massettes
16 mai 2006		**2c1**	18,7	2,10	0,575			0,718		6,55	roseaux
16 mai 2006	**niveau 3**	**3a**	28,4	3,50	3,19			1,19		7,22	élodées
16 mai 2006		**3b**	42,4	11,60	4,89			2,29		7,39	hydrocotyles
16 mai 2006		**3c**	23,5	1,75	1,34			1,14		7,23	fougères d'eau
16 mai 2006	**niveau 4**	**4a**	17,9	0,700	0,144			0,421		6,65	glycéries/iris/laîches
16 mai 2006		**4b**	29,7	5,25	2,18			0,872		6,90	scirpes/acores
16 mai 2006		**4c**		1,75	0,746			0,789		6,96	joncs/menthes
23 mai 2006	**niveau 0**	**0**	343	35,0	21,9	1,47	0,117	3,35		7,04	
23 mai 2006	**niveau 1**	**1a**	152	25,0	15,6	0,406	0,058	2,37		7,50	lentilles
23 mai 2006		**1b**	192	31,3	18,2	0,344	0,087	3,33		7,61	élodées
23 mai 2006		**1c**	255	28,7	16,8	0,906	0,095	3,64		7,21	hydrocotyles
23 mai 2006	**niveau 2**	**2a**	53,9	12,1	8,77	0,247	0,025	1,14		6,95	roseaux
23 mai 2006		**2b**	70,4	19,6	14,1	0,303	0,052	1,82		7,25	massettes
23 mai 2006		**2c2**	27,4	3,6	1,51	0,339	0,038	0,795		6,65	roseaux
23 mai 2006	**niveau 3**	**3a**	19,5	6,5	3,07	1,22	0,366	0,422		7,48	élodées
23 mai 2006		**3b**	35,2	12,2	8,58	0,426	0,106	0,857		7,52	hydrocotyles
23 mai 2006		**3c**	34,7	6,55	4,07	0,236	0,038	0,696		7,16	fougères d'eau
23 mai 2006	**niveau 4**	**4a**	7,53	0,89	0,036	0,152	0,02	0,112		6,32	glycéries/iris/laîches
23 mai 2006		**4b**	19,3	7,39	5,68	0,346	0,02	0,524		6,9	scirpes/acores
23 mai 2006		**4c**	14	2,98	1,03	0,225	0,021	0,300		6,81	joncs/menthes

30 mai 2006	**niveau 0**	**0**	1983	93,8	54,9	3,92	0,556	19,30		7,13	
30 mai 2006	**niveau 1**	**1a**	152	20,2	13,9	0,371	0,064	4,80		7,10	jacinthes
30 mai 2006		**1b**	222	23,4	14,5	0,521	0,117	4,70		7,16	laitues
30 mai 2006		**1c**	507	31,1	13,7	1,21	0,273	7,40		6,93	hydrocotyles
30 mai 2006	**niveau 2**	**2a**	71,4	14,6	10,5	0,232	0,021	2,40		6,82	roseaux
30 mai 2006		**2b**	74,0	19,90	14,0	0,295	0,037	2,40		6,93	massettes
30 mai 2006		**2c1**	46,3	7,75	4,12	0,235	0,035	1,60		6,59	roseaux
30 mai 2006	**niveau 3**	**3a**	35,9	10,3	7,20	0,674	0,222	1,10		7,12	élodées
30 mai 2006		**3b**	50,7	14,8	11,2	0,190	0,026	1,20		7,02	hydrocotyles
30 mai 2006		**3c**	57,0	11,5	7,85	0,356	0,037	1,80		6,92	fougères d'eau
30 mai 2006	**niveau 4**	**4a**	12,6	1,09	0,034	0,174	0,015	0,17		6,37	glycéries/iris/laîches
30 mai 2006		**4b**	26,8	8,52	6,53	0,242	0,042	1,16		6,80	scirpes/acores
30 mai 2006		**4c**	46,0	7,47		0,111	0,018	1,18		6,75	joncs/menthes
6 juin 2006	**niveau 0**	**0**	352	78,4	27,0			10,40		7,65	
6 juin 2006	**niveau 1**	**1a**	161	55,7	35,4			7,20		7,30	jacinthes
6 juin 2006		**1b**	158	59,5	55,8			9,00		7,68	laitues
6 juin 2006		**1c**	480	90,3	32,6			8,30		7,09	hydrocotyles
6 juin 2006	**niveau 2**	**2a**	81,5	28,4	18,0			3,10		6,60	roseaux
6 juin 2006		**2b**	57,3	45,9	22,6			2,60		6,81	massettes
6 juin 2006		**2c2**	120	42,0	37,6			5,80		6,87	roseaux
6 juin 2006	**niveau 3**	**3a**	66,2	18,2	9,50			3,40		6,98	élodées
6 juin 2006		**3b**	53,3	18,9	14,3			1,60		7,00	hydrocotyles
6 juin 2006		**3c**	154	20,7	18,3			6,10		6,71	fougères d'eau
6 juin 2006	**niveau 4**	**4a**	20,3	2,10	0,064			0,00		6,29	glycéries/iris/laîches
6 juin 2006		**4b**	27,5	7,35	6,00			0,00		6,66	scirpes/acores
6 juin 2006		**4c**	27,8	4,90	2,50			0,00		6,63	joncs/menthes
14 juin 2006	**niveau 0**	**0**	609	90,4	63,9	1,02	0,167	12,30		7,80	
14 juin 2006	**niveau 1**	**1a**	154	43,6	38,4	0,484	0,073	6,30		7,48	jacinthes
14 juin 2006		**1b**	153	68,8	61,8	0,573	0,051	6,70		7,80	laitues
14 juin 2006		**1c**	461	72,5	63,7	1,39	0,085	8,80		7,34	hydrocotyles
14 juin 2006	**niveau 2**	**2a**	69,6	47,7	44,9	0,389	0,023	4,60		6,83	roseaux
14 juin 2006		**2b**	47,7	48,9	47,8	0,337	0,023	4,40		7,00	massettes
14 juin 2006		**2c1**	89,8	33,0	25,4	0,468	0,046	3,40		6,62	roseaux
14 juin 2006	**niveau 3**	**3a**	54,4	24,2	27,3	0,644	0,386	2,70		7,10	élodées
14 juin 2006		**3b**	53,2	39,4	37,6	0,472	0,064	2,10		7,04	hydrocotyles
14 juin 2006		**3c**	60,9	31,1	27,4	0,547	0,032	2,80		6,99	fougères d'eau
14 juin 2006	**niveau 4**	**4a**	30,3	1,69	0,614	0,198	0,016	0,20		6,26	glycéries/iris/laîches
14 juin 2006		**4b**	17,2	9,95	8,78	0,541	0,029	0,80		6,68	scirpes/acores
14 juin 2006		**4c**	24,6	12,6	10,4	1,26	0,171	0,60		6,69	joncs/menthes
30 juin 2006	**niveau 0**	**0**	637	51,2	35,2	1,09	0,370	11,30		6,76	
30 juin 2006	**niveau 1**	**1a**	465	52,8	42,2	1,08	0,14	11,50		7,00	jacinthes
30 juin 2006		**1b**	176	40,3	34,4	0,652	0,093	9,44		7,36	laitues
30 juin 2006		**1c**	248	49,9	36,8	0,966	0,125	9,73		7,14	hydrocotyles
30 juin 2006	**niveau 2**	**2a**	62,9	37,6	31,4	0,459	0,053	7,23		6,89	roseaux
30 juin 2006		**2b**	60,7	48,6	40,2	0,493	0,082	7,45		7,08	massettes
30 juin 2006		**2c1**	213	45,0	34,1	0,658	0,100	10,70		6,91	roseaux
30 juin 2006	**niveau 3**	**3a**	54,1	50,2	40,9	0,746	0,25	6,27		7,60	élodées
30 juin 2006		**3b**	51,1	51,6	44,0	0,682	0,098	5,67		7,23	hydrocotyles
30 juin 2006		**3c**	65,1	23,6	19,5	0,679	0,304	4,71		7,15	fougères d'eau
30 juin 2006	**niveau 4**	**4a**	37,0	3,84	0,237	0,712	0,039	0,67		6,27	glycéries/iris/laîches
30 juin 2006		**4b**	26,2	36,2	35,6	2,95	0,304	1,83		7,25	scirpes/acores
30 juin 2006		**4c**	34,6	22,9	20,9	0,527	0,062	3,05		6,98	joncs/menthes
12 juillet 2006	**niveau 0**	**0**	481	45,70	19,4	0,713	0,019	12,80		6,89	
12 juillet 2006	**niveau 1**	**1a**	458	49,10	34,3	0,459	0,02	11,50		7,10	jacinthes
12 juillet 2006		**1b**	315	38,10	31,5	0,426	0,023	10,50		7,12	laitues
12 juillet 2006		**1c**	568	87,30	41,4	0,824	0,019	16,10		7,01	hydrocotyles
12 juillet 2006	**niveau 2**	**2a**	176	50,1	40,3	0,576	0,095	13,60		6,82	roseaux
12 juillet 2006		**2b**	165	54,5	46,4	0,573	0,105	11,80		6,91	massettes
12 juillet 2006		**2c1**	175	44,7	34,6	0,696	0,049	14,20		6,70	roseaux
12 juillet 2006	**niveau 3**	**3a**	149	46,6	36,2	0,577	0,025	10,90		7,29	élodées
12 juillet 2006		**3b**	149	43,4	37,0	0,524	0,021	7,88		7,05	hydrocotyles
12 juillet 2006		**3c**	152	39,3	28,6	0,475	0,021	11,60		7,02	fougères d'eau
12 juillet 2006	**niveau 4**	**4a**	68,2	8,13	3,06	0,492	0,018	5,66		6,33	glycéries/iris/laîches
12 juillet 2006		**4b**	46,4	27,9	24,4	0,49	0,057	5,85		6,74	scirpes/acores
12 juillet 2006		**4c**	70,2	24,5	20,9	0,583	0,048	6,91		6,78	joncs/menthes
20 juillet 2006	**niveau 0**	**0**	798	77,1	46,6	0,468	0,018	13,60		6,84	
20 juillet 2006	**niveau 1**	**1a**	150	27,5	19,5			6,18		7,17	jacinthes
20 juillet 2006		**1b**	171	33,2	19,5			6,80		7,11	laitues
20 juillet 2006		**1c**	412	49,3	25,4	0,307	0,015	5,48		6,92	hydrocotyles
20 juillet 2006	**niveau 2**	**2a**	108	25,3	17,5	0,408	0,014	5,40		6,79	roseaux
20 juillet 2006		**2b**	83,9	35,2	27,8			6,97		6,93	massettes
20 juillet 2006		**2c2**	111	24,9	17,0	0,291	0,025	7,18		6,87	roseaux
20 juillet 2006	**niveau 3**	**3a**	105	39,7	31,1	0,343	0,016	5,41		7,15	élodées
20 juillet 2006		**3b**	62,3	36,9	31,4			6,44		7,08	hydrocotyles
20 juillet 2006		**3c**	101	32,7	24,1	0,235	0,015	5,24		7,40	fougères d'eau
20 juillet 2006	**niveau 4**	**4a**	52,1	10,60	8,82	0,382	0,014	1,59		6,39	glycéries/iris/laîches
20 juillet 2006		**4b**	45,1	31,6	27,5			5,65		6,95	scirpes/acores
20 juillet 2006		**4c**	60,6	27,1	19,6			7,20		6,91	joncs/menthes
4 août 2006	**niveau 0**	**0**	1725	86,2	43,5	1,19	0,013(i)	23,9		7,04	
4 août 2006	**niveau 1**	**1a**	901	63,8	19,9	0,842	0,009(i)	23,9		6,95	jacinthes
4 août 2006		**1b**	666	53,9	48,0	0,43	0,014(i)	19,4		7	laitues
4 août 2006		**1c**	1406	73,5	20,9	0,553	0,009(i)	23		6,76	hydrocotyles
4 août 2006	**niveau 2**	**2a**	103	57,7	47,8	0,51	0,011(i)	18,3		6,76	roseaux
4 août 2006		**2b**	86,0	65,8	38,1	0,255	0,012(i)	27,4		6,95	massettes
4 août 2006		**2c**	111	40,9	25,4	0,516	0,025	10,9		6,76	roseaux
4 août 2006	**niveau 3**	**3a**	49,1	0,278	35,7	0,466	0,010(i)	14,4		7,22	élodées
4 août 2006		**3b**	48,9	0,779	41,3	0,613	0,017	12		7,46	hydrocotyles
4 août 2006		**3c**	132	1,79	16,8	0,34	0,012(i)	10,4		7,12	fougères d'eau
4 août 2006	**niveau 4**	**4a**	48,8	5,2	9,46	0,488	0,029	8,77		6,6	glycéries/iris/laîches
4 août 2006		**4b**	55,5	18,5	44,6	1,45	0,112	7,82		6,95	scirpes/acores
4 août 2006		**4c**	61,3	9,5	19,5	0,564	0,014(i)	9,71		7,04	joncs/menthes
18 janvier 2007	**niveau 0**	**0**	285	31,6	10,04	1,15	0,07	2,88		5,74	
18 janvier 2007	**niveau 1**	**1a**	57,9	3,04	1,6	0,22	0,04	2,5		6,91	lentilles
18 janvier 2007		**1b**	76.5	10,14	3,64	0,27	0,03	3,8		6,97	lentilles
18 janvier 2007		**1c**	592	3,1	2,24	0,24	0,03	3,1		6,63	hydrocotyles
18 janvier 2007	**niveau 2**	**2a**	12,5	12,9	3,28	0,19	0,02	1,15		6,03	roseaux
18 janvier 2007		**2b**	9,64	3	1,8	0,2	0,03	1,73		6,11	massettes
18 janvier 2007		**2c1**	63,7	15,54	1,754	0,27	0,05	3,43		5,84	roseaux
18 janvier 2007	**niveau 3**	**3a**	43,4	24,6	0,926	0,39	0,03	3,83		6,4	lentilles
18 janvier 2007		**3b**	23,2	10,28	6,54	0,53	0,05	1,8		6,58	hydrocotyles
18 janvier 2007		**3c**	60,6	12,08	1,386	0,46	0,03	1,18		6,43	lentilles/fougères d'eau
18 janvier 2007	**niveau 4**	**4a**	88,3	12,18	1,14	0,32	0,03	6,86		5,78	glycéries/iris/laîches
18 janvier 2007		**4b**	15,3	4,48	0,66	1,06	0,03	0,64		5,35	scirpes/acores
18 janvier 2007		**4c**	10,8	9,93	0,66	0,59	0,04	0,85		5,78	joncs/menthes

1 février 2007	**niveau 0**	**0**	622	51,7	44,7	1,45	0,054	4,16		6,78	
1 février 2007	**niveau 1**	**1a**	102	45,7	1,5	1,09	0,11	3,04		6,84	lentilles
1 février 2007		**1b**	348	44,2	34,7	0,91	0,09	3,2		6,87	lentilles
1 février 2007		**1c**	214	41,1	34,1	1,15	0,11	3,25		6,8	hydrocotyles
1 février 2007	**niveau 2**	**2a**	53,8	26,9	22,8	0,3	0,03	2,74		6,57	roseaux
1 février 2007		**2b**	59,7	50,4	2,1	0,41	0,03	2,2		6,7	massettes
1 février 2007		**2c2**	86,4	35,5	1,94	0,86	0,08	2,89		6,67	roseaux
1 février 2007	**niveau 3**	**3a**	52,7	18,7	9,92	1,33	0,12	2,01		6,69	lentilles
1 février 2007		**3b**	44,8	23,7	13,6	0,75	0,07	1,61		6,63	hydrocotyles
1 février 2007		**3c**	60,9	16,8	13,2	1,12	0,07	1,71		6,56	lentilles/fougères d'eau
1 février 2007	**niveau 4**	**4a**	21,4	10,7	******>	0,26	0,03	1,53		6,21	glycéries/iris/laîches
1 février 2007		**4b**	21,3	9,62	******>	0,97	0,03	0,78		6,43	scirpes/acores
1 février 2007		**4c**	18	10,2	*****>	0,53	0,04	0,46		6,32	joncs/menthes
14 février 2007	**niveau 0**	**0**	155	43,2	33,3	1,63	0,093	3,52		6,74	
14 février 2007	**niveau 1**	**1a**	98,6	25	1,51	1,17	0,101	3,52		6,73	lentilles
14 février 2007		**1b**	119	24,54	5,98	1,15	0,087	2,63		6,76	lentilles
14 février 2007		**1c**	170	33,9	33,5	1,08	0,071	3,09		6,77	hydrocotyles
14 février 2007	**niveau 2**	**2a**	65,7	25,8	25,2	0,724	0,055	2,74		6,68	roseaux
14 février 2007		**2b**	54,9	20,3	23,3	0,916	0,058	1,99		6,61	massettes
14 février 2007		**2c1**	71,3	38,2	20,7	1,08	0,088	2,82		6,55	roseaux
14 février 2007	**niveau 3**	**3a**	60	24	24,9	0,715	0,061	2,03		6,69	lentilles
14 février 2007		**3b**	54,4	25	23,6	0,735	0,056	2,1		6,76	hydrocotyles
14 février 2007		**3c**	58,5	29,1	25,2	1,66	0,086	2,39		6,73	lentilles/fougères d'eau
14 février 2007	**niveau 4**	**4a**	33,5	21,3	13,8	0,709	0,048	1,09		6,35	glycéries/iris/laîches
14 février 2007		**4b**	29,6	20,4	14,5	1,45	0,057	1,25		6,52	scirpes/acores
14 février 2007		**4c**	27,7	25	24,7	1,45	0,092	0,995		6,53	joncs/menthes
28 février 2007	**niveau 0**	**0**	823	45,3	32,8	1,55	0,048	3,2		6,7	
28 février 2007	**niveau 1**	**1a**	63,3	40,9	32,2	1,01	0,122	2,54		6,85	lentilles
28 février 2007		**1b**	69	32	30,1	0,906	0,153	2,79		6,82	lentilles
28 février 2007		**1c**	160	34,5	32,6	1,51	0,103	2,36		6,79	hydrocotyles
28 février 2007	**niveau 2**	**2a**	48,6	29,9	25,2	0,517	0,045	2,44		6,66	roseaux
28 février 2007		**2b**	47,5	38,3	27,5	0,427	0,041	2,48		6,72	massettes
28 février 2007		**2c2**	64,6	37,2	23,3	1,15	0,16	2,62		6,63	roseaux
28 février 2007	**niveau 3**	**3a**	53,2	42,3	24,1	1,17	0,104	1,91		6,83	lentilles
28 février 2007		**3b**	46,7	23	24,1	0,958	0,081	1,9		6,81	hydrocotyles
28 février 2007		**3c**	28,6	29,1	27	2,6	0,134	2,27		6,78	lentilles/fougères d'eau
28 février 2007	**niveau 4**	**4a**	26	14,4	10,8	0,694	0,034	1,08		6,38	glycéries/iris/laîches
28 février 2007		**4b**	17,5	19,2	16,1	2,7	0,052	2,3		6,51	scirpes/acores
28 février 2007		**4c**	67,8	21	16,9	2,16	0,112	0,996		6,46	joncs/menthes
14 mars 2007	**niveau 0**	**0**	1248	59,5	34,2	1,26	0,113	12,1		6,84	
14 mars 2007	**niveau 1**	**1a**	106	43,2	29,2	0,789	0,248	4,34		6,87	lentilles
14 mars 2007		**1b**	106	37,7	32,4	0,773	0,165	3,17		6,89	lentilles
14 mars 2007		**1c**	103	47,5	37,6	1,66	0,148	4,69		6,85	hydrocotyles
14 mars 2007	**niveau 2**	**2a**	57,5	33,8	24	0,57	0,062	1,4		6,54	roseaux
14 mars 2007		**2b**	50,5	37,1	26,7	0,453	0,04	2,14		6,83	massettes
14 mars 2007		**2c2**	58	39,8	24,1	1,32	0,06	2,83		6,66	roseaux
14 mars 2007	**niveau 3**	**3a**	40,2	31,5	24	1,81	0,107	1,57		6,8	lentilles
14 mars 2007		**3b**	44,1	35,9	24,2	1,13	0,079	1,56		6,78	hydrocotyles
14 mars 2007		**3c**	39,3	51,1	21,7	3,6	0,12	1,81		6,73	lentilles/fougères d'eau
14 mars 2007	**niveau 4**	**4a**	18,9	22,8	10,2	1,36	0,053	0,729		6,18	glycéries/iris/laîches
14 mars 2007		**4b**	23,9	33,1	15,6	6,18	0,058	1,05		6,47	scirpes/acores
14 mars 2007		**4c**	20	30,1	16	4,06	0,08	1,04		6,35	joncs/menthes
28 mars 2007	**niveau 0**	**0**	1037	37,9	23,2	1,24	0,027	7,58		6,76	
28 mars 2007	**niveau 1**	**1a**	115	33,7	14,5	0,482	0,012	7,14		7,02	lentilles
28 mars 2007		**1b**	119	31,5	26,6	0,47	0,014	5,99		6,93	lentilles
28 mars 2007		**1c**	130	36,8	30	0,855	0,012	7,07		6,77	hydrocotyles
28 mars 2007	**niveau 2**	**2a**	52,5	28,1	23,8	0,837	0,012	4,91		6,7	roseaux
28 mars 2007		**2b**	62,1	30,9	26,5	0,819	0,012	5,65		6,78	massettes
28 mars 2007		**2c2**	40,4	40,4	20,4	0,594	0,013	6,34		6,56	roseaux
28 mars 2007	**niveau 3**	**3a**	46,9	26,3	22,2	2,03	0,107	4,47		6,98	lentilles
28 mars 2007		**3b**	44,5	29,1	24,9	1,6	0,057	4,53		6,81	hydrocotyles
28 mars 2007		**3c**	38	29,2	22,5	3,72	0,133	4,82		6,69	lentilles/fougères d'eau
28 mars 2007	**niveau 4**	**4a**	27,1	13,4	12	1,76	0,056	2		6,3	glycéries/iris/laîches
28 mars 2007		**4b**	33,4	29,1	17,1	6,03	0,024	3,01		6,49	scirpes/acores
28 mars 2007		**4c**	25	24,4	18,1	3,46	0,035	2,47		6,43	joncs/menthes
12 avril 2007	**niveau 0**	**0**	256	57,6	14,3	1,16	0,027	3,2	30,9	6,52	
12 avril 2007	**niveau 1**	**1a**	92	31,1	17,7	0,631	0,054	2,34	38,5	6,81	lentilles
12 avril 2007		**1b**	94	25,3	16	1,38	0,238	2,31	33,7	6,76	lentilles
12 avril 2007		**1c**	135	46	16,6	1,51	0,06	2,43	76,6	6,75	hydrocotyles
12 avril 2007	**niveau 2**	**2a**	37,5	30,7	16,3	1,17	0,031	2,88	26,1	6,43	roseaux
12 avril 2007		**2b**	45,1	21,5	19	0,548	0,098	2,36	61,7	6,74	massettes
12 avril 2007		**2c2**	35,8	41,5	11,8	2,43	0,049	2,22	56	6,28	roseaux
12 avril 2007	**niveau 3**	**3a**	48,6	25,7	13,9	2,45	0,1	2,6	31,1	6,75	lentilles
12 avril 2007		**3b**	42,9	20,2	16,5	1,95	0,119	2,19	40,7	6,74	hydrocotyles
12 avril 2007		**3c**	43	36,4	11,1	3,85	0,12	2,52	62	6,63	lentilles/fougères d'eau
12 avril 2007	**niveau 4**	**4a**	5,37	12,9	9	1,05	0,034	1,83	59,8	6,18	glycéries/iris/laîches
12 avril 2007		**4b**	35,1	19,1	12,6	4,99	0,029	2,13	40,8	6,49	scirpes/acores
12 avril 2007		**4c**	8,54	18,1	9,28	4,5	0,027	1,91	47,9	6,43	joncs/menthes
25 avril 2007	**niveau 0**	**0**	258	61,2	31,9	1,15	0,07	6,91	96,8	6,67	
25 avril 2007	**niveau 1**	**1a**	171	41,9	27,1	0,87	0,014	4,64	102	6,73	lentilles
25 avril 2007		**1b**	156	57,9	29,2	0,464	0,014	3,77	93,8	6,9	lentilles
25 avril 2007		**1c**	141	50,1	31,5	0,589	0,015	5,69	112	6,76	hydrocotyles
25 avril 2007	**niveau 2**	**2a**	84,6	37,8	19,3	0,643	0,009	4	63,9	6,35	roseaux
25 avril 2007		**2b**	54,6	34,1	18,6	0,594	0,008	3,87	83,3	6,57	massettes
25 avril 2007		**2c2**	89,8	40,6	22,3	0,057	0,007	5,98	86,4	6,37	roseaux
25 avril 2007	**niveau 3**	**3a**	54,3	36,2	17,1	1,09	0,132	2,55	68,1	6,79	lentilles
25 avril 2007		**3b**	37,9	24,9	13,1	1,33	0,149	1,75	70,4	6,54	hydrocotyles
25 avril 2007		**3c**	71,3	29,4	11,4	0,878	0,085	3,06	57,5	6,5	fougères d'eau
25 avril 2007	**niveau 4**	**4a**	5	23,3	6,4	0,608	0,013	2,02	37,7	6,17	glycéries/iris/laîches
25 avril 2007		**4b**	13,2	19,1	8,35	2,25	0,011	1,62	66	6,3	scirpes/acores
25 avril 2007		**4c**	6	13,2	5,24	0,718	0,015	3	35,2	6,14	joncs/menthes
9 mai 2007	**niveau 0**	**0**		63,8						6,7	
9 mai 2007	**niveau 1**	**1a**		38,5						6,96	lentilles
9 mai 2007		**1b**		40,3						7,01	lentilles
9 mai 2007		**1c**		29,4						6,84	hydrocotyles
9 mai 2007	**niveau 2**	**2a**		36,3						6,46	roseaux
9 mai 2007		**2b**		33,5						6,67	massettes
9 mai 2007		**2c2**		18,7						6,22	roseaux
9 mai 2007	**niveau 3**	**3a**		19,2						6,8	lentilles
9 mai 2007		**3b**		20,5						6,75	hydrocotyles
9 mai 2007		**3c**		21,8						6,8	fougères d'eau
9 mai 2007	**niveau 4**	**4a**		8,37						5,9	glycéries/iris/laîches
9 mai 2007		**4b**		12,4						6,39	scirpes/acores
9 mai 2007		**4c**		6,86						6,26	joncs/menthes

15 mai 2007	**niveau 0**	**0**		45,7							
23 mai 2007	**niveau 0**	**0**	242	89,2	33,7	1,19	0,03	9	55,4	6,7	
23 mai 2007	**niveau 1**	**1a**	127	31,8	24,5	0,88	0,16	2,59	37,1	6,74	lentilles
23 mai 2007		**1b**	67	32,5	22,5	1,16	0,26	1,75	32,7	6,79	lentilles/laitues
23 mai 2007		**1c**	90	40,3	24,4	1,24	0,14	3,2	61,6	6,72	hydrocotyles
23 mai 2007	**niveau 2**	**2a**	63,3	26,1	20,4	0,44	0,02	2,48	28,2	6,44	roseaux
23 mai 2007		**2b**	58,9	25,8	22,4	0,36	0,02	2,21	31,8	6,53	massettes
23 mai 2007		**2c2**	53,6	23	15,4	0,72	0,09	1,54	69,9	6,3	roseaux
23 mai 2007	**niveau 3**	**3a**	35	24,7	18,4	0,51	0,03	2,4	24,2	6,65	lentilles
23 mai 2007		**3b**	41,4	22	17,7	1,24	0,14	1,9	23,1	6,65	hydrocotyles
23 mai 2007		**3c**	29	16,7	11,7	0,98	0,09	1,93	65,2	6,46	fougères d'eau
23 mai 2007	**niveau 4**	**4a**	23,7	12,3	9,99	0,43	0,01	1,45	11,4	6,12	glycéries/iris/laîches
23 mai 2007		**4b**	24	14,2	5,04	1	0,01	1,06	26,1	6,14	scirpes/acores
23 mai 2007		**4c**	20,2	9,03	6,55	0,41	0,02	1,24	56,7	6,22	joncs/menthes
1 juin 2007	**niveau 0**	**0**		48,7							
6 juin 2007	**niveau 0**	**0**		45,6						7,25	
6 juin 2007	**niveau 1**	**1a**		44,9						7,03	lentilles
6 juin 2007		**1b**		37,3						7,1	lentilles/laitues
6 juin 2007		**1c**		46,9						6,9	hydrocotyles
6 juin 2007	**niveau 2**	**2a**		27,9						6,25	roseaux
6 juin 2007		**2b**		36,3						6,61	massettes
6 juin 2007		**2c**		21,3						6,27	roseaux
6 juin 2007	**niveau 3**	**3a**		19,5						6,38	lentilles
6 juin 2007		**3b**		23,9						6,33	hydrocotyles
6 juin 2007		**3c**		15,2						6,3	fougères d'eau
6 juin 2007	**niveau 4**	**4a**		11,2						5,9	glycéries/iris/laîches
6 juin 2007		**4b**		11,2						5,95	scirpes/acores
6 juin 2007		**4c**		7,57						5,99	joncs/menthes
15 juin 2007	**niveau 0**	**0**		79,1							
20 juin 2007	**niveau 0**	**0**	1584	101	28,9	1,9	0,056	70,1	193	7,24	
20 juin 2007	**niveau 1**	**1a**	342	53,7	30,8	2,72	0,299	42,9	132	7,31	lentilles
20 juin 2007		**1b**	309	38,3	28,2	3,84	30	0,005	117	7,42	lentilles/laitues
20 juin 2007		**1c**	300	62,4	32,6	4,15	1,49	43,4	225	7,19	hydrocotyles
20 juin 2007	**niveau 2**	**2a**	166	36,4	22,2	2,58	0,054	38,4	129	6,75	roseaux
20 juin 2007		**2b**	176	31,3	25,5	2,48	0,109	35,1	117	7	massettes
20 juin 2007		**2c2**	165	34,7	17,8	3,56	0,237	43,4	131	6,74	roseaux
20 juin 2007	**niveau 3**	**3a**	163	29,9	18,5	2,36	0,063	30,1	113	7,1	jacinthes d'eau
20 juin 2007		**3b**	160	25,6	17,4	2,78	0,18	28,4	118	7,1	hydrocotyles
20 juin 2007		**3c**	167	11,11	18,8	3,51	0,253	27,8	117	7,06	fougères d'eau
20 juin 2007	**niveau 4**	**4a**	172	13,8	14,4	2	0,046	22,1	105	6,59	glycéries/iris/laîches
20 juin 2007		**4b**	116	12,9	8,66	1,63	0,049	12,8	80,7	6,32	scirpes/acores
20 juin 2007		**4c**	147	15,1	10,2	2,4	0,059	20,8	93,1	6,33	joncs/menthes
3 juillet 2007	**niveau 0**	**0**	631	81,8	17,7	13,1	1,22	47,5	118	7,2	
3 juillet 2007	**niveau 1**	**1a**	336	32,3	22,9	6,77	1,1	39,6	136	7,2	lentilles
3 juillet 2007		**1b**	269	30,2	20,3	11,4	1,33	32,7	132	7,2	lentilles/laitues
3 juillet 2007		**1c**	429	43,2	23,7	9,97	1,16	36,8	143	7	hydrocotyles
3 juillet 2007	**niveau 2**	**2a**	200	25	19,3	1,7	0,052	28,4	131	6,9	roseaux
3 juillet 2007		**2b**	191	25,7	18,4	2,19	0,117	25,2	112	6,95	massettes
3 juillet 2007		**2c2**	240	33,6	8,75	2,97	0,143	32,8	118	6,4	roseaux
3 juillet 2007	**niveau 3**	**3a**	201	23,6	18,2	2,04	0,128	28,8	130	7,2	jacinthes d'eau
3 juillet 2007		**3b**	177	20,9	14,9	2,64	0,232	29,7	112	6,9	hydrocotyles
3 juillet 2007		**3c**	223	41,3	12,3	3,48	0,216	27	120	6,7	fougères d'eau
3 juillet 2007	**niveau 4**	**4a**	179	19	14,2	1,94	0,049	29,7	117	6,8	glycéries/iris/laîches
3 juillet 2007		**4b**	150	12,9	9,37	1,82	0,035	22,1	82,5	6,7	scirpes/acores
3 juillet 2007		**4c**	171	16,1	8,35	2,01	0,059	22,7	95,8	6,6	joncs/menthes
10 juillet 2007	**niveau 0**	**0**	350	74,4	16,8	27,7	1,49	44,9	236	6,9	
10 juillet 2007	**niveau 1**	**1a**	178	57,7	17,4	20,3	1,21	48,4	222	6,9	lentilles
10 juillet 2007		**1b**	227	58,4	16,9	22,5	1,17	52,1	207	7,1	lentilles/laitues
10 juillet 2007		**1c**	329	65,4	16,3	20,9	1,79	56,8	216	6,83	hydrocotyles
10 juillet 2007	**niveau 2**	**2a**	32	36,9	17,5	3,36	0,231	32,9	182	6,85	roseaux
10 juillet 2007		**2b**	33	29,7	15,1	4,67	0,163	29,5	185	6,88	massettes
10 juillet 2007		**2c1**	36	42,1	14	15,6	0,672	39,5	204	6,58	roseaux
10 juillet 2007	**niveau 3**	**3a**	25	23,5	14,2	3,44	0,37	35,5	186	6,66	jacinthes d'eau
10 juillet 2007		**3b**	24	19,7	11,5	4,19	0,292	29,3	162	7,05	hydrocotyles
10 juillet 2007		**3c**	27	22,1	9,96	7,11	0,406	34	161	6,75	fougères d'eau
10 juillet 2007	**niveau 4**	**4a**	20	18,3	10,5	1,93	0,049	23,8	149	6,43	glycéries/iris/laîches
10 juillet 2007		**4b**	22	15,3	6,32	2,96	0,054	18,9	126	6,56	scirpes/acores
10 juillet 2007		**4c**	25	11	4,75	2,18	0,053	22,9	125	6,32	joncs/menthes
17 juillet 2007	**niveau 0**	**0**	291	42,2	10,4	22,1	0,877	46,5	203	6,9	
17 juillet 2007	**niveau 1**	**1a**	224	36,9	14,1	18,6	0,48	47,3	140	7	lentilles
17 juillet 2007		**1b**	196	44,5	11,1	23,5	1,05	44,9	106	7	lentilles/laitues
17 juillet 2007		**1c**	252	48,7	12,9	22,9	0,954	48,3	102	6,8	hydrocotyles
17 juillet 2007	**niveau 2**	**2a**	148	23,7	14,6	1,75	0,036	43,6	112	6,73	roseaux
17 juillet 2007		**2b**	141	31,1	10,3	8,44	0,295	28,9	109	6,8	massettes
17 juillet 2007		**2c2**	169	34,1	9,33	15,1	0,086	40,5	103	6,52	roseaux
17 juillet 2007	**niveau 3**	**3a**	145	17,1	9,5	3,6	0,614	33,3	95	7,05	jacinthes d'eau
17 juillet 2007		**3b**	142	24	9,3	5,47	0,292	33,8	111	6,8	hydrocotyles
17 juillet 2007		**3c**	160	26,7	7,69	11,6	0,399	37,8	83,1	6,71	fougères d'eau
17 juillet 2007	**niveau 4**	**4a**	140	10,2	6,32	1,61	0,048	27	87,4	6,4	glycéries/iris/laîches
17 juillet 2007		**4b**	131	11,9	5,44	3,43	0,04	27,6	112	6,6	scirpes/acores
17 juillet 2007		**4c**	127	11,7	5,37	2,06	0,065	29,4	78,6	6,5	joncs/menthes
24 juillet 2007	**niveau 0**	**0**	310	67,1	25,8	5,48	0,099	9,72	47	6,73	
24 juillet 2007	**niveau 1**	**1a**	114	38	17,9	4,11	0,071	23,3	114	6,94	lentilles
24 juillet 2007		**1b**	114	34,4	16,4	4,96	0,248	21,8	117	6,88	lentilles/laitues
24 juillet 2007		**1c**	170	45,3	11,8	11,1	0,135	33,7	118	6,75	hydrocotyles
24 juillet 2007	**niveau 2**	**2a**	116	28,9	11,2	1,5	0,029	31,9	98,4	6,76	roseaux
24 juillet 2007		**2b**	114	19,9	9,19	4,5	0,039	26	83,5	6,81	massettes
24 juillet 2007		**2c1**	132	28,6	7,1	6,84	0,052	39,4	90,9	6,53	roseaux
24 juillet 2007	**niveau 3**	**3a**	120	16,7	6,52	3,02	0,247	35,1	68,3	6,79	jacinthes d'eau
24 juillet 2007		**3b**	122	14,8	4,83	4,48	0,254	28,5	66,7	6,68	hydrocotyles
24 juillet 2007		**3c**	171	51,9	5,13	9,45	0,176	38,1	89,3	6,74	fougères d'eau
24 juillet 2007	**niveau 4**	**4a**	125	8,04	3,41	1,59	0,042	26,2	43,5	6,45	glycéries/iris/laîches
24 juillet 2007		**4b**	97,2	9,14	3,42	3,2	0,043	28,3	87,3	6,58	scirpes/acores
24 juillet 2007		**4c**	135	12,1	4,27	3,5	0,059	26,6	81,3	6,55	joncs/menthes
1 août 2007	**niveau 0**	**0**	241	47,7	57,5	1,21	0,052	13,1	229	6,8	
1 août 2007	**niveau 1**	**1a**	137	44,6	54,2	2,45	0,038	25,1	279	6,93	lentilles
1 août 2007		**1b**	122	55,1	52,8	3,74	0,666	16,5	274	6,83	lentilles/laitues
1 août 2007		**1c**	88,8	58,9	53,6	4,89	0,426	17,9	252	6,64	hydrocotyles
1 août 2007	**niveau 2**	**2a**	138	20,5	25,5	0,84	0,024	71,1	206	6,48	roseaux
1 août 2007		**2b**	81,9	48,5	37,1	0,812	0,039	50,7	187	6,62	massettes
1 août 2007		**2c2**	113	42,4	33,5	1,25	0,099	48,4	206	6,35	roseaux
1 août 2007	**niveau 3**	**3a**	146	15	17,2	2	0,197	71,4	231	6,77	jacinthes d'eau
1 août 2007		**3b**	123	27,3	19,2	2,54	0,258	71,8	216	6,6	hydrocotyles
1 août 2007		**3c**	140	12,3	20,4	2,7	0,138	76,2	298	6,61	fougères d'eau
1 août 2007	**niveau 4**	**4a**	132	5,35	2,06	1,36	0,048	71,6	212	6,36	glycéries/iris/laîches
1 août 2007		**4b**	126	10,7	5,32	2,11	0,041	71,2	205	6,49	scirpes/acores
1 août 2007		**4c**	130	6,59	1,73	1,3	0,037	82,4	158	6,41	joncs/menthes

7 août 2007	**niveau 0**	**0**	187	52,5	35,1	1,45	0,055	4,61	103	6,77	
7 août 2007	**niveau 1**	**1a**	78,3	78,1	23,8	1,52	0,253	9,84	63,3	6,74	lentilles
7 août 2007		**1b**	61,4	73,3	18,5	3,5	0,21	9,52	57,8	6,76	lentilles/laitues
7 août 2007		**1c**	86,8	84,3	17,1	4,23	0,328	9,73	8,57	6,52	hydrocotyles
7 août 2007	**niveau 2**	**2a**	59,6	41,8	12,4	0,944	0,043	17,8	40,8	6,23	roseaux
7 août 2007		**2b**	48,2	88,1	16,8	0,638	0,06	16,6	68,5	6,52	massettes
7 août 2007		**2c1**	112	45	7,68	1,5	0,145	18,4	31,3	6,96	roseaux
7 août 2007	**niveau 3**	**3a**	72,1	12,2	5,08	2,55	0,331	19,6	51,5	6,71	jacinthes d'eau
7 août 2007		**3b**	46,3	25,7	4,51	4,11	0,379	16,5	65,8	6,44	hydrocotyles
7 août 2007		**3c**	79,4	24,2	5,72	2,75	0,208	18,2	60,1	6,47	fougères d'eau
7 août 2007	**niveau 4**	**4a**	120	12,6	2,74	1,78	0,069	13,6	24,8	6,32	glycéries/iris/laîches
7 août 2007		**4b**	64,3	7,92	2,73	1,2	0,059	19,5	61,5	6,41	scirpes/acores
7 août 2007		**4c**	40,3	11	1,34	1,56	0,09	18,1	22,4	6,39	joncs/menthes
22 août 2007	**niveau 0**	**0**	278	49,5	27,4	1,38	0,038	2,55	182	6,77	
22 août 2007	**niveau 1**	**1a**	68,4	40,5	20,5	0,483	0,022	6,29	93,7	6,67	lentilles
22 août 2007		**1b**	69,2	29	19,4	0,78	0,195	6,97	91,6	6,79	lentilles/laitues
22 août 2007		**1c**	70,7	38,7	19,1	1,11	0,164	6,38	80	6,59	hydrocotyles
22 août 2007	**niveau 2**	**2a**	53,8	32,3	15,2	0,345	0,009	8,95	30,5	6,18	roseaux
22 août 2007		**2b**	39,8	42,5	17,4	0,468	0,026	12,1	94,3	6,41	massettes
22 août 2007		**2c1**	54,2	27	10,8	3,24	0,145	8,91	40	6,37	roseaux
22 août 2007	**niveau 3**	**3a**	42,4	28,7	9,96	2,11	0,184	9,07	33,5	6,57	jacinthes d'eau
22 août 2007		**3b**	22	21,3	9,84	2,54	0,162	11,4	45,1	6,31	hydrocotyles
22 août 2007		**3c**	57,2	19,3	9,56	1,38	0,132	7,96	20	6,37	fougères d'eau
22 août 2007	**niveau 4**	**4a**	76,2	7,82	2,39	0,864	0,028	10,3	9	5,71	glycéries/iris/laîches
22 août 2007		**4b**	12,2	6,54	2,76	1,46	0,023	7,67	10,8	5,82	scirpes/acores
22 août 2007		**4c**	60,8	8,16	2,5	0,777	0,024	8,92	14,7	5,81	joncs/menthes
6 septembre 2007	**niveau 0**	**0**	346	81,3	64,9	1,74	0,033	13,4	122	7,51	
6 septembre 2007	**niveau 1**	**1a**	155	70,3	44,4	0,65	0,053	22,6	128	7,5	lentilles
6 septembre 2007		**1b**	137	55,4	40	1,21	1,03	24,1	86,8	7,32	lentilles/laitues
6 septembre 2007		**1c**	162	53,8	43,9	2,71	0, 358	24,5	103	7,12	hydrocotyles
6 septembre 2007	**niveau 2**	**2a**	76	34,9	24,3	0,622	0,048	13,7	80,9	6,35	roseaux
6 septembre 2007		**2b**	71	32,7	30,9	0,653	0,052	12,2	90,7	6,73	massettes
6 septembre 2007		**2c1**	82,1	32,2	19,8	1,12	0,066	15,5	89,6	6,29	roseaux
6 septembre 2007	**niveau 3**	**3a**	71,9	32,3	22,5	1,92	0,434	9	85,9	6,7	jacinthes d'eau
6 septembre 2007		**3b**	72,1	25,1	25	2,81	0,33	10,5	103	6,67	hydrocotyles
6 septembre 2007		**3c**	84,4	31,9	21	2,75	0,541	14,9	46	6,58	fougères d'eau
6 septembre 2007	**niveau 4**	**4a**	50,8	5,53	1,62	0,676	0,054	6,1	13,8	5,85	glycéries/iris/laîches
6 septembre 2007		**4b**	45	19,5	13,9	3,38	0,059	8,08	25,7	6,38	scirpes/acores
6 septembre 2007		**4c**	52,4	5,41	2,21	0,62	0,043	7,01	4,24	6,02	joncs/menthes
20 septembre 2007	**niveau 0**	**0**	841	63,4	44,8	1,47	0,029	12,6	112	7,1	
20 septembre 2007	**niveau 1**	**1a**	173	48,2	43,9	0,676	0,021	10,5	99,3	7,49	lentilles
20 septembre 2007		**1b**	140	50,9	42,4	2,49	0,356	10,8	118	7,19	lentilles/laitues
20 septembre 2007		**1c**	229	55,3	45,8	2,82	0,448	15	111	7,08	hydrocotyles
20 septembre 2007	**niveau 2**	**2a**	95,1	41,9	34	0,615	0,02	11,9	91	6,62	roseaux
20 septembre 2007		**2b**	83,7	44,5	38,2	0,743	0,028	12,5	112	6,9	massettes
20 septembre 2007		**2c1**	121	49	40,5	2,17	0,291	13,7	114	6,7	roseaux
20 septembre 2007	**niveau 3**	**3a**	73,1	37,1	27,3	2,65	0,336	11,1	95,8	6,7	jacinthes d'eau
20 septembre 2007		**3b**	43,9	39,1	34	3,63	0,236	13,4	51,2	6,77	hydrocotyles
20 septembre 2007		**3c**	88,1	28,2	28,6	4,14	0,495	13,8	119	6,64	fougères d'eau
20 septembre 2007	**niveau 4**	**4a**	65,1	11,5	8,77	0,659	0,015	7,79	37,1	5,96	glycéries/iris/laîches
20 septembre 2007		**4b**	58,7	22,8	17,8	5,57	0,052	11,3	87,1	6,29	scirpes/acores
20 septembre 2007		**4c**	65,5	12,5	7,94	1,09	0,035	8,26	68,6	6,15	joncs/menthes
9 octobre 2007	**niveau 0**	**0**	228	101	45,4	1,41	0,026	4,44	173	7,27	
9 octobre 2007	**niveau 1**	**1a**	122	45,4	44	1,04	0,096	4,64	173	7,35	lentilles
9 octobre 2007		**1b**	101	58,4	30,9	2,15	0,188	3,88	125	7,26	lentilles/laitues
9 octobre 2007		**1c**	296	59,6	41,3	2,08	0,036	6,48	150	6,91	hydrocotyles
9 octobre 2007	**niveau 2**	**2a**	97,9	42,8	41,6	0,878	0,037	7,12	170	6,58	roseaux
9 octobre 2007		**2b**	77,7	43,7	/	1,16	0,271	7,8	167	6,85	massettes
9 octobre 2007		**2c2**	95,6	39,5	/	0,888	0,038	8,37	106	6,18	roseaux
9 octobre 2007	**niveau 3**	**3a**	86,3	46,5	/	1,95	0,228	8,34	153	6,74	jacinthes d'eau
9 octobre 2007		**3b**	68,7	49,5	/	3,68	0,056	7,81	146	6,73	hydrocotyles
9 octobre 2007		**3c**	79,8	38,4	/	2,58	0,225	5,16	100	6,64	fougères d'eau
9 octobre 2007	**niveau 4**	**4a**	79,8	30,1	22,3	0,863	0,038	6,6	94,7	6,29	glycéries/iris/laîches
9 octobre 2007		**4b**	41,4	31,1	18,5	9,15	0,241	6,17	67,5	6,34	scirpes/acores
9 octobre 2007		**4c**	75,9	9,55	6,3	1,04	0,033	6,13	51,9	6,11	joncs/menthes
25 octobre 2007	**niveau 0**	**0**	200	33,6	41,0	0,074	0,044	7,78		7,46	
25 octobre 2007	**niveau 1**	**1a**	107	59,8	37,8	0,749	0,124	4,78		7,22	rien
25 octobre 2007		**1b**	98	52,1	17,4	1,080	0,449	5,13		6,89	rien
25 octobre 2007		**1c**	113	51,8	34,5	0,328	0,196	5,18		6,91	rien
25 octobre 2007	**niveau 2**	**2a**	78,1	88,2	34,5	0,092	0,034	5,16		6,75	roseaux
25 octobre 2007		**2b**	73,6	38,3	29,6	0,727	0,033	4,03		7,05	massettes
25 octobre 2007		**2c2**	88,8	45,8	31	0,137	0,108	5,24		6,7	roseaux
25 octobre 2007	**niveau 3**	**3a**	65,8	32,5	20,8	1,13	0,205	6,42		6,83	rien
25 octobre 2007		**3b**	69,2	36,1	28,1	1,06	0,123	5,00		6,84	rien
25 octobre 2007		**3c**	79,5	28,8	26,7	1,5	0,141	5,64		6,75	rien
25 octobre 2007	**niveau 4**	**4a**	49,3	16,3	13,3	2,97	0,260	4,11		6,06	glycéries
25 octobre 2007		**4b**	53,7	24,9	17,9	2,67	0,082	6,05		6,35	carex
25 octobre 2007		**4c**	59,4	19,7	17,5	0,789	0,050	7,31		6,37	joncs
7 novembre 2007	**niveau 0**	**0**	268	69,1		1,62	0,045	1,45		8,05	
7 novembre 2007	**niveau 1**	**1a**	64,4	40,7		1,36	0,045	1,14		7,70	rien
7 novembre 2007		**1b**	65,7	55,4		2,62	0,201	1,45		7,93	rien
7 novembre 2007		**1c**	52,2	135,0		0,54	0,215	2,28		8,08	rien
7 novembre 2007	**niveau 2**	**2a**	68,7	47,7		0,561	0,018	1,25		7,46	roseaux
7 novembre 2007		**2b**	66,3	45,8		2,52	0,134	1,68		7,69	massettes
7 novembre 2007		**2c2**	73,0	50		0,679	0,032	3,19		7,23	roseaux
7 novembre 2007	**niveau 3**	**3a**	49,4	42,9		0,162	0,282	1,31		7,54	rien
7 novembre 2007		**3b**	49,3	37,4		3,47	0,200	1,38		7,59	rien
7 novembre 2007		**3c**	44,2	26,4		2,27	0,231	1,37		7,61	rien
7 novembre 2007	**niveau 4**	**4a**	23,1	13,7		3,58	0,058	0,75	94,7	6,79	glycéries
7 novembre 2007		**4b**	56,4	35,4		11,4	0,051	1,47	67,5	6,80	carex
7 novembre 2007		**4c**	31	10,6		5,33	0,046	0,925	51,9	7,04	joncs
27 novembre 2007	**niveau 0**	**0**	474,0	144,0	46,70	1,57	0,102	6,63	192,0	7,24	
27 novembre 2007	**niveau 1**	**1a**	90,0	144,0	46,70	1,57	0,102	6,63	156,0	7,24	rien
27 novembre 2007		**1b**	80,7	128,0	38,70	2,27	0,262	6,86	154,0	7,17	rien
27 novembre 2007		**1c**	160,0	122,0	39,70	1,80	0,326	6,36	161,0	6,98	rien
27 novembre 2007	**niveau 2**	**2a**	55,2	101,0	32,20	0,48	0,017	6,34	135,0	6,29	roseaux
27 novembre 2007		**2b**	55,3	97,1	32,90	1,35	0,041	9,28	147,0	6,84	massettes
27 novembre 2007		**2c2**	47,5	95,3	29,00	1,72	0,028	1,33	165,0	6,37	roseaux
27 novembre 2007	**niveau 3**	**3a**	15,6	74,0	25,80	2,92	0,124	5,96	119,0	6,88	rien
27 novembre 2007		**3b**	10,6	73,5	28,20	1,77	0,127	4,62	134,0	6,76	rien
27 novembre 2007		**3c**	34,4	69,8	23,90	3,46	0,136	3,76	116,0	6,65	rien
27 novembre 2007	**niveau 4**	**4a**	62,3	22,4	3,84	3,56	0,022	3,49	49,1	5,67	glycéries
27 novembre 2007		**4b**	35,8	47,90	2,1	6,44	0,051	2,14	69,8	5,74	carex
27 novembre 2007		**4c**	96,2	20,8	2,26	4,15	0,039	1,52	28,8	5,89	joncs

9 janvier 2008	**niveau 0**	**0**	1205	68,7	44,7	1,69	0,034	1,73	72,6	7,7	
9 janvier 2008	**niveau 1**	**1a**	112	68,3	45,4	0,86	1,58	2,6	45,4	7,31	rien
9 janvier 2008		**1b**	94	75	42,3	2,16	0,037	1,87	54,1	7,38	rien
9 janvier 2008		**1c**	104	69,9	43,7	1,51	0,101	2,32	46,9	7,1	rien
9 janvier 2008	**niveau 2**	**2a**	62,9	50,2	39,8	0,61	0,007	2,18	73,9	7	roseaux
9 janvier 2008		**2b**	68,5	54,3	37,4	0,6	0,022	3,44	57,5	7,24	massettes
9 janvier 2008		**2c**	79,2	33,7	12,5	1,02	0,066	1,67	40,8	6,72	roseaux
9 janvier 2008	**niveau 3**	**3a**	24,9	24,7	17,5	0,82	0,036	5,47	49,9	7,17	rien
9 janvier 2008		**3b**	52,5	39,5	70,1	0,93	0,041	2,51	59,4	7,3	rien
9 janvier 2008		**3c**	1,6	55,8	51,7	1,72	0,108	2,67	36,8	6,84	rien
9 janvier 2008	**niveau 4**	**4a**	21,4	21,9	7,15	1,31	0,051	1,51	57,5	6,51	glycéries
9 janvier 2008		**4b**	40,3	23,9	10,1	6,83	0,046	2,41	32,5	6,68	carex
9 janvier 2008		**4c**	66,9	14,9	2,24	4,41	0,021	1,95	12,4	5,71	joncs
9 janvier 2008		**P0**	1187	51,4	35,7	12,7	0,239	17,2	65,1	6,6	
9 janvier 2008		**P1**	126	20,2	41,6	4,19	0,306	16,4	89,9	7,95	
9 janvier 2008		**P2**	120	72	40,7	1,37	0,041	15,3	113	7,68	
9 janvier 2008		**P3**	148	65,2	43,9	2,31	0,202	16,6	117	7,66	
9 janvier 2008		**P4**	129	51,1	37,9	1,86	0,043	14	105	7,43	
23 janvier 2008	**niveau 0**	**0**	124	49,5	33	0,64	0,602	1,81	32,1	7,22	
23 janvier 2008	**niveau 1**	**1a**	112	54,1	36,8	0,62	0,604	1,76	44,9	7,18	rien
23 janvier 2008		**1b**	78,1	48,8	33	1,34	0,437	2,06	44,5	7,5	rien
23 janvier 2008		**1c**	4,5	46	42,4	2,86	0,582	1,82	49,3	6,43	rien
23 janvier 2008	**niveau 2**	**2a**	58,1	39,5	28,6	0,58	0,015	1,67	26,9	6,58	roseaux
23 janvier 2008		**2b**	62,4	47,9	24,9	0,69	0,016	2,35	47,8	6,9	massettes
23 janvier 2008		**2c**	14,8	28,3	8,39	2,84	0,029	1,47	26,9	6,62	roseaux
23 janvier 2008	**niveau 3**	**3a**	55,8	31,3	20	1,99	0,132	1,45	33,6	6,93	rien
23 janvier 2008		**3b**	31,5	30,1	20,4	1,31	0,102	1,97	29,6	7,25	rien
23 janvier 2008		**3c**	24,4	24,4	14,5	2,98	0,173	1,6	26,6	6,86	rien
23 janvier 2008	**niveau 4**	**4a**	48,7	11,3	6,06	2,53	0,022	1,65	11,1	6,31	glycéries
23 janvier 2008		**4b**	22,9	18	4,09	9,50	0,038	1,52	12,4	6,3	carex
23 janvier 2008		**4c**	5,8	5,2	0,8	1,98	0,022	1,99	14,4	5,5	joncs
23 janvier 2008		**P0**	479	85,7	33,6	3,6	0,431	18	72,5	7,76	
23 janvier 2008		**P1**	287	61,1	39,2	1,26	0,098	16,8	76,5	7,86	
23 janvier 2008		**P2**	206	57,7	39,2	1,37	0,03	17,3	107	7,53	
23 janvier 2008		**P3**	150	40,4	28,4	1,3	0,266	15,1	103	7,56	
23 janvier 2008		**P4**	81,9	33,3	21,8	0,957	0,027	14	66,5	7,39	
12 février 2008	**niveau 0**	**0**	285	60,5	45,4	2,65	0,34	2,18	12,2	7,11	
12 février 2008	**niveau 1**	**1a**	90,7	38,7	28,9	1,43	0,031	1,54	8	7,33	rien
12 février 2008		**1b**	113	45,9	31,1	3,49	0,149	1,24	6,6	7,43	rien
12 février 2008		**1c**	91,1	42,8	32,5	2,17	0,109	1,64	6,3	7,24	rien
12 février 2008	**niveau 2**	**2a**	60,1	33,1	24,9	0,5	0,028	1,7	8,9	6,88	roseaux
12 février 2008		**2b**	14,2	20,8	20,1	0,65	0,031	1,53	11	7,09	massettes
12 février 2008		**2c**	30,9	20,7	2,18	4,90	0,029	3,88	0,3	6,47	roseaux
12 février 2008	**niveau 3**	**3a**	22,7	23,6	12,1	3,72	0,146	4,82	2	6,99	rien
12 février 2008		**3b**	37,7	29,6	17,5	1,74	0,093	5,74	9,6	7,33	rien
12 février 2008		**3c**	32,3	13,4	4,98	6,30	0,172	3,72	3,2	6,55	rien
12 février 2008	**niveau 4**	**4a**	33,7	6,7	4,73	1,55	0,041	0,85	0,8	6,25	glycéries
12 février 2008		**4b**	28,3	12	2,97	8,45	0,032	5,2	1,64	5,85	carex
12 février 2008		**4c**	45,1	6,74	1,12	4,69	0,028	3,9	0,973	5,87	joncs
12 février 2008		**P0**	982	102	54,9	9,83	0,322	20,1	29,4	7,75	
12 février 2008		**P1**	314	69,4	43,2	1,73	0,031	16,4	23,9	7,8	
12 février 2008		**P2**								NA	
12 février 2008		**P3**	143	37,4	23,8	1,29	0,106	14,8	33	7,54	
12 février 2008		**P4**								NA	
12 février 2008		**P5**	122	26,1	17,2	3,53	0,205	11,6	21,1	11,4	
19 février 2008		**Ep**	298	72	33,7	10,3	1,41	47,7	288	7,96	
19 février 2008		**Sp**	1890	272	79,6	2,6	0,146	130	652	8,87	
19 février 2008		**St**	1505	258	82,3	2,63	0,063	66,9	644	8,86	
19 février 2008		**Sl**	1150	198	89,4	3,65	0,168	93,3	507	7,86	
19 février 2008		**P0**	454	75,1	70,4	9,29	1,22	25,1	236	7,87	
19 février 2008		**P1**	296	55,7	38,1	6,86	0,997	43,1	251	7,85	
19 février 2008		**P2**	186	45,8	32,6	1,16	0,095	35,3	178	7,69	
19 février 2008		**P3**	157	38,1	30,3	1,75	0,378	33,5	223	7,58	
19 février 2008		**P4**	109	32,3	21,9	1,03	0,034	34,2	133	7,38	
19 février 2008		**P5**	113	27,3	12,4	3,74	0,184	24,7	132	8,13	
5 mars 2008	**niveau 0**	**0**	323	104	24,8	1,41	0,02	7,31	75,6	7,6	
5 mars 2008	**niveau 1**	**1a**	70,6	28,8	19,7	1,51	0,087	4,86	31,6	6,98	rien
5 mars 2008		**1b**	39,2	42,7	17,3	0,407	0,015	4,98	41,2	6,42	rien
5 mars 2008		**1c**	118	47,2	19,3	5,39	0,232	4,34	79,1	6,8	rien
5 mars 2008	**niveau 2**	**2a**	46,1	12,1	10,7	0,829	0,015	4,53	91,2	5,63	roseaux
5 mars 2008		**2b**	85,4	39,7	28,3	0,935	0,371	5,11	84,1	7,36	massettes
5 mars 2008		**2c**	47,3	28,8	20,5	0,804	0,01	4,24	51,1	6,89	roseaux
5 mars 2008	**niveau 3**	**3a**	110	22	8,23	5,19	0,238	5,38	23,6	7,04	rien
5 mars 2008		**3b**	114	21	7,61	5,42	0,018	5,94	36,9	7,43	rien
5 mars 2008		**3c**	141	10,8	2,51	7,56	0,156	5,84	12,3	7,13	rien
5 mars 2008	**niveau 4**	**4a**	32,3	6,19	0,303	3,92	0,017	8,5	3,05	6,51	glycéries
5 mars 2008		**4b**	39	11,1	0,243	5,9	0,024	9,36	5,86	6,4	carex
5 mars 2008		**4c**	44,6	6,25	0,019	3,38	0,017	4,62	1,31	5,7	joncs
5 mars 2008		**P0**	2333	113	53	1,88	0,029	95,3	328	7,76	
5 mars 2008		**P1**	349	89,2	65,2	1,32	0,055	50,1	313	7,85	
5 mars 2008		**P2**	207	68,7	21	1,51	0,034	40,3	269	7,44	
5 mars 2008		**P3**	154	38,6	32,2	1,05	0,028	41,7	199	7,45	
5 mars 2008		**P4**	113	36,1	31,4	1,18	0,016	40,7	176	7,44	
24 mars 2008		**P0**	1653	127	41,7	1,84	0,073	88	200	7,82	
24 mars 2008		**P1**	326	84,2	30,1	8,94	0,041	41,7	198	7,6	
24 mars 2008		**P2**	204	89,1	38,5	0,501	0,041	43,5	223	7,25	
24 mars 2008		**P3**	156	41,1	27,5	0,449	0,229	38,6	175	7,42	
24 mars 2008		**P4**	110	35,3	24,1	0,982	0,02	36	200	7,29	
4 avril 2008		**P0**	1122	138	94,8	10,9	0,94	49,7	412	7,97	
4 avril 2008		**P1**	681	79,3	59,1	4,01	0,56	41,3	339	7,65	
4 avril 2008		**P2**	303	62,8	49,3	2,4	0,047	42,1	277	7,36	
4 avril 2008		**P3**	184	35,1	20,5	1,45	0,027	34,1	202	7,43	
4 avril 2008		**P4**	137	36,8	31,3	1,34	0,018	36,3	206	7,4	
17 avril 2008		**P0**	1991	165	85,2	1,46	0,035	56,5	529	8,29	
17 avril 2008		**P1**	747	85,5	49,4	3,84	0,046	48,1	425	7,85	
17 avril 2008		**P2**	340	73,2	46,4	1,18	0,088	45,9	351	7,39	
17 avril 2008		**P3**	258	39,2	26,2	0,816	0,116	39,2	211	7,5	
17 avril 2008		**P4**	158	31,7	25,8	0,45	0,017	35	168	7,36	

29 avril 2008		Ep	994	128	60,4	2,25	0,029	33,7	347	8,02	
29 avril 2008		Sp	12178	550	253	4,06	0,067	386	1019	8,21	
29 avril 2008		St	7211	499	234	4,15	0,044	208	943	8,21	
29 avril 2008		Sl	12438	310	118	2,98	0,215	194	613	8,38	
29 avril 2008		P0	1504	137	61,7	2,05	0,039	76	358	8,06	
29 avril 2008		P1	929	109	72,1	4,26	0,054	47,6	446	7,72	azollas
29 avril 2008		P2	359	90,6	66,1	3,08	0,075	43,1	435	7,24	roseaux commun/faux-roseaux/cannes de provence/iris
29 avril 2008		P3	330	50,5	30,8	3,04	0,293	43,3	278	7,51	hydrocotyles
29 avril 2008		P4	216	34,4	25,2	2,24	0,112	35,6	199	7,25	glycéries/carex/acores/iris
29 avril 2008		P5	265	22,5	13,5	1,08	0,101	32,9	136	7,4	azollas
15 mai 2008	niveau 0	0	275	59,2	22,9	0,672	0,014	19,4	65,4	7,12	
15 mai 2008	niveau 1	1a	255	44,2	22,3	0,694	0,022	18,3	97	7,01	azollas
15 mai 2008		1b	161	36,5	21,7	0,706	0,022	20,1	97,3	6,95	écuelles d'eau
15 mai 2008		1c	321	44,9	24,7	0,804	0,022	18,9	107	7,16	lentilles
15 mai 2008	niveau 2	2a	140	42	28,1	0,94	0,023	19,9	86,3	6,62	roseaux
15 mai 2008		2b	121	45,6	30,6	0,85	0,021	17,2	122	6,83	massettes
15 mai 2008		2c	221	42,6	23,8	1,7	0,069	17,6	93	7,09	roseaux
15 mai 2008	niveau 3	3a	117	32,8	28,6	0,865	0,024	19,4	19,1	7	écuelles d'eau
15 mai 2008		3b	107	42,3	32,9	0,945	0,022	19,5	24,2	7,2	crassulas
15 mai 2008		3c	166	42,3	31,2	1,17	0,027	18,5	22,8	7,38	myriophylles
15 mai 2008	niveau 4	4a	105	16	8,21	0,855	0,033	11,4	17	6,27	glycéries
15 mai 2008		4b	105	28,5	22,3	1,64	0,047	16,6	8,18	6,73	carex
15 mai 2008		4c	144	26,5	20,8	0,045	0,064	18,5	12,6	6,6	joncs/menthes
15 mai 2008		Ep	1981,5	139	45,3	2,33	0,07	108	343	7,84	
15 mai 2008		Sp	6768	363	213	3,77	0,049	160	912	8,53	
15 mai 2008		St	6316	350	185	3,74	0,072	155	809	8,55	
15 mai 2008		Sl	3575	198	73,4	3,44	1,2	111	481	8,15	
15 mai 2008		P0	1350	104	48,6	2,72	0,043	89,3	374	8,04	
15 mai 2008		P1	793	98	62	3,54	0,072	62,4	391	7,54	azollas
15 mai 2008		P2	461	84,1	67,7	3,46	0,076	53,4	439	7,17	roseaux commun/faux-roseaux/cannes de provence/iris
15 mai 2008		P3	414	52	42,6	3,31	0,307	41,3	316	7,43	azollas
15 mai 2008		P4	279	48,1	41,6	2,68	0,035	37	323	7,47	glycéries/carex/acores/iris
15 mai 2008		P5	130	15,8	12,5	1,19	0,018	32,7	135	7,34	azollas
5 juin 2008	niveau 0	0	838	57,6	34,2	0,771	0,025	26,3	112	6,99	
5 juin 2008	niveau 1	1a	232	53,1	37,3	0,882	0,023	17,9	147	7,12	jacinthes d'eau
5 juin 2008		1b	211	51,6	37,3	0,886	0,017	16,4	90,6	7,11	écuelles d'eau
5 juin 2008		1c	307	54,3	35,7	0,803	0,022	18,8	128	7,08	lentilles
5 juin 2008	niveau 2	2a	130	49,4	36,5	0,815	0,027	19,5	137	6,63	roseaux
5 juin 2008		2b	125	49,7	39	0,775	0,025	19	139	6,8	massettes
5 juin 2008		2c	253	51,5	36,5	1,11	0,052	18,4	164	7,06	roseaux
5 juin 2008	niveau 3	3a	110	38,9	33,3	0,882	0,016	19,8	137	6,84	fougères d'eau
5 juin 2008		3b	99	40,3	33,6	0,758	0,018	18,3	152	7,03	crassulas
5 juin 2008		3c	143	39,8	31,2	0,838	0,016	18,8	143	7,18	myriophylles
5 juin 2008	niveau 4	4a	89,8	15,1	9,89	0,711	0,02	11	42,1	6,06	glycéries
5 juin 2008		4b	71,5	25,3	21,9	0,913	0,019	14,3	35,9	6,45	carex
5 juin 2008		4c	105	27,4	22,6	1,03	0,036	14,9	55,7	6,46	joncs/menthes
5 juin 2008		Ep	4596	211	56,5	3,28	0,049	174	383	7,68	
5 juin 2008		Sp	9499	361	172	4,46	0,08	218	765	8,11	
5 juin 2008		St	6389	364	160	4,93	0,187	214	744	8,2	
5 juin 2008		Sl	2043	138	34,7	18,1	2,54	98,5	410	8,04	
5 juin 2008		P0	2024	132	60,6	3,48	0,057	92,5	402	8,06	
5 juin 2008		P1	733	83,5	60,6	3,11	0,053	62,3	341	7,48	jacinthes d'eau/azollas
5 juin 2008		P2	332	81,5	68,6	2,51	0,043	58,3	385	7,06	roseaux commun/faux-roseaux/cannes de provence/iris
5 juin 2008		P3	178	43,4	35,2	3,38	0,216	41,7	252	7,55	hydrocotyles/azollas
5 juin 2008		P4	179	40,9	36,1	1,88	0,626	37,9	232	7,41	glycéries/carex/acores/iris
5 juin 2008		P5	147	22,4	17,1	1,31	0,026	36,9	124	7,03	azollas
18 juin 2008	niveau 0	0	614	84,6	34,3	0,906	0,012	38	85,5	7,16	
18 juin 2008	niveau 1	1a	219	49,7	39,3	0,833	0,017	27,2	81,6	7,16	jacinthes d'eau
18 juin 2008		1b	210	49,1	39,8	0,887	0,035	19,6	103	7,08	écuelles d'eau
18 juin 2008		1c	391	48,2	39,2	0,869	0,016	15,7	63	7,03	lentilles
18 juin 2008	niveau 2	2a	108	43,2	34,8	0,73	0,02	17,4	139	6,58	roseaux
18 juin 2008		2b	93,3	43,1	37,4	0,721	0,013	23,4	101	6,62	massettes
18 juin 2008		2c	176	45,8	37,7	1,06	0,071	17,7	112	7,01	roseaux
18 juin 2008	niveau 3	3a	98,7	34,6	30,1	0,802	0,034	17,7	111	6,93	fougères d'eau
18 juin 2008		3b	92,8	38,2	33,7	0,725	0,035	19,1	89	6,93	crassulas
18 juin 2008		3c	149	34,1	30,7	0,951	0,04	14,4	115	6,92	myriophylles
18 juin 2008	niveau 4	4a	82,6	24,3	19,2	1,62	0,103	16,9	43,8	6,37	glycéries
18 juin 2008		4b	73,9	21,9	17,7	1,4	0,05	17,2	32,3	6,3	carex
18 juin 2008		4c	108	24,8	20,4	1,22	0,032	16,7	44,9	6,34	joncs/menthes
18 juin 2008		Ep	3731	155	53,4	6,15	2,36	72,8	363	7,73	
18 juin 2008		Sp	9601	441	187	4,69	1,01	169	790	8,69	
18 juin 2008		St	5397	411	170	5,86	1,5	167	604	8,67	
18 juin 2008		Sl	3105	356	99,5	26,3	3,73	242	406	8,19	
18 juin 2008		P0	1225	133	36,9	3,07	0,739	77,4	336	8,14	
18 juin 2008		P1	848	113	45,3	3,31	0,081	61,7	383	7,53	jacinthes d'eau/azollas
18 juin 2008		P2	360	132	77	3,03	0,076	57,2	411	7,15	roseaux commun/faux-roseaux/cannes de provence/iris
18 juin 2008		P3	316	52,5	35,4	5,72	0,271	49,8	239	7,62	hydrocotyles/azollas
18 juin 2008		P4	210	44,6	33,1	2,11	0,031	42,2	243	7,5	glycéries/carex/acores/iris
18 juin 2008		P5	157	21,9	14,7	1,35	0,026	34	119	7	azollas

2 juillet 2008	niveau 0	0	1268	91,7	28,3	0,827	0,023	35,8	123	7,07	
2 juillet 2008	niveau 1	1a	225	41,8	31,3	0,873	0,016	20,4	128	6,98	jacinthes d'eau
2 juillet 2008		1b	183	42	35,3	0,918	0,021	20,7	21,1	7	écuelles d'eau
2 juillet 2008		1c	345	44,8	33,4	0,881	0,02	22,7	23,4	6,99	lentilles
2 juillet 2008	niveau 2	2a	106	33	28	0,767	0,016	21,2	115	6,47	roseaux
2 juillet 2008		2b	101	38,8	32,8	0,724	0,018	17	97,2	6,69	massettes
2 juillet 2008		2c	259	45,2	31,4	1,21	0,034	21,2	130	6,99	roseaux
2 juillet 2008	niveau 3	3a	102	34,3	29,5	0,754	0,043	21,3	116	7,73	fougères d'eau
2 juillet 2008		3b	114	30,4	26,7	1,12	0,784	18,7	99,5	6,9	crassulas
2 juillet 2008		3c	154	38	29,5	1,03	0,039	21,6	135	6,94	myriophylles
2 juillet 2008	niveau 4	4a	85,6	9,27	2,82	1,33	0,045	13,2	73,5	6,05	glycéries
2 juillet 2008		4b	69,3	19,4	15,6	1,01	0,024	15,9	74,9	6,25	carex
2 juillet 2008		4c	122	27	22,1	0,987	0,03	19,7	103	6,38	joncs/menthes
2 juillet 2008		Ep	1050	133	29,2	5,8	1	72,8	317	7,62	
2 juillet 2008		Sp	11541	484	224	4,6	0,114	239	872	8,38	
2 juillet 2008		St	3149	556	211	6,36	0,352	238	846	8,41	
2 juillet 2008		Sl	3022	222	68,9	24,2	3,9	93,9	580	8,04	
2 juillet 2008		P0	1214	125	37,8	7,94	0,778	68,7	407	7,86	
2 juillet 2008		P1	828	101	84,1	4,02	0,068	97,1	563	7,75	jacinthes d'eau/azollas
2 juillet 2008		P2	324	122	79,2	2,99	0,079	83,8	448	7,17	roseaux commun/faux-roseaux/cannes de provence/iris
2 juillet 2008		P3	350	58,5	30,8	12,3	1,42	53,5	359	7,7	hydrocotyles/azollas
2 juillet 2008		P4	224	40,4	22,9	1,88	0,02	70	314	7,45	glycéries/carex/acores/iris
2 juillet 2008		P5	147	22,4	13,5	1,27	0,019	35,5	160	7,03	azollas
23 juillet 2008	niveau 0	0	2259	95,7	27,5	0,963	0,015	50,8	65,7		
23 juillet 2008	niveau 1	1a	265	37,3	26,8	1,15	0,022	20,1	66,3		jacinthes d'eau/lentille
23 juillet 2008		1b	217	36,1	29,3	1,04	0,026	18,6	71,5		écuelles d'eau
23 juillet 2008		1c	317	40	29,2	1,05	0,042	20,6	71,2		lentilles
23 juillet 2008	niveau 2	2a	101	28,4	25	0,981	0,034	21,1	103		roseaux
23 juillet 2008		2b	90,9	33,2	27	0,78	0,026	17,3	91,4		massettes
23 juillet 2008		2c	244	38	25,1	3,79	0,197	19	111		roseaux
23 juillet 2008	niveau 3	3a	94,4	24,5	24,1	0,988	0,027	20,8	100		fougères d'eau
23 juillet 2008		3b	108	23	20,9	2,21	0,311	17,9	88		crassulas
23 juillet 2008		3c	169	26,4	24,6	1,41	0,072	20,1	109		myriophylles
23 juillet 2008	niveau 4	4a	74	7,45	3,71	0,991	0,02	15	94		glycéries
23 juillet 2008		4b	61,2	11,7	10,9	1,22	0,019	16,1	56,5		carex
23 juillet 2008		4c	108	16,6	15,6	1,1	0,035	21,7	74,3		joncs/menthes
23 juillet 2008		Ep	3303	198	54,4	3,03	0,031	128	455		
23 juillet 2008		Sp	7952	556	209	4,67	0,119	294	790		
23 juillet 2008		St	5501	442	202	4,5	0,098	152	880		
23 juillet 2008		Sl	2755	233	71,5	10	4,7	148	596		
23 juillet 2008		P0	1235	119	49,7	3,15	0,054	80,4	476		
23 juillet 2008		P1	446	53,7	39,9	2,96	0,053	44,2	379		jacinthes d'eau/azollas
23 juillet 2008		P2	288	41,3	27,5	2,71	0,08	43,9	282		roseaux commun/faux-roseaux/cannes de provence/iris
23 juillet 2008		P3	241	45,5	8,56	14,8	1,57	44,2	325		hydrocotyles/azollas
23 juillet 2008		P4	222	51,1	21,8	2,64	0,032	44,3	393		glycéries/carex/acores/iris
23 juillet 2008		P5	167	22,5	2,62	2,29	0,1286	32,9	186		azollas
6 août 2008	niveau 0	0	633	52,3	30,6	3,43	0,174	73,2	350	8,01	
6 août 2008	niveau 1	1a	342	46,7	14,2	2,16	0,049	37,3	253	7,34	jacinthes d'eau/lentilles
6 août 2008		1b	353	49,6	13,4	2,28	0,037	39	259	7,35	écuelles d'eau
6 août 2008		1c	521	52,1	11,2	2,21	0,041	39,3	251	7,25	lentilles
6 août 2008	niveau 2	2a	168	38,6	11,9	1,44	0,023	27,9	172	6,68	roseaux
6 août 2008		2b	141	39,3	15,8	1,28	0,024	26,2	171	6,76	massettes
6 août 2008		2c	329	52,8	18,1	3,17	0,208	37,6	244	7,23	roseaux
6 août 2008	niveau 3	3a	128	30,6	24,5	0,999	0,013	23,7	128	6,74	fougères d'eau
6 août 2008		3b	107	28,6	22,5	1,39	0,282	20,1	121	6,92	crassulas
6 août 2008		3c	177	31,7	23,1	1,28	0,024	23,8	143	6,86	myriophylles
6 août 2008	niveau 4	4a	73	15,4	10,1	1,28	0,042	17,1	82,4	6,26	glycéries
6 août 2008		4b	58,5	15,2	8,68	3,06	0,04	16,3	65	6,31	carex
6 août 2008		4c	102	19,9	13,2	1,34	0,021	18,5	86	6,31	joncs/menthes
6 août 2008		Ep	165	20	12,8	2,46	0,25	33,8	187	7,07	
6 août 2008		Sp	5456	242	121	3,14	0,0266	354	613	8,11	
6 août 2008		St	4029	223	118	3,54	0,55	170	601	8,14	
6 août 2008		Sl	2927	128	35,8	10,6	2	198	363	7,92	
6 août 2008		P0	633	52,3	30,6	3,43	0,174	73,2	350	8,01	
6 août 2008		P1	501	45,5	34	3,34	0,062	52,2	367	7,62	jacinthes d'eau/azollas
6 août 2008		P2	300	51	32,1	2,97	0,073	45,8	361	7,09	roseaux commun/faux-roseaux/cannes de provence/iris
6 août 2008		P3	258	33,8	20,6	4,67	0,677	44,8	316	7,56	hydrocotyles/azollas
6 août 2008		P4	197	26,4	16,8	2,3	0,04	38,2	282	7,36	glycéries/carex/acores/iris
6 août 2008		P5	165	20	12,8	2,46	0,25	33,8	187	7,07	azollas
26 août 2008	niveau 0	0	713	67,9	33,8	3,25	0,334	49	384	8,01	
26 août 2008	niveau 1	1a	482	64,9	36	5,84	5,27	44,2	394	7,58	jacinthes d'eau
26 août 2008		1b	433	65,4	35,6	7,48	4,96	46,5	379	7,66	écuelles d'eau
26 août 2008		1c	786	68,3	34,3	2,99	0,334	58,1	377	7,71	lentilles
26 août 2008	niveau 2	2a	352	50,8	32,4	3,39	0,072	47,6	414	7,03	roseaux
26 août 2008		2b	322	56,2	39,2	3,04	0,065	44,9	393	7,2	massettes
26 août 2008		2c	358	59,1	31,9	4,5	0,0782	49,2	396	7,7	roseaux
26 août 2008	niveau 3	3a	325	44,5	30,4	3,22	0,051	46,8	375	7,18	fougères d'eau
26 août 2008		3b	296	44,1	33,7	2,93	0,04	42,8	361	7,42	crassulas
26 août 2008		3c	321	40,1	25,7	3,46	0,185	44	295	7,28	myriophylles
26 août 2008	niveau 4	4a	284	21	7,97	3,07	0,045	41	234	6,61	glycéries
26 août 2008		4b	245	25,7	16,1	3,56	0,062	42,2	275	6,87	carex
26 août 2008		4c	188	13,1	3,69	2,31	0,058	38,9	130	7,46	joncs/menthes
26 août 2008		Sp	3945	198	135	3,98	0,282	102	670	8,28	
26 août 2008		St								NA	
26 août 2008		Sl	2533	161	44,1	20,03	4,71	95,2	420	7,92	
26 août 2008		P0	713	67,9	33,8	3,25	0,334	49	384	8,01	
26 août 2008		P1	487	48,8	26,6	3,76	0,121	44,5	305	7,62	jacinthes d'eau/azollas
26 août 2008		P2	293	41,7	26,2	3,04	0,053	43	354	7,09	roseaux commun/faux-roseaux/cannes de provence/iris
26 août 2008		P3	273	28	15,5	4,3	0,227	42,6	282	7,56	hydrocotyles/azollas
26 août 2008		P4	220	21,5	12,5	2,88	0,041	40,7	273	7,36	glycéries/carex/acores/iris
26 août 2008		P5	168	17,6	4,03	5,54	0,24	29,4	176	7,07	azollas
12 septembre 2008	niveau 0	0	710	101	36,3	2,72	0,071	58,9	391	7,72	
12 septembre 2008	niveau 1	1a	412	55,9	31,1	3,07	0,061	50,5	379	7,42	jacinthes d'eau
12 septembre 2008		1b	433	63,6	31,9	3	0,054	48,6	347	7,4	écuelles d'eau
12 septembre 2008		1c	559	61,1	30,8	2,96	0,049	54	373	7,44	lentilles
12 septembre 2008	niveau 2	2a	317	47	28,6	3	0,048	55	361	6,87	roseaux
12 septembre 2008		2b	294	43,3	26,1	2,91	0,109	47	325	7,13	massettes
12 septembre 2008		2c	284	30,7	12,45	7,72	1,33	45,3	318	7,9	roseaux
12 septembre 2008	niveau 3	3a	295	18	29,2	2,94	0,048	53,8	373	7,24	fougères d'eau
12 septembre 2008		3b	272	20,8	25,8	2,68	0,043	46,2	321	7,44	crassulas
12 septembre 2008		3c	274	20	25,2	2,72	0,045	46,8	319	7,4	myriophylles
12 septembre 2008	niveau 4	4a	244	11,2	2,53	2,62	0,027	43	248	6,52	glycéries
12 septembre 2008		4b	192	6,47	5,21	2,37	0,038	37,5	236	6,6	carex
12 septembre 2008		4c	201	11,2	1,09	3,33	0,066	23,8	118	6,4	joncs/menthes
12 septembre 2008		Sp	3850	415	102	3,31	0,162	109	612	8,55	
12 septembre 2008		St	3275	271	83,9	3,3	0,219	97,3	534	8,57	
12 septembre 2008		Sl	2766	117	35,5	9,19	3,74	66,1	396	7,98	
12 septembre 2008		P0	710	101	36,3	2,72	0,071	58,9	391	7,72	
12 septembre 2008		P1	505	42,5	23,8	2,85	0,048	50,7	338	7,52	jacinthes d'eau/azollas
12 septembre 2008		P2	304	33,4	21,5	2,79	0,038	50	327	7,01	roseaux commun/faux-roseaux/cannes de provence/iris
12 septembre 2008		P3	268	24,4	14,7	2,71	0,084	46,6	158	7,44	hydrocotyles/azollas
12 septembre 2008		P4	238	19,84	11,3	2,55	0,058	45,5	212	7,31	glycéries/carex/acores/iris
12 septembre 2008		P5	193	11,7	4,3	4,1	0,562	35,8	154	7,5	jacinthes d'eau/hydrocotyles

19 septembre 2008		Sp	4074	397	114	2,93	0,142	133	666	8,53	
19 septembre 2008		St	3805	288	99,2	3,3	0,87	110	489	8,65	
19 septembre 2008		Sl	1927	153	48,5	4,23	1,86	89	455	NA	
19 septembre 2008		P0	689	67,1	28,6	2,31	0,03	62,1	274	7,83	
19 septembre 2008		P1	465	51,6	13,3	2,5	0,075	65,3	276	7,57	jacinthes d'eau/azollas
19 septembre 2008		P2	244	31,1	2,85	2,37	0,038	50,3	150	7,18	roseaux commun/faux-roseaux/cannes de provence/iris
19 septembre 2008		P3	261	25,3	14,7	2,79	0,132	70,3	170	7,62	azollas
19 septembre 2008		P4	234	21,4	11,4	2,26	0,028	60,4	199	7,41	glycéries/carex/acores/iris
19 septembre 2008		P5	202	14,7	0,716	3,17	0,592	37,4	146	7,67	jacinthes d'eau/hydrocotyles
26 septembre 2008	niveau 0	0	722	98,4	34,7	2,46	0,105	65,3	356	7,75	
26 septembre 2008	niveau 1	1a	440	69,2	29,3	2,38	0,085	54,9	338	7,43	jacinthes d'eau
26 septembre 2008		1b	421	69,1	28,6	2,44	0,065	55,6	374	7,39	écuelles d'eau
26 septembre 2008		1c	502	72,8	24,2	2,51	0,051	52,1	349	7,44	lentilles
26 septembre 2008	niveau 2	2a	312	59,5	21,4	2,37	0,078	53,1	378	7,02	roseaux
26 septembre 2008		2b	289	58,4	19,1	2,41	0,066	54,2	401	6,98	massettes
26 septembre 2008		2c	377	61,9	21,2	5,32	0,057	50,9	382	7,09	roseaux
26 septembre 2008	niveau 3	3a	298	48,8	23,7	2,31	0,079	46,8	398	7,15	fougères d'eau
26 septembre 2008		3b	281	51,4	22,8	2,23	0,061	47,3	399	7,12	crassulas
26 septembre 2008		3c	303	38,8	20,4	3,88	0,093	45,4	378	7,23	myriophylles
26 septembre 2008	niveau 4	4a	235	22,7	6,32	2,09	0,056	36,2	236	6,82	glycéries
26 septembre 2008		4b	193	21,1	4,47	2,19	0,048	30,6	256	6,93	carex
26 septembre 2008		4c	253	16,5	1,99	2,93	0,042	33,1	144	6,89	joncs/menthes
7 octobre 2008		Sp	4018	341	82,3	2,76	0,105	101	640	8,49	
7 octobre 2008		St	3138	278	70,3	2,93	0,231	88,6	392	8,53	
7 octobre 2008		Sl	1138	181	36	3,06	2,11	78,1	286	8,13	
7 octobre 2008		P0	769	93,6	32,6	2,65	0,083	74,6	409	7,66	
7 octobre 2008		P1	564	62	28	2,45	0,044	64,3	373	7,66	jacinthes d'eau/azollas
7 octobre 2008		P2	290	57,5	32,6	2,18	0,042	57,5	426	7,37	roseaux commun/faux-roseaux/cannes de provence/iris
7 octobre 2008		P3	269	43,4	21,4	2,14	0,052	54,5	385	7,51	azollas
7 octobre 2008		P4	202	26,6	9,61	1,86	0,048	43,4	254	7,35	glycéries/carex/acores/iris
7 octobre 2008		P5	211	14,8	3,24	2,16	0,408	44,9	269	7,45	jacinthes d'eau/hydrocotyles
7 octobre 2008	niveau 0	0	769	93,6	32,6	2,65	0,083	74,6	409	7,66	
7 octobre 2008	niveau 1	1a	509	67,7	26	2,43	0,062	62,3	392	7,58	jacinthes d'eau
7 octobre 2008		1b	480	67	24,2	2,45	0,043	63,4	526	7,64	écuelles d'eau
7 octobre 2008		1c	450	64,4	21,4	2,6	0,041	62,4	438	7,77	lentilles
7 octobre 2008	niveau 2	2a	324	56,9	16,6	2,44	0,058	61,7	472	7,14	roseaux
7 octobre 2008		2b	290	56,6	15,3	2,14	0,042	57,3	455	7,28	massettes
7 octobre 2008		2c	359	57,7	19,9	2,66	0,091	61,4	446	7,67	roseaux
7 octobre 2008	niveau 3	3a	315	48,6	22	2,63	0,046	57,8	498	7,29	fougères d'eau
7 octobre 2008		3b	283	41,3	17,9	2,18	0,05	54,3	455	7,45	crassulas
7 octobre 2008		3c	284	32,4	10,9	3,54	0,232	52	331	7,24	myriophylles
7 octobre 2008	niveau 4	4a	260	24,5	5,47	2,56	0,082	52,5	341	6,85	glycéries
7 octobre 2008		4b	176	17,2	5,39	2,17	0,051	40,6	244	6,84	carex
7 octobre 2008		4c	240	17,1	1,45	2,87	0,04	41,6	225	6,71	joncs/menthes
30 octobre 2008		Sp	3634	336	90,6	3,21	0,747	116	571	8,22	
30 octobre 2008		St	3176	288	80,9	3,34	1,12	110	572	8,29	
30 octobre 2008		Sl	1517	170	42,3	4,05	3,34	85,4	440	8,14	
30 octobre 2008		P0	770	102	36,6	2,35	0,046	67,3	442	7,91	
30 octobre 2008		P1	557	76,1	39,6	2,51	0,117	66,7	450	7,81	azollas
30 octobre 2008		P2	313	81	44,4	2,22	0,278	60,9	441	7,33	roseaux commun/faux-roseaux/cannes de provence/iris
30 octobre 2008		P3	273	58,9	35,3	2,54	0,286	56,7	430	7,63	azollas
30 octobre 2008		P4	241	48,1	25,3	2,25	0,037	54,1	350	7,49	glycéries/carex/acores/iris
30 octobre 2008		P5	216	20,2	4,52	6,16	0,275	48,1	290	7,34	jacinthes d'eau/hydrocotyles
30 octobre 2008	niveau 0	0	770,00	102,00	36,60	2,35	0,05	67,30	442	7,91	
30 octobre 2008	niveau 1	1a	598	88,9	37,6	2,59	0,065	64,9	582	7,79	rien
30 octobre 2008		1b	556	81,1	36,9	2,38	0,049	64,3	545	7,68	écuelles d'eau
30 octobre 2008		1c	597	84	38,5	2,34	0,038	66,7	461	7,74	jacinthes d'eau
30 octobre 2008	niveau 2	2a	353	76,1	47,6	2,32	0,031	61,8	469	7,14	rien
30 octobre 2008		2b	336	78	39,2	2,42	0,037	59,2	423	7,38	massettes
30 octobre 2008		2c	358	78,8	29,3	6,52	0,176	57,1	411	7,39	roseaux
30 octobre 2008	niveau 3	3a	337	72,4	42,1	2,29	0,034	63,5	467	7,28	rien
30 octobre 2008		3b	310	65,2	36,7	2,29	0,01	59,6	428	7,55	hydrocotyles
30 octobre 2008		3c	276	35,4	16,1	5,19	0,202	58,4	354	7,07	myriophylles
30 octobre 2008	niveau 4	4a	256	47	28,7	2,96	0,2	54	394	7,04	glycéries
30 octobre 2008		4b	230	47,4	24,7	7,14	0,022	54	375	7,18	carex
30 octobre 2008		4c	221	33,6	4,98	2,37	0,041	42,2	266	6,69	joncs/menthes
11 décembre 2008		Sp	5956	469	147	3,21	0,07	162	872	8,8	
11 décembre 2008		St	4453	399	136	3,3	0,085	150	885	8,82	
11 décembre 2008		Sl	1487	300	75,6	3	0,059	65,9	742	8,39	
11 décembre 2008		P0	1313	253	63,2	2,49	0,075	59,5	608	7,99	
11 décembre 2008		P1	802	133	55,8	2,61	0,069	55,6	548	7,85	azollas
11 décembre 2008		P2	352	106	49,1	1,95	0,048	44,9	405	7,62	roseaux commun/faux-roseaux/cannes de provence/iris
11 décembre 2008		P3	322	57,4	37,8	1,96	0,057	44,4	404	7,81	azollas
11 décembre 2008		P4	216	32,7	25,4	1,65	0,036	46,5	374	7,57	glycéries/carex/acores/iris
11 décembre 2008		P5	207	26,3	9,7	1,47	0,037	46,3	318	7,57	hydrocotyles
11 décembre 2008	niveau 0	0	1313,00	253,00	63,20	2,49	0,08	59,50	608,00	7,99	
11 décembre 2008	niveau 1	1a	664	124	64,9	2,01	0,043	58,8	570	6,73	rien
11 décembre 2008		1b	648	98,8	64,3	2,52	0,064	48,6	499	7,5	écuelles d'eau
11 décembre 2008		1c	872	120	61,7	2,44	0,058	63,2	559	7,54	jacinthes d'eau
11 décembre 2008	niveau 2	2a	296	107	52,6	2,09	0,036	52,7	482	7,3	rien
11 décembre 2008		2b	296	92,4	51,9	2,26	0,055	47	439	7,41	massettes
11 décembre 2008		2c	347	101	43	2,1	0,071	60,4	478	7,44	roseaux
11 décembre 2008	niveau 3	3a	254	92,2	46,2	1,83	0,04	49,8	423	7,48	rien
11 décembre 2008		3b	185	81,8	28,9	0,998	0,029	42,7	326	7,41	ecuelle d'eau
11 décembre 2008		3c	189	83,4	28,6	1,35	0,035	57,5	345	7,67	myriophylles
11 décembre 2008	niveau 4	4a	140	53,9	19,4	3,09	0,072	37,6	330	7,05	glycéries
11 décembre 2008		4b	118	51,2	16,7	6,63	0,191	35,9	306	6,91	carex
11 décembre 2008		4c	135	42,7	11,6	3,33	0,105	45,7	327	6,57	joncs/menthes

Tableau 10 : tableau de résultats des analyses pour la station expérimentale et le prototype

Annexe 8 : Flux au sein du système de porcherie intégrée

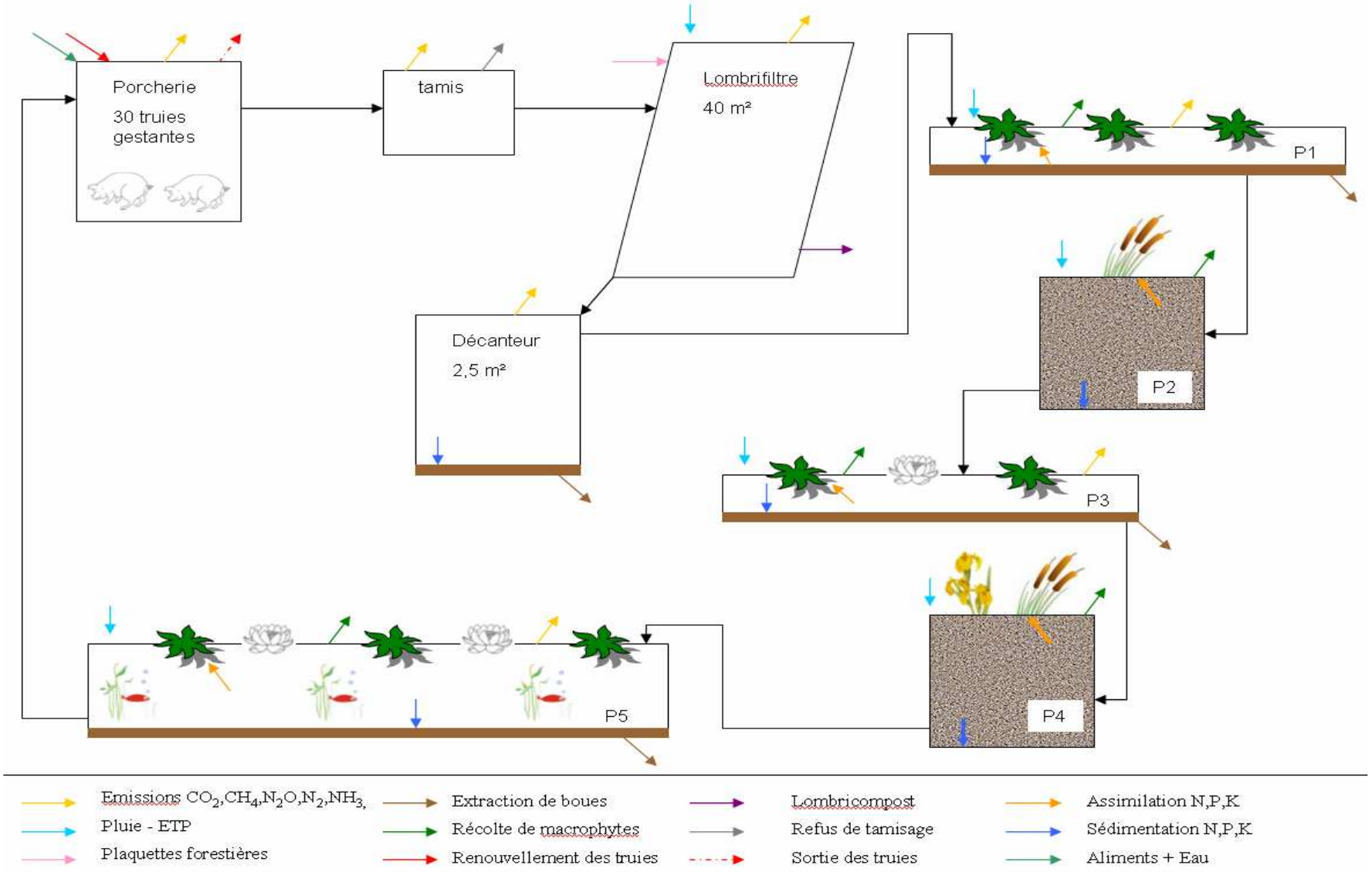


Figure 41 : flux au sein du sytème

Annexe 9 : extrait du modèle Excel concernant la porcherie

- **paramètres :**

nb_truies	30	truies/batiment	
boisson_truie	29,7	eau bue/truie.jour	
rap_lisier_boisson	0,71	L lisier/L eau	
MS_lisier	16	g MS/kg lisier brut	
N_lisier	1,74	g N/kg lisier brut	
P_lisier	0,55	g P/kg lisier brut	
K_lisier	1,175	g K/kg lisier brut	
lisier_truie	21	L lisier/truie.jour	
densite_lisier	1	kg lisier/L lisier	
apport_dejections	633	L/jour	masse
apport_MS	10,12	kg MS/jour	masse
apport_N	1,10	kg N/jour	masse
apport_P	0,35	kg P/jour	masse
apport_K	0,74	kg K/jour	masse

Tableau 11 : paramètres de la porcherie

- **observations :**

entrée porcherie				
m3/j	g MS/l	g N/l	g P/l	g K/l
4,8	1,210	0,016	0,036	0,186

Tableau 12 : observations de la porcherie

- **calcul des flux :**

sortie porcherie				
m3/j	kg MS/j	kg N/j	kg P/j	kg K/j
5,43	15,9	1,18	0,52	1,64

Tableau 13 : calcul des flux de la porcherie

- **calcul de l'état :**

sortie porcherie					
volume	eau	MS	N	P	K
m3/j	kg/m3	kg/m3	g N/L	g P/L	g K/L
5,43	997	2,93	0,217	0,096	0,302

Tableau 14 : état de la porcherie

Annexe 10 : extrait du modèle Excel concernant le tamis

- **paramètres :**

partage_eau_solide	0,5	%entree	volume
densite_solide	1,05	kg/L	masse volumique du solide
densite_liquide_t	1	kg/L	masse volumique du liquide
partage_MS_solide	30	%entree	masse
partage_N_solide	20	%entree	masse
partage_P_solide	20	%entree	masse
partage_K_solide	20	%entree	masse
volatMS_lf	0	gMS/m2.jour	pertes gazeuses de MS
volatN_lf	0	mgN/m2.jour	pertes gazeuses azotées
MS_solidetamis	100	gMS/kgbrut	MS du refus de tamisage

Tableau 15 : paramètres du tamis

- **observations :**

entrée tamis				
m3/j	g MS/l	g N/l	g P/l	g K/l
5,43	4,301	0,319	0,151	0,640

sortie solide					
kg solide	g MS/kg brut	g N/kg brut	g P/kg brut	g K/kg brut	kg récolte
29	60	10	7	26	0

Tableau 16 : observations du tamis

- **calcul des flux :**

refus de tamisage						sortie liquide				
kg/j	kg MS/j	g MS/kg brut	kg N/j	kg P/j	kg K/j	m3/j	kg MS/j	kg N/j	kg P/j	kg K/j
29	4,8	168	0,24	0,10	0,33	5,41	11,1	0,94	0,42	1,31

Tableau 17 : calcul des flux du tamis

- **calcul de l'état :**

sortie liquide					
volume	eau	MS	N	P	K
m3/j	kg/m3	kg/m3	g N/L	g P/L	g K/L
5,41	998	2,06	0,174	0,077	0,242

sortie tamis						
kg solide/j	kg solide cumulé (kg cum)	g MS/kg brut	g N/kg brut	g P/kg brut	g K/kg brut	kg récolte
29	29	168	8,2	3,6	11,5	0

Tableau 18 : calcul de l'état pour le tamis

Annexe 11 : extrait du modèle Excel concernant le lombrifiltre

- **paramètres :**

rsv_lf	32	m3/lombrifiltre	volume
part_eau_lf	450	kg eau/m3	%volume
surf_lf	40	m2/lombrifiltre	surface
evap_lf	2	kg/m2.j	évaporation d'eau (1 mm/j = 1L/m2.jour)
volatMS_lf	50	gMS/m2.jour	pertes gazeuses de MS
abattN_lf	80	%entree	abattement : effet du tamis sur la teneur en N du liquide
concN_lf	0,13	g N/L	concentration du liquide sortant (soluble+MOP)
concP_lf	0,096	g P/L	concentration du liquide sortant (soluble+MOP)
concK_lf	0,38	g K/L	concentration du liquide sortant (soluble+MOP)
volatN_lf	0	mgN/m2.jour	pertes gazeuses azotées
sedimN_lf	0	mgN/m2.jour	immobilisation N dans le lombricompost
sortie_MSsoluble_lf	200	g/m2.j	départ de matière soluble (organique type Csoluble ou minérale, type NO3, NH4) via le liquide filtrant
sortie_MOP_lf	100	g/m2.j	départ de matière organique particulaire (MOP) via le liquide filtrant
sortie_fourche_lf	30	kg/semaine	départ de matière via la fourche
densite_lf	650	kg brut/m3	masse volumique du lombrifiltre
densiteMS_lf	1,7	kg MS/L MS	densité de la MO du lombrifiltre
volume_eau_lf	432	L air/m3	porosite libre à l'air
volume_MS_lf	118	L MS/m3	densité de la MS du lombrifiltre

Tableau 19 : paramètres du lombrifiltre

- **observations :**

entrée lombrifiltre					
m3/j	g MS/l	g N/l	g P/l	g K/l	plaquettes neuves kg/j
5,41	4,00	0,265	0,116	0,504	0

Tableau 20 : observations du lombrifiltre

- **calcul des flux :**

	sortie lombrifiltre					
plaquettes neuves kg/j	m3/j	coef_MS	kg MS/j	kg N/j	kg P/j	kg K/j
0	5,33	1,00	12,0	0,7	0,5	2,0

Tableau 21 : le calcul des flux du lombrifiltre

- **calcul de l'état :**

sortie lombrifiltre					
volume	eau	MS	N	P	K
m3/j	kg/m3	kg/m3	g N/L	g P/L	g K/L
5,33	998	2,25	0,130	0,096	0,380

Tableau 22 : le calcul de l'état pour le lombrifiltre

Annexe 12 : extrait du modèle Excel concernant le décanteur

- **paramètres :**

rsv_dec	5	m3/decanteur	volume
surf_dec	2,8	m2/decanteur	surface
h_debordement_dec	1,8	m/décanteur	hauteur
abattN_dec	80	%entree	abattement
concN_dec	3	g N/L	concentration du liquide sortant
volatN_dec	2	gN/kg N boues.j	perte gazeuse de N à partir des boues
volatC_dec	1	gC/kg MS boues.j	perte gazeuse de C à partir des boues
sedimMS_dec	600	gMS boue/kg MS entrante	sédimentation de MS dans les boues
sedimN_dec	500	g N/kg N entrant	sédimentation de N dans les boues
sedimP_dec	500	g P/kg P entrant	sédimentation de P dans les boues
sedimK_dec	50	g K/kg K entrant	sédimentation de K dans les boues
volatMS_dec	0	gMS/j	perte gazeuse de MS (composés organiques et inorganiques volatiles, ex : CO2, CH4, AGV) a partir du liquide entrant
sortie_boues_dec	48	kg boues/j	départ de matière (pompage des boues)
densite_boues_dec	1,01	kg boues/L	masse volumique
MS_boues_dec	150	g MS/kg boues	
concN_boues_dec	4,6	g N/L boues	
concP_boues_dec	4	g P/kg boues	
concK_boues_dec	1	g K/kg boues	

Tableau 23 : paramètres du décanteur

- **observations :**

entrée décanteur				
m3/j	g MS/l	g N/l	g P/l	g K/l
5,33	2,45	0,136	0,096	0,384

sortie boues					
kg eau	kg boues	g MS/l	g N/l	g P/l	g K/l
40,8	48	151,5	4,6	4	1

Hauteur boues
m
0,600

Tableau 24 : observations du décanteur

- **calcul des flux :**

boues						
hauteur boues	volume boues	MS	N	P	K	**hauteur surnageant**
m	m3	kg/m3	g N/L	g P/L	g K/L	m
0,60	1,7	152	4,68	4,04	1,03	1,20

sortie liquide					
volume	eau	MS	N	P	K
m3/j	kg/m3	kg/m3	g N/L	g P/L	g K/L
5,33	999	0,90	0,065	0,048	0,361

sortie boues					
kg eau/j	Kg boues/j	kg MS/j	kg N/j	kg P/j	kg K/j
40,8	48	7,2	0,22	0,19	0,05

sortie liquide					
m3/j	coef_MS	kg MS/j	kg N/j	kg P/j	kg K/j
5,33	1,00	4,8	0,346	0,3	1,9

Tableau 25 : calcul des flux du décanteur

- **calcul de l'état :**

variation stock surnageant	volat C	volat N		stockage boues					
m3/j	kg C/j	kg N/j	%N entrant	m3/j	m3 maxi /j	kg MS/j	kg N/j	kg P/j	kg K/j
0,000	0,0	0,00	0,0%	0,048	0,048	7,2	0,346	0,256	0,101

Tableau 26 : calcul de l'état pour le décanteur

Annexe 13 : extrait du modèle Excel concernant la lagune 1

- **paramètres :**

rsv1	19,5	m3/lagune 1	volume
surf1	30	m2/lagune 1	surface
nb_pas1	24	pas/jour	découpage de la journée pour le calcul du débit
abattMS_1	80	%entree	abattement (écart entrée sortie) = MS retirée du liquide entrant (consommation biologique - immobilisation => volatilisation ; valeur négative si importante fixation par des autotrophes)
concMS_macr1	40	g MS/kg brut	concentration des plantes
concN_macr1	2	g N/kg brut	concentration des plantes
concP_macr1	0,3	g P/kg brut	concentration des plantes
concK_macr1	1,7	g K/kg brut	concentration des plantes
volatN1	1	g N/[m2 ou kg N].j	perte par volatilisation de l'azote (rmqs : gain si valeur négative en g N/m2.j ; volat liquide + volat boues en g N/kg N.j)
volatC_1	1	gC/kg MS boues.j	perte gazeuse de C à partir des boues
densite_boues_1	1,01	kg boues/L	masse volumique
MS_boues_1	150	g MS/kg boues	teneur des boues en MS
sedimMS1	10	g MS/kg macr.j	flux de sédimentation
sedimN1	0,3	g N/kg macr.j	flux de sédimentation
sedimP1	0,3	g P/kg macr.j	flux de sédimentation
sedimK1	0,1	g K/kg macr.j	flux de sédimentation
tpsdoubl1	10	jours	temps de doublement de la biomasse macrophytes (valeur maximale, modulée en fonction du temps)
seuil_recolte1	10	kg/m2	seuil à partir duquel la croissance de la biomasse diminue
Diam_tuyau	0,1		

Tableau 27 : paramètres de la lagune 1

- **observations :**

entrée lagune 1				
m3/j	g MS/l	g N/l	g P/l	g K/l
5,33	1,90	0,108	0,064	0,362

sortie boues						
kg eau	m	g MS/kg boues	g N/l	g P/l	g K/l	**hauteur boues**
45,5	0,500	90	3,1	2,49	0,50	m
						0,500

Tableau 28 : observations de la lagune 1

macrophytes						
biomasse (kg)	récolte (kg/j)	g MS/l	g N/l	g P/l	g K/l	nb jours (j)
50	10					7

Tableau 29 : observations des macrophytes de la lagune 1

- **calcul des flux :**

entrées - sorties					
évaporation P1	pluie P1	stockage macrophytes	volat C	volat N	
m3/j	m3/j	kg/j	kg C/j	kg N/j	%N entrant
0,15	0,00	3	0,0	0,000	0,0%

stockage boues					
m3/j	m3 maxi /j	kg MS/j	kg N/j	kg P/j	kg K/j
0,0003	0,0003	0,04800	0,00010	0,00008	0,00019

sortie liquide				
m3/j	kg MS/j	kg N/j	kg P/j	kg K/j
0,00	0,96	0,339	0,255	1,916

sortie boues					
kg eau	kg boues	kg MS/j	kg N/j	kg P/j	kg K/j
0	0	0	0,00	0,00	0,00

macrophytes					
croissance (kg/j)	coef modulation Tps doublement (>=1)	kg MS/j	g N/j	g P/j	g K/j
3	1	0,1	6,9	1,0	5,9

Tableau 30 : calcul des flux de la lagune 1

- **calcul de l'état :**

stock boues									
hauteur précédente des boues	hauteur boues	hauteur ajustée sur le volume		volume boues	MS	N	P	K	hauteur surnageant
m	m	m	valeur cible	m3	kg/m3	g N/L	g P/L	g K/L	m
0,50	0,50	0,50	0,00	6,83	90,0	3,1	2,5	0,5	0,71

sortie lagune 1											
entrée nette	MS	N	P	K	Vol initial/pas	hauteur initiale ajustée sur le volume		Volume final	hauteur finale ajustée sur le volume		abatt N instantané
L/pas	kg/m3	g N/L	g P/L	g K/L	m3	m	Valeur cible	m3	m	Valeur cible	%
5172,120	0,000	0,000	0,000	0,000	24,7	1,18	0,00	24,7	1,18	0,00	100%

macrophytes						
Biomasse (kg)	ExcesBiomasse	Stock MS (kg MS)	Stock eau (kg eau)	StockN (kg N)	StockP (kg P)	Stock K (kg K)
53	1	2	51	0,1	0,0	0,0

Tableau 31 : calcul de l'état pour la lagune 1

Annexe 14 : extrait du modèle Excel concernant le filtre 2

- **paramètres :**

rsv2	22	m3/lagune 2	volume
surf2	30	m2/lagune 2	surface
nb_pas2	24	pas/jour	découpage de la journée pour le calcul du débit
abattMS_2	80	%entree	abattement (écart entrée sortie) = MS retirée du liquide entrant (consommation biologique - immobilisation => volatilisation ; valeur négative si importante fixation par des autotrophes)
concMS_macr2	40	g MS/kg brut	concentration des plantes
concN_macr2	2	g N/kg brut	concentration des plantes
concP_macr2	0,3	g P/kg brut	concentration des plantes
concK_macr2	1,7	g K/kg brut	concentration des plantes
volatN2	1	g N/[m2 ou kg N].j	perte par volatilisation de l'azote (rmqs : gain si valeur négative en g N/m2.j ; volat liquide + volat boues en g N/kg N.j)
volatC_2	1	gC/kg MS boues.j	perte gazeuse de C à partir des boues
densite_boues_2	1,01	kg boues/L	masse volumique
MS_boues_2	150	g MS/kg boues	teneur des boues en MS
sedimMS2	10	g MS/kg macr.j	flux de sédimentation
sedimN2	0,3	g N/kg macr.j	flux de sédimentation
sedimP2	0,3	g P/kg macr.j	flux de sédimentation
sedimK2	0,1	g K/kg macr.j	flux de sédimentation
tpsdoubl2	10	jours	temps de doublement de la biomasse macrophytes (valeur maximale, modulée en fonction du temps)
seuil_recolte2	10	kg/m2	seuil à partir duquel la croissance de la biomasse diminue
porosite_graviers_2	0,45	m3 vide/m3 filtre gravier	cette porosité peut être remplie de boues, de liquide ou d'air

Tableau 32 : paramètres du filtre 2

- **observations :**

entrée filtre 2				
m3/j	g MS/l	g N/l	g P/l	g K/l
5,18	1,70	0,050	0,055	0,332

sortie boues						
kg eau	m	g MS/kg boues	g N/l	g P/l	g K/l	**hauteur boues**
0,00	0,200	*0,00*	*0,00*	*0,00*	*0,00*	m
						0,200

Tableau 33 : observations du filtre 2

macrophytes						
croissance (kg)	récolte (kg)	g MS/l	g N/l	g P/l	g K/l	nb jours (j)
50	10					7

Tableau 34 : observations des macrophytes du fi1tre 2

- **calcul des flux :**

évaporation P2	pluie P2	stockage macrophytes	volat C	volat N	
m3/j	m3/j	kg/j	kg C/j	kg N/j	%N entrant
0,15	0,00	3	0,0	0,000	0,0%

stockage boues					
m3/j	m3 maxi /j	kg MS/j	kg N/j	kg P/j	kg K/j
0,000	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0

sortie liquide				
sortie liquide m3/j	kg MS/j	kg N/j	kg P/j	kg K/j
2,41	0,19	0,332	0,253	1,910

sortie boues					
kg eau	kg boues	kg MS/j	kg N/j	kg P/j	kg K/j
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

macrophytes					
croissance (kg)	coef modulation Tps doublement (>=1)	kg MS/j	g N/j	g P/j	g K/j
3	1	0,1	6,9	1,0	5,9

Tableau 35 : calcul des flux du filtre 2

- **calcul de l'état :**

stock boues									
hauteur précédente des boues	hauteur boues	hauteur ajustée sur le volume		Volume boues	MS	N	P	K	hauteur surnageant
m	m	m	valeur cible	m3	kg/m3	g N/L	g P/L	g K/L	m
0,20	0,20	0,20	0,00	4,49	0,0	0,0	0,0	0,0	0,45

sortie liquide										
entrée nette	MS	N	P	K	Vol initial/pas	hauteur initiale ajustée sur le volume		Volume final	hauteur finale ajustée sur le volume		abatt N instantané
L/pas	kg/m3	g N/L	g P/L	g K/L	m3	m	valeur cible	m3	m	Valeur cible	%
-153,327	0,080	0,138	0,105	0,793	21,8	0,71	0,00	19,4	0,66	0,00	0%

macrophytes						
Biomasse (kg)	ExcesBiomasse	Stock MS (kg MS)	Stock eau (kg eau)	StockN (kg N)	StockP (kg P)	Stock K (kg K)
53	1	2	51	0,1	0,0	0,0

Tableau 36 : calcul de l'état pour le filtre 2

Annexe 15 : extrait du modèle Excel concernant la lagune 3

- **paramètres :**

rsv3	20	m3/lagune 3	volume
surf3	30	m2/lagune 3	surface
nb_pas3	24	pas/jour	découpage de la journée pour le calcul du débit
abattMS_3	80	%entree	abattement (écart entrée sortie) = MS retirée du liquide entrant (consommation biologique - immobilisation => volatilisation ; valeur négative si importante fixation par des autotrophes)
concMS_macr3	40	g MS/kg brut	concentration des plantes
concN_macr3	2	g N/kg brut	concentration des plantes
concP_macr3	0,3	g P/kg brut	concentration des plantes
concK_macr3	1,7	g K/kg brut	concentration des plantes
volatN3	1	g N/[m2 ou kg N].j	perte par volatilisation de l'azote (rmqs : gain si valeur négative en g N/m2.j ; volat liquide + volat boues en g N/kg N.j)
volatC_3	1	gC/kg MS boues.j	perte gazeuse de C à partir des boues
densite_boues_3	1,01	kg boues/L	masse volumique
MS_boues_3	150	g MS/kg boues	teneur des boues en MS
sedimMS3	10	g MS/kg macr.j	flux de sédimentation
sedimN3	0,3	g N/kg macr.j	flux de sédimentation
sedimP3	0,3	g P/kg macr.j	flux de sédimentation
sedimK3	0,1	g K/kg macr.j	flux de sédimentation
tpsdoubl3	10	jours	temps de doublement de la biomasse macrophytes (valeur maximale, modulée en fonction du temps)
seuil_recolte3	10	kg/m2	seuil à partir duquel la croissance de la biomasse diminue

Tableau 37 : paramètres de la lagune 3

- **observations :**

entrée lagune 3				
m3/j	g MS/l	g N/l	g P/l	g K/l
5,03	1,47	0,043	0,049	0,324

sortie boues						
kg eau	kg boues	g MS/l	g N/l	g P/l	g K/l	**hauteur boues**
455	500	90	3,1	2,49	0,50	m
						0,200

Tableau 38 : observations de la lagune 3

macrophytes						
croissance (kg)	récolte (kg)	g MS/l	g N/l	g P/l	g K/l	nb jours (j)
50	10					7

Tableau 39 : observations des macrophytes de la lagune 3

- **calcul des flux :**

évaporation P3	pluie P3	stockage macrophytes	volat C		volat N
m3/j	m3/j	kg/j	kg C/j	kg N/j	%N entrant
0,15	0,00	3	0,0	0,000	0,0%

stockage boues					
m3/j	m3 maxi /j	kg MS/j	kg N/j	kg P/j	kg K/j
0,000	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0

sortie liquide				
sortie liquide m3/j	kg MS/j	kg N/j	kg P/j	kg K/j
4,18	0,04	0,325	0,252	1,904

sortie boues					
kg eau	kg boues	kg MS/j	kg N/j	kg P/j	kg K/j
455	500	45,0	1,53	1,23	0,25

macrophytes					
croissance (kg)	coef modulation Tps doublement (>=1)	kg MS/j	g N/j	g P/j	g K/j
3	1	0,1	6,9	1,0	5,9

Tableau 40 : calcul des flux de la lagune 3

- **calcul de l'état :**

stock boues									
hauteur précédente des boues	hauteur boues	hauteur ajustée sur le volume		Volume boues	MS	N	P	K	Hauteur surnageant
m	m	m	valeur cible	m3	kg/m3	g N/L	g P/L	g K/L	m
0,20	0,18	0,18	0,00	4,53	80,1	2,8	2,2	0,4	0,37

sortie lagune 3											
Entrée nette	MS	N	P	K	Vol initial/pas	hauteur initiale ajustée sur le volume		Volume final	hauteur finale ajustée sur le volume		abatt N instantané
L/pas	kg/m3	g N/L	g P/L	g K/L	m3	m	Valeur cible	m3	m	Valeur cible	%
1801,544	0,009	0,078	0,060	0,455	21,8	0,64	0,00	17,6	0,55	0,00	-70%

macrophytes						
Biomasse (kg)	ExcesBiomasse	Stock MS (kg MS)	Stock eau (kg eau)	StockN (kg N)	StockP (kg P)	Stock K (kg K)
53	1	2	51	0,1	0,0	0,0

Tableau 41 : calcul de l'état pour la lagune 3

Annexe 16 : extrait du modèle Excel concernant le filtre 4

- **paramètres :**

rsv4	37	m3/lagune 4	volume
surf4	30	m2/lagune 4	surface
nb_pas4	24	pas/jour	découpage de la journée pour le calcul du débit
abattMS_4	80	%entree	abattement (écart entrée sortie) = MS retirée du liquide entrant (consommation biologique - immobilisation => volatilisation ; valeur négative si importante fixation par des autotrophes)
concMS_macr4	40	g MS/kg brut	concentration des plantes
concN_macr4	2	g N/kg brut	concentration des plantes
concP_macr4	0,3	g P/kg brut	concentration des plantes
concK_macr4	1,7	g K/kg brut	concentration des plantes
volatN4	1	g N/[m2 ou kg N].j	perte par volatilisation de l'azote (rmqs : gain si valeur négative en g N/m2.j ; volat liquide + volat boues en g N/kg N.j)
volatC_4	1	gC/kg MS boues.j	perte gazeuse de C à partir des boues
densite_boues_4	1,01	kg boues/L	masse volumique
MS_boues_4	150	g MS/kg boues	teneur des boues en MS
sedimMS4	10	g MS/kg macr.j	flux de sédimentation
sedimN4	0,3	g N/kg macr.j	flux de sédimentation
sedimP4	0,3	g P/kg macr.j	flux de sédimentation
sedimK4	0,1	g K/kg macr.j	flux de sédimentation
tpsdoubl4	10	jours	temps de doublement de la biomasse macrophytes (valeur maximale, modulée en fonction du temps)
seuil_recolte4	10	kg/m2	seuil à partir duquel la croissance de la biomasse diminue
porosite_graviers_4	0,45	m3 vide/m3 filtre gravier	cette porosité peut être remplie de boues, de liquide ou d'air

Tableau 42 : paramètres du filtre 4

- **observations :**

entrée filtre 4				
m3/j	g MS/l	g N/l	g P/l	g K/l
4,88	1,49	0,031	0,052	0,262

sortie boues						
kg eau	kg boues	g MS/l	g N/l	g P/l	g K/l	hauteur boues P4
0,00	*0,00*	*0,00*	*0,00*	*0,00*	*0,00*	m
						0,200

Tableau 43 : observations du filtre 4

macrophytes						
croissance (kg)	récolte (kg)	g MS/l	g N/l	g P/l	g K/l	nb jours (j)
50	10					7

Tableau 44 : observations des macrophytes du fi1tre 4

- **calcul des flux :**

évaporation P4	pluie P4	stockage macrophytes	volat C	volat N	
m3/j	m3/j	kg/j	kg C/j	kg N/j	%N entrant
0,15	0,00	3	0,0	0,000	0,0%

stockage boues					
m3/j	m3 maxi /j	kg MS/j	kg N/j	kg P/j	kg K/j
0,000	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0

sortie liquide				
sortie liquide m3/j	kg MS/j	kg N/j	kg P/j	kg K/j
4,75	0,01	0,318	0,251	1,898

sortie boues					
kg eau	kg boues	kg MS/j	kg N/j	kg P/j	kg K/j
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

macrophytes					
croissance (kg)	coef modulation Tps doublement (>=1)	kg MS/j	g N/j	g P/j	g K/j
3	1	0,1	6,9	1,0	5,9

Tableau 45 : calcul des flux du filtre 4

- **calcul de l'état :**

stock boues									
hauteur précédente des boues	Hauteur boues	hauteur ajustée sur le volume		Volume boues	MS	N	P	K	Hauteur surnageant
m	m	m	Valeur cible	m3	kg/m3	g N/L	g P/L	g K/L	m
0,20	0,20	0,20	0,00	9,79	0,0	0,0	0,0	0,0	0,40

Sortie liquide										
Entrée nette	MS	N	P	K	Vol initial/pas	hauteur initiale ajustée sur le volume		Volume final	hauteur finale ajustée sur le volume		abatt N instantané
L/pas	kg/m3	g N/L	g P/L	g K/L	m3	m	Valeur cible	m3	m	Valeur cible	%
4031,412	0,002	0,067	0,053	0,400	41,0	0,66	0,00	36,3	0,60	0,00	-11%

macrophytes						
Biomasse (kg)	ExcesBiomasse	Stock MS (kg MS)	Stock eau (kg eau)	StockN (kg N)	StockP (kg P)	Stock K (kg K)
53	1	2	51	0,1	0,0	0,0

Tableau 46 : calcul de l'état pour le filtre 4

Annexe 17 : extrait du modèle Excel concernant la lagune 5

- **paramètres :**

rsv5	250	m3/lagune 5	volume
surf5	30	m2/lagune 5	surface
nb_pas5	24	pas/jour	découpage de la journée pour le calcul du débit
abattMS_5	80	%entree	abattement (écart entrée sortie) = MS retirée du liquide entrant (consommation biologique - immobilisation => volatilisation ; valeur négative si importante fixation par des autotrophes)
concMS_macr5	40	g MS/kg brut	concentration des plantes
concN_macr5	2	g N/kg brut	concentration des plantes
concP_macr5	0,3	g P/kg brut	concentration des plantes
concK_macr5	1,7	g K/kg brut	concentration des plantes
volatN5	1	g N/[m2 ou kg N].j	perte par volatilisation de l'azote (rmqs : gain si valeur négative en g N/m2.j ; volat liquide + volat boues en g N/kg N.j)
volatC_5	1	gC/kg MS boues.j	perte gazeuse de C à partir des boues
densite_boues_5	1,01	kg boues/L	masse volumique
MS_boues_5	150	g MS/kg boues	teneur des boues en MS
sedimMS5	10	g MS/kg macr.j	flux de sédimentation
sedimN5	0,3	g N/kg macr.j	flux de sédimentation
sedimP5	0,3	g P/kg macr.j	flux de sédimentation
sedimK5	0,1	g K/kg macr.j	flux de sédimentation
tpsdoubl5	10	jours	temps de doublement de la biomasse macrophytes (valeur maximale, modulée en fonction du temps)
seuil_recolte5	10	kg/m2	seuil à partir duquel la croissance de la biomasse diminue

Tableau 47 : paramètres de la lagune 5

- **observations :**

entrée bassin 5				
m3/j	g MS/l	g N/l	g P/l	g K/l
4,73	1,41	0,023	0,046	0,244

sortie bassin 5			
g MS/l	g N/l	g P/l	g K/l

sortie boues						
kg eau	kg boues	g MS/l	g N/l	g P/l	g K/l	**hauteur boues**
4550	5000	90	3,1	2,49	0,50	m
						0,200

Tableau 48 : observations de la lagune 5

macrophytes						
croissance (kg)	récolte (kg)	g MS/l	g N/l	g P/l	g K/l	nb jours (j)
50	10					7

Tableau 49 : observations des macrophytes de la lagune 5

- **calcul des flux :**

évaporation P5	pluie P5	stockage macrophytes	volat C	volat N	
m3/j	m3/j	kg/j	kg C/j	kg N/j	%N entrant
0,15	0,00	3	0,0	0,000	0,0%

stockage boues					
m3/j	m3 maxi /j	kg MS/j	kg N/j	kg P/j	kg K/j
0,000	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0

Sortie P5 => entrée porcherie						
sortie liquide totale m3/j	kg MS/j	kg N/j	kg P/j	kg K/j	sortie liquide sans porcherie m3/j	sortie liquide porcherie m3/j
4,80	5,81	0,076	0,174	0,895	0,00	4,8

sortie boues					
kg eau	kg boues	kg MS/j	kg N/j	kg P/j	kg K/j
4550	5000	450,0	15,35	12,32	2,48

macrophytes					
croissance (kg)	coef modulation Tps doublement (>=1)	kg MS/j	g N/j	g P/j	g K/j
3	1	0,1	6,9	1,0	5,9

Tableau 50 : calcul des flux de la lagune 5

- **calcul de l'état :**

stock boues									
hauteur précédente des boues	Hauteur boues	hauteur ajustée sur le volume		Volume boues	MS	N	P	K	Hauteur surnageant
m	m	m	Valeur cible	m3	kg/m3	g N/L	g P/L	g K/L	m
0,20	0,14	0,14	0,00	12,05	52,7	1,8	1,5	0,3	1,96

sortie bassin										
entrée nette	MS	N	P	K	Vol initial/pas	hauteur initiale ajustée sur le volume		Volume final	hauteur finale ajustée sur le volume		abatt N instantané
L/pas	kg/m3	g N/L	g P/L	g K/L	m3	m	Valeur cible	m3	m	Valeur cible	%
45,484	1,186	0,017	0,037	0,190	250,0	2,00	0,00	245,2	1,97	0,00	76%

macrophytes						
Biomasse (kg)	ExcesBiomasse	Stock MS (kg MS)	Stock eau (kg eau)	StockN (kg N)	StockP (kg P)	Stock K (kg K)
53	1	2	51	0,1	0,0	0,0

Tableau 51 : calcul de l'état pour la lagune 5

Annexe 18 : extrait du modèle Excel concernant les autres données

- **paramètres :**

MILIEU EXTERIEUR			
depotN	60	kgN/ha.an	déposition d'azote sec+humide
AUTRES PARAMETRES			
P2O5_to_P	0,437	kg P/kgP2O5	
K2O_to_K	0,833	kg K/kg K2O	
P_to_P2O5	2,29	kg P2O5/kg P	
K_to_K2O	1,20	kg K2O/kg K	

Tableau 52 : données de la feuille paramètres

- **observations :**

DONNEES									
Pluie	ETP	nb truies	chasse d'eau	eau lavage	évacuation fosse porcherie	évacuation solide après tamis	évacuation lombrifiltre	boues sortie	sortie basin eau de stockage
mm/j	mm/j	animaux	m3/j	L/j	L/j	L/j	L/j		L/j
0	5	30	4,8	0	0	0	0		0

Tableau 53 : données de base de la feuille d'observations

- **calcul des flux :**

déjections				
kg eau/j	kg MS/j	kg N/j	kg P/j	kg K/j
622	10,1	1,10	0,35	0,74

chasse d'eau				
m3/j	kg MS/j	kg N/j	kg P/j	kg K/j
4,80	5,81	0,076	0,174	0,895

Tableau 54 : données de base pour le calcul des flux

Résumé

Le contexte actuel de l'élevage porcin en Bretagne est tel qu'il faut trouver des solutions innovantes de traitement des effluents d'élevage, l'épandage sur les terres agricoles n'étant plus suffisant. La station porcine expérimentale de Guernévez (SPEG) dans le Finistère est dédiée à la recherche de nouveaux procédés permettant l'amélioration du bien être animal et des hommes travaillant dans l'élevage porcin. Ce rapport a pour but de faire un bilan sur le dispositif de lombrifiltration puis lagunage mis au point pour le traitement et la valorisation du lisier frais dilué et d'en montrer les avantages et les inconvénients. Les premiers résultats mettent en évidence un besoin de continuer les expérimentations car le procédé n'est pour le moment pas assez robuste pour s'adapter aux variations de la qualité de l'effluent, à l'alternance des saisons et aux besoins des élevages porcin de tailles supérieures.