



HAL
open science

Exploration du rôle joué par la phyto-épuration sur la ferme expérimentale de Saint-Laurent de la Prée à des fins de dépollution des eaux issues des activités agricoles

Audrey Petiot

► To cite this version:

Audrey Petiot. Exploration du rôle joué par la phyto-épuration sur la ferme expérimentale de Saint-Laurent de la Prée à des fins de dépollution des eaux issues des activités agricoles. [Stage] France. Institut Universitaire de Technologie de Poitiers-Chatelleraut-Niort (IUT de Poitiers-Chatelleraut-Niort), FRA. 2017, 33 p. hal-02791078

HAL Id: hal-02791078

<https://hal.inrae.fr/hal-02791078v1>

Submitted on 5 Jun 2020

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

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

Copyright

PETIOT Audrey

Tuteur de stage : BATIOU-DUPEYRAT Catherine

Année universitaire
2016-2017

RAPPORT DE STAGE

Licence Professionnelle : Génie des Procédés pour l'Environnement
Procédés de Dépollution et de Valorisation

Du 27/02/2017 au 9/06/2017



Sujet de stage : Exploration du rôle joué par la phyto-épuration sur la ferme expérimentale de Saint-Laurent de la Prée à des fins de dépollution des eaux issues des activités agricoles

Maître de stage : DURANT Daphné



IUT de Poitiers
Département de CHIMIE
14 allée Jean Monnet – Bât C.12
TSA 41114
86073 POITIERS cedex



REMERCIEMENTS

Tout d'abord, je remercie Éric KERNEÏS, directeur de l'Unité expérimentale de Saint-Laurent de la Prée et ingénieur de recherche, pour m'avoir accueillie au sein de cette structure.

Je remercie également sincèrement Daphné DURANT, ma maîtresse de stage, ingénieure de recherche et responsable de l'expérimentation-système, pour m'avoir confiée ce sujet complexe et d'actualité dans ce domaine où l'écologie et l'agriculture se lient ; de m'avoir encadrée avec attention et pour m'avoir conseillée tout au long de la réalisation de ce projet. Je la remercie également pour sa patience et sa gentillesse face à toutes mes interrogations aussi bien sur le plan personnel que professionnel.

Un grand merci à Claude CHATAIGNER pour ses explications éclairées sur le fonctionnement des cultures et à Olivier SCHMIT et Julien ANCELIN pour leur aide en informatique et pour leurs conseils.

Je remercie chaleureusement l'ensemble de l'équipe de l'unité de Saint-Laurent de la Prée pour leur accueil, leur convivialité et leur aide précieuse : Pierre & Michel, Sophie... Mais également les stagiaires et CDD présents pour leur bonne humeur et leur soutien : Lise, Kévin et Mathilde.

Je remercie aussi Virginie DROUOT, professeure de Génie des Procédés du Lycée Saint Jacques de Compostelle, d'avoir accepté que je réalise des manipulations au laboratoire pendant ma période de stage.

Je tiens vivement à remercier Adrien GAGNAIRE, de la société Aquatiris, spécialisée dans l'assainissement par phyto-épuration, de s'être déplacé durant une matinée afin de m'expliquer les principes de dimensionnement d'une filière de traitement écologique.

Enfin, je remercie l'IUT de Poitiers de m'avoir permis de réaliser ce stage et mon tuteur de stage Catherine BATIOT-DUPEYRAT pour ses conseils.

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS

TABLE DES ILLUSTRATIONS

TABLES DES ABRÉVIATIONS ET ACRONYMES

INTRODUCTION	1
PRÉSENTATION DU SUJET DE STAGE.....	4
CHAPITRE 1 : État de l'art	6
I. INTRODUCTION	6
II. DIFFÉRENTS TYPES ET COMPOSITION DES EFFLUENTS AGRICOLES	7
III. PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES DE L'EFFLUENT	7
IV. PRINCIPE DU TRAITEMENT DES EAUX USÉES.....	8
1. Traitement primaire	8
2. Traitement secondaire	9
3. Traitement tertiaire.....	11
V. ZONE TAMPON HUMIDE ARTIFICIELLE (ZTHA).....	11
VI. ÉVALUATION DES PERFORMANCES DE CES DISPOSITIFS	12
1. Traitement primaire	12
2. Traitement secondaire	12
3. Zone tampon humide artificielle.....	13
VII. HYGIÈNE ET SÉCURITÉ	13
VIII. CONCLUSION	14
CHAPITRE 2 : Proposition de dispositifs utilisant la phyto-épuration.....	15
A. PROJET « Filtre planté de roseaux ».....	15
I. ÉTAT DES LIEUX	15
1. Fumière	15

2.	Station de lavage	17
3.	Analyses de l'eau	18
4.	Exemples de dispositifs existants	19
II.	SOLUTION PROPOSÉE.....	21
B.	PROJET « Zone tampon humide artificielle »	23
I.	ÉTAT DES LIEUX	23
II.	ANALYSES DE L'EAU.....	27
III.	EXEMPLE DE DISPOSITIF EXISTANT	28
	CONCLUSION SCIENTIFIQUE.....	31
	BILAN PERSONNEL.....	33
	BIBLIOGRAPHIE	
	GLOSSAIRE	
	ANNEXE I	
	ANNEXE II	
	ANNEXE III	
	ANNEXE IV	
	ANNEXE V	
	ANNEXE VI	
	RÉSUMÉ	
	ABSTRACT	

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1	Localisation de l'Unité Expérimentale de Saint-Laurent de la Prée en France
Figure 2	Lixiviats de fumière
Figure 3	Exutoires de la fumière
Figure 4	Débordements des jus dans la prairie
Figure 5	Jus risquant d'atteindre le stock de paille situé à côté de la fumière
Figure 6	Station de lavage actuelle
Figure 7	Systèmes de vannes
Figure 8	Photo du filtre planté de roseaux de Patuchev à Lusignan
Figure 9	Tuyau évacuant l'eau issue des drains dans un fossé
Figure 10	Photo du fossé en amont de la pompe de rejet
Figure 11	Deux types de ZTHA
Tableau 1	Taux d'abattement (%) après le traitement primaire
Tableau 2	Estimation de la quantité moyenne d'eau utilisée par an
Tableau 3	Analyses effectuées sur les jus de fumier
Tableau 4	Bilan hydrique
Tableau 5	Analyses effectuées sur l'eau du marais

TABLE DES ABRÉVIATIONS ET ACRONYMES

BTS	Bassin Tampon de Sédimentation
DBO₅	Demande Biochimique en Oxygène sur 5 jours
DCO	Demande Chimique en Oxygène
DGO	Demande Globale en Oxygène
FAP	Filtre À Paille
FPR	Filtre Planté de Roseaux
INRA	Institut National de Recherche Agronomique
MES	Matières En Suspension
ZTHA	Zone Tampon Humide Artificielle
IRSTEA	Institut National de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture

INTRODUCTION

- Présentation de l'organisme de recherche :

L'INRA est un établissement public à caractère scientifique et technologique (EPST). Cet organisme de recherche a été fondé en 1946, au lendemain de la Seconde Guerre Mondiale, afin d'apporter des solutions pour nourrir la population française. L'INRA a pour vocation de produire et de diffuser des connaissances scientifiques au service de l'intérêt public, et ce dans trois domaines principaux : l'alimentation, l'agriculture et l'environnement. La finalité des travaux de l'INRA est de contribuer à développer une agriculture à la fois compétitive et respectueuse de l'environnement, tout en étant adaptée aux besoins nutritionnels de l'Homme (une alimentation saine et de qualité).

Aujourd'hui, l'INRA est le premier institut de recherche agronomique en Europe et est le deuxième dans le monde en termes de publications en sciences agricoles et en sciences de la plante et de l'animal. L'Institut est présent dans presque toutes les régions françaises y compris en outre-mer. Ses différentes unités sont regroupées en 17 centres de recherche régionaux.

Le centre Nouvelle Aquitaine-Poitiers mène des programmes de recherche qui contribuent au développement d'une agriculture durable et performante, à la valorisation de la biodiversité et à la préservation de l'environnement. Les recherches de l'INRA sont conduites au sein de 13 départements scientifiques. Chaque département anime un ensemble de champs disciplinaires pour explorer des thématiques de recherches scientifiques.

L'Unité Expérimentale de Saint-Laurent de la Prée est rattachée au département scientifique Sciences pour l'Action et le Développement (SAD), dont les recherches sont axées sur les innovations en termes d'agriculture dans les filières agro-alimentaires et dans les territoires ruraux et péri-urbains.

- Présentation de la zone d'étude :



*Figure 1 : Localisation de l'Unité Expérimentale de Saint-Laurent de la Prée en France
Source : Art-voyages, 2017*

L'Unité Expérimentale de Saint-Laurent de la Prée a été créée en 1964. Elle est située dans les marais desséchés entre Rochefort et la Rochelle en Charente-Maritime (17). C'est une exploitation agricole conduite en polyculture-élevage bovin allaitant sur une Surface Agricole Utile (SAU) totale de 160 ha divisée en 110 ha de prairies naturelles (10 % en terres hautes et 90 % en marais) et 50 ha de cultures et un troupeau de 140 animaux comprenant des vaches maraîchines allaitantes et leur suite.

Le domaine a pour objectif le développement des connaissances utiles à la mise en valeur des systèmes agricoles des Marais de l'Ouest. Localisée en zone humide littorale atlantique, elle conçoit et évalue des systèmes agricoles alliant production agricole et préservation de l'environnement. Elle rassemble 16 agents permanents.

Depuis 2009, l'INRA conduit une « expérimentation-système », appelée Transi'marsh, qui vise à concevoir et évaluer un système de production agricole innovant dans le marais. Transi'marsh a pour ambition d'accomplir une transition agro-écologique de manière progressive. Les deux principaux enjeux de cette transition sont :

- **L'environnement** : améliorer la biodiversité animale et végétale en ajoutant des habitats naturels comme des haies ou des roselières par exemple ; limiter les effets que peuvent avoir les activités agricoles sur la qualité de l'eau et la fertilité des sols, par exemple en cultivant des associations céréales/protéagineux (par exemple blé/pois) et en limitant les intrants (produits phytosanitaires, engrais de synthèse).
- **L'autonomie du système de production de la ferme** : réduire les approvisionnements extérieurs en concentrés alimentaires et en paille et développer le pâturage de prairies temporaires multi-espèces.

L'évaluation de ce système passe par divers tests expérimentaux menés à l'échelle de la parcelle ou de l'exploitation toute entière. Des bilans annuels permettent de juger de l'atteinte des objectifs de départ. Les trois critères évalués sont :

- **Critères environnementaux** : suivi de la biodiversité en oiseaux (limicoles et passereaux), la flore et les insectes ; la qualité de l'eau avec l'IFT (Indice de Fréquence de Traitements) et le bilan apparent de l'azote ; la fertilité des sols avec la teneur en matière organique.
- **Critères économiques** : les comptes de l'exploitation et l'autonomie en aliments, azote et paille.
- **Critères sociaux** : la charge et l'organisation du travail.

PRÉSENTATION DU SUJET DE STAGE

Ce rapport est le résultat de 15 semaines de stage réalisées à l'INRA de Saint-Laurent de la Prée, sous l'encadrement de Daphné DURANT, responsable de l'expérimentation-système, en vue de l'obtention de la licence professionnelle Génie des Procédés pour l'Environnement.

L'Unité Expérimentale de Saint-Laurent de la Prée a pour projet de passer en agriculture biologique d'ici 2018 afin de limiter les intrants et par conséquent d'améliorer la qualité de l'eau et répondre aux normes concernant les rejets. Par définition, « l'agriculture biologique constitue un mode de production qui trouve son originalité dans le recours à des pratiques culturales et d'élevage soucieuses du respect des équilibres naturels. Ainsi, elle exclut l'usage des produits chimiques de synthèse, des OGMs et limite l'emploi d'intrants » (*Alim'agri*, 2016). Pour assurer le respect de ces normes de qualité d'eau, la décision de mettre en place des dispositifs utilisant la phyto-épuration a été envisagée. Ils ont pour vocation la dépollution des :

- Jus d'écoulement de la fumière
- Eaux de la station de lavage des matériels agricoles
- Eaux des drains et des fossés issues des activités agricoles dans le marais

C'est pour cela que Daphné DURANT m'a proposé la problématique suivante :

Exploration du rôle joué par la phyto-épuration sur la ferme expérimentale de Saint-Laurent de la Prée à des fins de dépollution des eaux issues des activités agricoles

Pour répondre à cette problématique, les deux missions principales que proposait ce stage sont :

- Dans un premier temps, de réaliser des recherches documentaires sur le thème d'étude : il s'agissait d'effectuer une synthèse des connaissances actuelles sur les différents aménagements utilisant la phyto-épuration applicable sur une exploitation agricole ; les particularités et principes de fonctionnement d'un système d'épuration des eaux usées en phyto-épuration (bassins horizontaux ou verticaux) et de connaître les performances attendues de ces aménagements en terme d'amélioration de la qualité des eaux. Ce travail a été complété d'un recueil d'expériences de fermes ayant déjà mis en place ces aménagements.

- Dans un second temps, de faire une proposition d'aménagement(s) ou de dispositif(s) à mettre en place sur la ferme expérimentale : il s'agissait d'établir un dossier de mise en œuvre concrète (avec un schéma et dimensionnement de l'installation, adaptée aux contraintes de la ferme ; prévisions de gestion et de maintenance, réglementation) et d'établir un protocole d'évaluation de la qualité de l'eau de façon à suivre les performances dans le temps du dispositif proposé.

Ce rapport se compose de deux chapitres : le premier porte sur l'étude bibliographique réalisée en amont et le deuxième est la proposition de dispositif à mettre en place sur la ferme expérimentale divisé en deux parties, le projet « Filtre planté de roseaux » et le projet « Zone tampon humide artificielle ».

CHAPITRE 1 : État de l'art

Cette synthèse bibliographique a permis de connaître les différentes techniques écologiques utilisant les végétaux pour l'épuration de l'eau dans le but de mettre en place des aménagements sur la ferme expérimentale de l'INRA. Ces aménagements seront destinés à dépolluer les eaux de drainage issues des activités agricoles dans le marais, les jus d'écoulement de la fumière et les eaux de la station de lavage.

Ce chapitre résume une synthèse de 72 pages portant sur les différentes techniques de phyto-épuration existantes que j'ai réalisées. Cette théorie a été illustrée grâce à des exemples de fermes expérimentales, de particuliers ou de communes ayant déjà mis en place ces techniques.

Les recherches ont été effectuées principalement sur internet, mais aussi à partir d'articles issus de magazines (ex. *La France agricole*) et de revues scientifiques (ex. *Ecological engineering, Journal of soil and water conservation*).

I. INTRODUCTION

En France, il est **interdit** de rejeter ses eaux usées dans la nature, elles doivent être collectées (assainissement collectif ou non collectif) pour subir un traitement afin de les dépolluer avant leur rejet dans le milieu naturel en respectant les normes en vigueur. Toutes les habitations (immeubles ou maisons) doivent être raccordées au réseau d'assainissement collectif de la ville ou, pour les habitations ne pouvant être raccordées, être munies d'un système d'assainissement autonome. Il existe des procédés basés sur l'écologie, le filtre planté de roseaux ou le lagunage, c'est ce qu'on appelle la **phyto-épuration**.

Il existe trois lois relatant les fondements de la politique de l'eau actuelle (*Eau France*, s.d.¹): la **loi du 16/12/1964** qui concerne l'organisation de la gestion décentralisée de l'eau par bassin versant; la **loi n°92-3** du 3/01/1992 concernant le renforcement de la protection et de la qualité des ressources en eau et la **loi n°2006-1772** du 30/12/2006 sur LEMA² qui complète les deux premières lois et qui s'assure de la bonne qualité des eaux fixée par la **DCE**³. Cette dernière a été adoptée le 23/10/2000 et a pour

¹ Sans date.

² L'Eau et les Milieux Aquatiques.

³ Directive Cadre sur l'Eau.

objectifs de protéger, de préserver et de gérer la ressource en eau dans le cadre d'un développement durable.

II. DIFFÉRENTS TYPES ET COMPOSITION DES EFFLUENTS AGRICOLES

Il y a trois types d'effluents agricoles (*Chambre d'agriculture des Pays de la Loire, 2007*) :

- Les **eaux vertes** : ce sont les eaux qui proviennent de l'aire d'attente des vaches et du nettoyage des quais de la salle de traite.
- Les **eaux brunes** : ce sont les eaux pluviales qui tombent sur la fumière ce qui provoque des jus de fumière appelés lixiviats.
- Les **eaux blanches** : ce sont les eaux qui proviennent des laiteries et des salles de traite.

Les eaux brunes et vertes sont principalement de l'eau pluviale, le reste étant du fumier. Les eaux blanches sont essentiellement chargées en produits utilisés pour le nettoyage des installations et en résidus de lait.

III. PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES DE L'EFFLUENT

Les eaux usées entraînent des nuisances pour l'environnement. Afin de les éviter, elles doivent subir des procédés de traitement avant leur évacuation dans le milieu récepteur. Ainsi, le choix du traitement dépend de la composition des eaux à traiter, d'où l'importance de connaître la qualité de l'eau à épurer. Dans le milieu agricole, les paramètres les plus importants à surveiller sont les concentrations en nitrates et en phosphates, ainsi que les concentrations en pesticides rejetées lors du drainage. La qualité bactériologique est également un paramètre à surveiller en raison des microorganismes indicateurs de contamination fécale⁴. Les quatre flores bactériennes recherchées en laboratoire sont les *Escherichia coli* et les entérocoques. La vérification de ces paramètres assure du comportement de la biodiversité dans les canaux.

- La **conductivité électrique** : cette mesure permet de mesurer la capacité de l'effluent à conduire le courant électrique. Elle s'exprime en Siemens par mètre (**S.m⁻¹**).

⁴ La présence dans une eau est le signe d'une contamination par des matières fécales.

- La **température** : cette mesure doit se faire au moment du prélèvement. Elle s'exprime en degré Celsius (°C).
- Le **pH** (potentiel hydrogène) : il permet de mesurer l'acidité (pH < 7) ou la basicité (pH > 7) d'une eau.
- Les **MES** : c'est un ensemble de particules fines en suspension dans une eau qui peuvent être source de colmatage (sable, argile, microorganismes). Elles sont responsables de la turbidité de l'eau. Elles sont exprimées en milligrammes par litre (**mg.L⁻¹**).
- La **turbidité** : elle désigne la teneur d'une eau en MES. Elle est exprimée en **NTU** (Nephelometric Turbidity Unit). NTU < 5 → eau claire, NTU > 30 → eau trouble.
- La **DCO** : c'est la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder toute la matière organique contenue dans une eau. Elle permet d'évaluer la charge polluante d'une eau. Elle s'exprime en **mg.L⁻¹**.
- La **DBO5** : c'est la quantité d'oxygène nécessaire aux microorganismes présents dans un milieu pour oxyder (dégrader) les substances organiques contenues dans un échantillon d'eau maintenu à 20°C et dans l'obscurité pendant cinq jours. Elle s'exprime en **mg.L⁻¹**.
- L'**azote ammoniacal** (NH₄⁺) : source de pollution agricole (**mg.L⁻¹**).
- Les **nitrites** (NO₂⁻) : ils proviennent de déchets agricoles, forme toxique de l'azote (**mg.L⁻¹**).
- Les **nitrates** (NO₃⁻) : c'est un nutriment essentiel à la croissance des plantes, mais en concentration (**mg.L⁻¹**) excessive, ils sont toxiques.
- L'**azote Kjeldahl** (NK) : c'est la somme de l'azote organique et ammoniacal (NK = N_{org} + NH₄⁺). Le résultat d'analyse s'exprime en **mg.L⁻¹**.
- Les **phosphates** (PO₄³⁻) : ils sont responsables du phénomène d'*eutrophisation*. Leur concentration s'exprime en **mg.L⁻¹**.

IV. PRINCIPE DU TRAITEMENT DES EAUX USÉES

1. Traitement primaire

Cette première étape est une simple décantation. Son rôle est de séparer l'eau des matières polluantes organiques solides des effluents peu chargés. Divers ouvrages effectuent ce traitement.

→ Le **bassin tampon de sédimentation sans stockage** (BTSss) (*Chambre d'agriculture des Pays de la Loire, 2007*) :

Il est le premier module de la filière de traitement (lagunage, filtre planté de roseaux avec recyclage). Il permet à tous les jus de se rejoindre par gravité en un même point et aux matières solides de l'effluent (la paille par exemple) de sédimenter dans un seul compartiment. Ce bassin peut également servir de tampon lors de fortes intempéries.

→ Le **filtre à paille** (FAP) (*Chambre d'agriculture des Pays de la Loire, 2007*) :

Il est généralement en forme de U et est placé juste avant un système de lagunage. Son rôle est de sédimenter et de stocker les matières grossières décantées tout comme le BTSss.

2. Traitement secondaire

Cette deuxième étape permet de réaliser le traitement biologique de l'eau par une grande variété de microorganismes (bactéries, algues, zooplancton). Ceux-ci convertissent la matière organique (MO) biodégradable contenue dans l'eau usée en matière minérale (MM). Ici seront étudiés les procédés de traitement biologique écologique tel que le lagunage naturel et les filtres plantés.

→ Le **lagunage** (MARCHAND, 2016) :

C'est une technique d'épuration naturelle qui consiste à faire circuler l'effluent par gravité dans une série de bassins pendant un temps de séjour d'environ six mois pour réaliser les processus naturels de l'autoépuration avant d'être rejeté dans le milieu naturel. Ce système est pratiqué dans des régions ensoleillées, dans des bassins de grande surface ($12 \text{ m}^2 \cdot \text{EH}^{-1}$) et de faible profondeur (environ un mètre) pour favoriser la photosynthèse et éviter la pousse des végétaux qui entraîneraient une oxygénation insuffisante des bassins et par la suite, l'eutrophie des eaux.

→ Le **filtre planté** (*Chambre d'agriculture des Pays de la Loire, 2007*) :

Le principe est de faire percoler l'effluent à travers un filtre composé de trois couches superposées de substrat, de la granulométrie la plus faible au-dessus, à la granulométrie la plus forte en-dessous, sur lequel pousse des macrophytes⁵, choisis en fonction de leur capacité d'absorption des polluants tels que les nitrates et les phosphates. Leurs racines apportent de l'oxygène au sol et créent un environnement propice au développement des

⁵ Végétaux aquatiques de grandes tailles.

microorganismes qui purifient l'eau. Le processus reproduit un écosystème épuratoire naturel.

Il existe deux types de filtres plantés : celui à deux étages et celui à un étage avec recyclage. Contrairement au lagunage, ces systèmes sont peu consommateurs d'espace (2 à 5 m².EH⁻¹ à raison de quatre pieds de roseaux au m² (DUPONT, 2008 : 18)).

Le filtre planté à deux étages est le système d'épuration le plus développé en France. Il est composé d'un filtre à écoulement vertical qui est alimenté en surface, par bâchée, ce qui permet d'assurer une oxygénation permanente et d'effectuer la nitrification (traitement primaire) ; un filtre à écoulement horizontal qui est alimenté en continu par gravité sous la surface du substrat (5 à 10 cm). Il permet d'assurer la dénitrification (traitement secondaire). Ces deux filtres sont placés en série avec un dénivelé d'environ deux mètres entre les filtres. Ce type de filtre est utilisable pour les eaux domestiques, mais aussi pour les eaux agricoles blanches et vertes (*Chambre d'agriculture des Pays de la Loire, 2007*), mais n'est pas réalisable pour le traitement des eaux brunes en raison d'une charge d'azote trop élevée (*Aquatiris, s.d.*).

Le filtre planté à un étage avec recyclage est également utilisable pour les eaux domestiques, blanches et vertes et depuis 2007, est autorisé pour les eaux brunes. La nitrification s'effectue sur le filtre tandis que la dénitrification s'effectue dans le BTS situé en amont.

Un filtre est généralement séparé en trois bassins. Une alternance chaque semaine est nécessaire afin d'avoir un traitement efficace.

→ Rôle des macrophytes :

Les végétaux les plus utilisés et les plus répandus en Europe sont les *Phragmites australis* aussi appelés roseau commun (LEE, SCHOLZ, 2007 : 87). En zone humide, ces macrophytes forment des roselières en bordure de marais (*Aquaportail, 2014*). Cette espèce a démontré sa capacité à supporter un taux de salinité maximal d'environ 45 g/L (LEE, SCHOLZ, 2007 : 87), valeur supérieure au taux de salinité des océans (35 g/L). Les *Phragmites australis* sont principalement utilisés pour le filtre planté à 1 étage avec recyclage ou le filtre vertical, ceux-ci effectuent la première étape de traitement. De plus, leurs tailles permettent une bonne prise au vent des tiges, elles cassent la « croûte » qui se forme à leurs pieds ce qui permet de limiter les phénomènes de colmatage et de garantir la perméabilité en surface du filtre (STOUKOV, 2008).

Pour la deuxième étape de traitement, des espèces variées de plantes de zones humides sont utilisées telles que les iris d'eau (*Iris pseudacorus*) ou les scirpes (*Scirpus validus*) par exemple, mais aussi des espèces ligneuses telles que le saule blanc (*Salix alba*) par exemple. Ces plantes ont de nombreux rôles : elles peuvent traiter les métaux lourds, éliminer les polluants organiques, nettoyer les excès de nitrate et de phosphate dans les sols (ARINO, ARNAUD, BOVE, 1995 et *Ecology*, 2008).

→ Rôle des microorganismes :

Comme dans tous procédés de traitement biologique, le principal rôle des microorganismes est la dégradation de la matière organique. Ils minéralisent les composés azotés et phosphorés pour les rendre assimilables par les plantes. Ils assurent également les réactions de nitrification et de dénitrification.

3. Traitement tertiaire

Avant le rejet dans le milieu naturel, un traitement tertiaire peut être mis en place. Son rôle est d'achever le traitement de l'effluent et de renforcer le rendement global du dispositif d'épuration. Il reçoit l'effluent traité, affine la nitrification et le traitement du carbone organique en milieu aérobie. Le choix est déterminé en fonction du traitement secondaire et de la surface disponible : des massifs filtrants végétalisés, une mare artificielle, des bosquets épurateurs.

V. ZONE TAMPON HUMIDE ARTIFICIELLE (ZTHA)

Ce dernier dispositif est basé sur les mêmes principes évoqués ci-dessus, une combinaison d'eau libre et d'eau plantée de végétaux.

Par définition, une zone tampon humide désigne un espace interstitiel du paysage rural mis en place dans le but d'assurer une fonction d'interception ou d'atténuation des transferts de pollution d'origine agricole vers les milieux naturels aquatiques, de préserver la biodiversité et de lutter contre des inondations. Il s'agit de dispositifs qui permettent de gérer les ruissellements des eaux de drainage, qui sont faciles à concevoir et à aménager, qui nécessitent peu d'entretien et qui engendrent un minimum de coûts (*Onema*, s.d.). Une mare, une roselière, un fossé végétalisé, un bassin d'orage sont considérés comme des ZTHA (*IRSTEA*, 2014). Elles sont généralement peu profondes ce qui permet une meilleure pénétration des rayons du soleil et l'enracinement éventuel de macrophytes, comme par

exemple des roseaux, des scirpes, des massettes, des nénuphars, qui vont favoriser l'épuration de l'eau (*Onema*, s.d.).

VI. ÉVALUATION DES PERFORMANCES DE CES DISPOSITIFS

Pour de bonnes performances épuratoires, un dimensionnement correct des installations est primordial.

1. Traitement primaire

Le taux d'abattement moyen des charges entrantes (exprimé en pourcentage) est répertorié dans le tableau ci-dessous (COILLARD et al., 2003) :

Tableau 1 : Taux d'abattement (%) après le traitement primaire

	MES	DCO	Azote total	N-NH ₄ ⁺	Phosphore
BTS	60	45	30	0	20
FAP	60	45	30	0	20

D'après ces résultats, un traitement secondaire est indispensable afin d'avoir un meilleur taux d'abattement avant le rejet dans le milieu naturel et limiter le phénomène d'eutrophisation dû aux concentrations d'azote et de phosphore.

2. Traitement secondaire

→ Lagunage :

Le lagunage est très efficace pour l'élimination de la pollution carbonée (90 % pour la DBO₅ et 75 % pour la DCO), pour l'élimination des matières en suspension (80 %) et pour l'élimination bactériologique (3 à 4 unités log). En revanche, il est moins efficace pour l'élimination de la pollution phosphorée (60 %).

→ Filtre planté :

- Un bon rendement d'élimination des MES se joue sur la granulométrie du substrat, plus elle est fine, meilleur sera le rendement, mais le risque de colmatage est plus élevé.

- Un bon rendement d'élimination de la matière organique se joue sur la flore microbienne développée au sein du système racinaire des plantes (jusqu'à 98 % de rendement pour la DBO₅).
- Un bon abattement des bactéries fécales se joue sur le temps de séjour. Trois jours sont nécessaires, car les conditions ne sont pas favorables à leur développement.
- Une bonne dénitrification est possible avec la combinaison des FPRV puis des FPRH, car l'épuration se poursuit dans un milieu pauvre en oxygène.

3. Zone tampon humide artificielle

Les zones tampon humides artificielles sont très efficaces pour toutes les formes d'azote. Quelques pourcentages relevés pour le traitement des eaux usées municipales (WOLTEMADE, 2000) :

- Pour l'élimination de l'azote, les pourcentages sont très variables, ils varient selon les études de 3 à 99 %, ce qui n'est pas très représentatif d'une réelle efficacité et jusqu'à 44 kg/j/ha de taux de charge d'azote.
- Plus de 95 % de rendement pour les nitrates.
- 96 % d'élimination pour les nitrites.
- Entre 14 et 98 % d'élimination pour l'ammonium.

VII. HYGIÈNE ET SÉCURITÉ

Les installations de phyto-épuration sont des stations d'épuration, par conséquent, il y a de nombreux risques professionnels à connaître et à éviter grâce au port des EPI (Équipement de Protection Individuelle). Les risques principaux sont (*Office national de l'eau*, 2008) :

- **Risques de chutes** : en l'absence du personnel, le site de la station doit être clôturé, les accès fermés à clé et les ouvrages refermés après chaque intervention (poste de relevage, regards) pour éviter les chutes ou les risques de glissades.
- **Risques bactériologiques** : les eaux usées sont porteuses d'agents pathogènes, il faut donc éviter tout contact avec la peau (port des gants et lavage des mains après intervention).

- **Risques électriques** : les postes de relevage et les pompes pour assurer le système d'alimentation par bâchées sont des systèmes électriques. Le personnel exploitant doit être habilité afin d'intervenir sur ces équipements. Il y a différents degrés d'habilitation électrique selon les types d'interventions à faire.

VIII. CONCLUSION

Aujourd'hui, la filière de gestion des effluents tend vers des solutions plus écologiques, économiques et simplifiées qui permettent d'assurer la pérennité des exploitations, tout en respectant le cadre de vie des populations environnantes (absence de nuisance olfactive et visuelle). La phyto-épuration se développe de plus en plus, des communes ont mis en place ce type de procédé pour l'assainissement collectif et de nombreux particuliers ont recours à cette technique pour l'assainissement non collectif.

Il est également possible d'adapter ce genre de dispositif dans le domaine agricole. Les agriculteurs disposent d'une gamme d'outils qui leur permettent de mieux maîtriser les déchets et les effluents de leur élevage. Le sujet des coûts et des pratiques adaptables à chaque type d'exploitation restent des questions importantes, mais certains commencent à mettre en place des filtres plantés de roseaux pour le traitement des effluents qui tend vers une agriculture durable et plus respectueuse de l'environnement.

CHAPITRE 2 : Proposition de dispositifs utilisant la phyto-épuration

Après un état des lieux de la situation actuelle sur la ferme expérimentale de Saint-Laurent de la Prée, trois localités ont été jugées critiques quant à la qualité de l'eau : la fumière, la station de lavage et les eaux de drainage issues des activités agricoles dans le marais. Je propose, à travers deux projets, des solutions afin de remédier à la pollution de ces eaux.

L'objectif de ce chapitre est de présenter mes propositions d'aménagements utilisant la phyto-épuration qui pourraient être mis en place sur la ferme. Pour cela, je m'appuierai sur des exemples étudiés à travers la synthèse de connaissances et sur la base de données et informations de diverse nature que j'aurais pu collecter auprès de l'équipe INRA. Ensuite, je proposerai un dimensionnement des systèmes d'épuration choisis.

Annexe I : Localisation des deux projets sur l'Unité Expérimentale

A. PROJET « Filtre planté de roseaux »

I. ÉTAT DES LIEUX

1. Fumière

La fumière couverte a été construite en 2007 et est exposée à l'ouest pour des raisons pratiques (facilité du transport du fumier de la stabulation à la fumière). Cette exposition pose problème, car, lors d'intempéries, la pluie tombe sur le fumier, ce qui crée des jus (lixiviats). En théorie, une fumière couverte ne doit pas produire de jus. Ceux-ci, dilués, sont chargés en matière organique et en matière minérale (pollution azotée et phosphorée).



Figure 2 : Lixiviats de fumière

Deux exutoires sont placés aux deux extrémités de la fumière afin de récolter les jus qui déborderaient par temps de pluie. Or ceux-ci sont légèrement surélevés, de ce fait, les jus les contournent et débordent dans la prairie.



Figure 3 : Exutoires de la fumière



Figure 4 : Débordement des jus dans la prairie

De plus, la fumière est placée à côté d'un stock de paille et le mur qui les sépare n'est pas suffisamment long, les jus peuvent s'écouler sous la paille.



Figure 5 : Jus risquant d'atteindre le stock de paille situé à côté de la fumière

Ces défauts de construction entraînent une pollution organique accidentelle. Le terme organique se réfère aux substances polluantes contenues dans les jus et le terme accidentel signifie que c'est une pollution ponctuelle. Elle peut nuire à l'environnement si les débordements sont trop importants.

2. Station de lavage

La station de lavage des matériels agricoles de la ferme expérimentale n'est pas aux normes, car la réglementation impose une distance minimum de 35 m entre cette station et un fossé. Or actuellement, celle-ci est trop proche d'un fossé. De plus, la première raison de non-conformité est l'absence d'une fosse de récupération de ces eaux permettant la réalisation d'un traitement.



Figure 6 : Station de lavage actuelle

Un compteur a été installé le 28 février 2017 au niveau de la station de lavage de la ferme afin d'avoir des données plus précises des volumes d'eau consommés annuellement. Les valeurs ne seront exploitables qu'à partir de l'année prochaine.

Du fait de l'absence de données quant à la quantité d'eau annuelle utilisée pour le lavage du matériel, elle a été estimée à 100 lavages par an, nombres de lavage basé sur le dispositif de Patuchev (cf. page 19-20). Les consommations d'eau de lavage sont approximatives, elles ont été classées en trois catégories :

- Faible consommation ($\pm 0,350 \text{ m}^3$)
- Consommation moyenne ($\pm 0,750 \text{ m}^3$)
- Consommation élevée ($\pm 1 \text{ m}^3$)

Cette consommation est représentée dans le tableau en page suivante.

Tableau 2 : Estimation de la quantité moyenne d'eau utilisée par an

Nombre	Matériel	Conso pour 1 lavage (m ³)	Conso totale (m ³)
3	Tracteurs	0,750	2,250
1	Téléscopique	0,750	0,750
1	Faucheuse	1	1
1	Sous-soleur	0,750	0,750
1	Charrue	0,750	0,750
1	Herse plate	0,350	0,350
1	Cultivateur	0,350	0,350
1	Herse rotative	1	1
1	Rouleau	0,350	0,350
1	Herse étrille	0,350	0,350
1	Bineuse	0,350	0,350
1	Décompacteur	0,750	0,750
1	Rigoleuse	0,750	0,750
1	Trancheuse	0,350	0,350
1	Bras broyeur	1	1
4	Remorques	0,350	1,400
1	Pailleuse	0,750	0,750
2	Remorques bascule	0,350	0,700
2	Semoirs	0,750	1,500
1	Pulvérisateur	0,750	0,750
1	Épandeur d'engrais	0,350	0,350
1	Camion bétailière	0,750	0,750
4	Voitures	0,750	3
		Consommation moyenne	0,88
		Conso moy (± 100 lavages / an)	88

L'équipe de l'INRA envisage de déplacer cette station au niveau de la fumière afin de pouvoir coupler ces eaux avec les jus d'écoulement de la fumière et ainsi les épurer conjointement.

Annexe II : Projet futur

3. Analyses de l'eau

Pour avoir une idée de ce que contiennent les eaux de fumière, des analyses ont été réalisées au Lycée St Jacques de Compostelle (86) le mardi 16 mai 2017, sur des paramètres qui me semblent importants :

- Paramètres azotés : NH₄⁺ (ammonium), NO₂⁻ (nitrite) et NO₃⁻ (nitrate).
- Paramètre phosphoré : PO₄³⁻ (phosphate).
- Paramètre organique : DCO et MES.
- pH.

Tableau 3 : Analyses effectuées sur les jus de fumier

	Normes	Dilution	Veq (mL)		Concentration		Masse	Concentrations réelles (g/L)		
			Blanc	Jus	Par dosage	Par méthode terrain				
Jus de fumier	DCO (mg/L)	100 - 150	1/250	10,4	9,0	134,4	130	-	33,60	
	pH	-	-	-	-	-	8,10	-	-	
	NH ₄ ⁺ (mg/L)	5,2 - 103	pur	-	-	-	101,31	-	0,10	
	NO ₃ ⁻ (mg/L)	2,2 - 110,7	1/250	-	-	-	15,06	-	3,77	
	NO ₂ ⁻ (mg/L)	3,3 - 295,2	1/250	-	-	-	70,32	-	17,58	
	P (mg/L)	1,5 - 76,7	1/250	-	-	-	6,12	-	1,53	
	MES (mg/L)	-	pur	-	-	-	-	-	22075	22,08
		-	pur	-	-	-	-	-	21650	21,65
-		pur	-	-	-	-	-	22475	22,48	

D'après ces résultats, les paramètres les plus critiques sont la DCO avec une concentration de 33,60 g/L, les nitrites avec 17,58 g/L et les MES avec une moyenne de 22,07 g/L. Pour rentrer dans les normes, une dilution au 250^{ème} a été nécessaire, par conséquent un traitement de dépollution est nécessaire.

Le pH montre que l'effluent est concentré et que la quasi-totalité de l'eau s'est évaporée.

4. Exemples de dispositifs existants

Le 13 avril 2017, avec Daphné DURANT et deux animaliers de l'INRA, nous sommes allés visiter la ferme expérimentale en élevage caprin Patuchev à l'INRA de Lusignan (86) et plus particulièrement leur station de lavage aux normes et leur station de filtre planté de roseau à un étage avec recyclage. Le but était de s'en inspirer et voir si les mêmes types de dispositifs seraient applicables sur la ferme expérimentale de Saint-Laurent de la Prée.

→ Station de lavage :

La station de lavage des Verrines a été dimensionnée, à une moyenne de 100 lavages par an, de manière à pouvoir nettoyer le pulvérisateur lorsque la rampe est dépliée de moitié (20 × 12 m). Un système de vannes permet de diriger ces eaux de lavages dans différentes directions (selon leur origine) : soit vers un débourbeur (pour récupérer la boue) et un déshuileur (eau de lavage du matériel), soit vers les phytobacs (eau de rinçage du pulvérisateur), soit vers une mare pour les eaux de pluie.

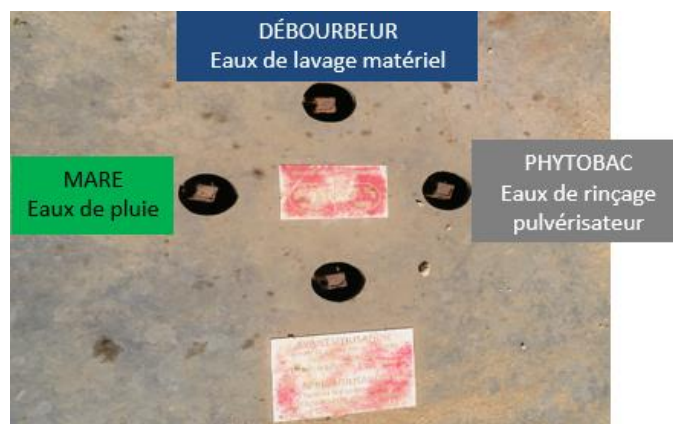


Figure 7 : Système de vannes

Source : Station de lavage des Verrines à l'INRA de Lusignan

Pour les eaux chargées en produits phytosanitaires, elles sont dirigées vers deux cuves phytobacs en série. Les cuves ont une capacité de stockage de 2700 L et sont divisées en deux parties : une pompe apporte les eaux chargées en phytosanitaires dans une première partie pour les stocker. Ensuite, une deuxième pompe emmène par bâchée de 30 secondes sur un filtre à paille, à l'air libre, composé de terre et de paille. Une partie de l'eau s'évapore et une autre partie percole à travers le filtre où les pesticides sont dégradés par des microorganismes. Le filtre à paille est toujours sec, toute l'eau est évaporée grâce au vent, il n'y a donc pas d'évacuation d'eau à la sortie du filtre. Ce mélange terre et paille peut ensuite être épandue dans les champs. Le dispositif a coûté au total 15 000 €.

→ Filtre planté de roseaux :

Le dispositif expérimental Patuchev utilise le filtre planté de roseaux à un étage avec recyclage pour le traitement des eaux vertes (eaux de lavage du sol) et blanches (eaux de lavage du *tank à lait*) depuis 2012. En traitement primaire, les effluents passent sur un dégrilleur pour les séparer des matières grossières, comme la paille par exemple, puis sont stockées dans une fosse toutes eaux de 10 m³ pour y subir une décantation. Ensuite, à l'aide d'une pompe, ces eaux sont conduites sur le filtre planté à un étage avec recyclage (63 m²) séparé en trois bassins de surface équivalente (21 m²). L'alternance des bassins est faite chaque semaine. Pour finir, après percolation à travers le filtre, l'eau épurée s'écoule gravitairement dans une fosse : 1/10 est rejetée dans un étang et 9/10 est recirculée à l'aide d'une pompe dans la fosse de départ. En moyenne, l'effluent sera traité 7 fois avant d'être rejeté dans la nature. Le dispositif a coûté au total 45 000 € avec cependant un surdimensionnement selon l'équipe de l'INRA.



Figure 8 : Photo du filtre planté de roseaux de Patuchev à Lusignan

II. SOLUTION PROPOSÉE

Le 24 mai 2017, une réunion a été organisée avec un agent de la société Aquatiris à Saint-Laurent de la Prée dans le but de discuter des aménagements qu'ils seraient intéressants de mettre en place sur la ferme expérimentale.

La solution adaptée pour le traitement des eaux vertes et brunes est l'installation d'un BTS en traitement primaire suivi d'un filtre planté de roseaux à un étage avec recyclage⁶ pour le traitement secondaire.

Annexe II : Projet futur

Pour effectuer un dimensionnement correct, j'ai appliqué la méthode de calcul que m'a communiquée Aquatiris (méthode faisant foi chez les professionnels du secteur). Dans le principe de dimensionnement du filtre vertical il faut calculer la DGO de l'effluent, déterminer un volume journalier sur une période décennale (ici la période choisie est de 2006 à 2016) puis appliquer la charge admissible qui est de $140 \text{ g}_{\text{DGO}}/\text{m}^2/\text{j}$. Cela donne une surface de filtre qu'il faut diviser en trois lits d'alimentation et appliquer un coefficient correcteur compris entre 0,7 et 0,8 pour pondérer entre la période pluvieuse et la période de sécheresse.

La journée la plus pluvieuse a été le 2 novembre 2012 avec 62 mm. C'est à partir de cette valeur que le dimensionnement a été réalisé.

⁶ Une recirculation à 80 % signifie que 80 % de l'effluent repasse sur la station quand 20 % sort et part vers la zone d'infiltration (4/5 de l'effluent recyclé). Dans ce cas, l'effluent passe cinq fois sur la station. Pour information, l'IRSTEA parle dans ce cas de 400 % de recirculation, car pour 400 L qui repassent sur la station, 100 L partent vers la zone d'infiltration.

○ Dimensionnement du BTS :

Le BTS est difficile à dimensionner, car le volume d'eau le plus conséquent est celui qui arrive sur la plateforme d'exercice soit principalement de l'eau de pluie. Une autre alternative serait d'envoyer dans le BTS les eaux de lavage et les eaux de la fumière et les eaux vertes s'écouleraient par gravité directement sur le filtre. Le volume du BTS peut être basé sur celui de la ferme expérimentale INRA de Lusignan (cf. page 20).

○ Dimensionnement du filtre planté de roseaux vertical :

Le dimensionnement est basé sur la charge à traiter en DGO (Demande Globale en Oxygène). Elle représente l'ensemble des besoins en oxygène pour dégrader complètement la matière organique et oxyder la totalité de l'azote NK (azote Kjeldahl) en nitrates. C'est un critère judicieux pour les procédés à cultures fixées sur supports fins comme les filtres plantés de roseaux, car ils possèdent une grande sensibilité quant aux conditions d'oxygénation dans le sol pour assurer la nitrification.

La DGO, exprimée en g/L, se calcule : $DGO = DCO + 4,5 \times NK$, avec la concentration en DCO et NK exprimé en g/L. Pour la valeur de NK, n'ayant pu réaliser cette analyse, la valeur prise est celle du fumier qui est de 10,5 g/L.

DGO = 33,60 + 4,5 × 10,5	$S = \frac{DGO \times V_j}{charge\ admissible}$
DGO = 80,85 g/L	$S = \frac{80,85 \times 62}{140}$
	S = 35,81 m²
Application du coefficient correcteur	$S_1 = 35,81 \times 0,7 = 25,06\ m^2$
	$S_2 = 35,81 \times 0,8 = 28,64\ m^2$
	$S_{moy} = \frac{25,06 + 28,64}{2}$
	S_{moy} = 26,85 m²

La surface totale du filtre serait de 36 m². Avec l'application du coefficient correcteur, en moyenne la surface du filtre est de 27 m² avec chaque bassin d'une surface de $\frac{27}{3} = 9\ m^2$. L'alternance des bassins plantés de *Phragmites australis* serait effectuée chaque semaine.

Pour l'entretien, les roseaux doivent être coupés en février et être disposés de nouveau sur le filtre pour éviter la pousse de mauvaises herbes. Une clôture devra être installée pour éviter toutes intrusions de personnes ou d'animaux.

Le deuxième projet proposé se situe sur les parcelles cultivées de l'INRA dans le marais, le but est également d'utiliser les roseaux pour l'épuration de l'eau. Le dispositif proposé est ici se résonne à une plus grande échelle que le précédent.

B. PROJET « Zone tampon humide artificielle ».

I. ÉTAT DES LIEUX

La ferme expérimentale de l'INRA cultive dans sa partie « marais » une surface totale de 43 ha divisés en huit parcelles (une surface moyenne de 5,4 ha par parcelle). L'*assolement* comprend des cultures en : orge d'hiver et de printemps, blé d'hiver, luzerne, blé/pois, méteil composé de pois-féverole-vesce (légumineuses) et du triticale et de l'avoine (graminées) et du tournesol. Ces cultures effectuent une rotation de parcelles chaque année (il y a deux parcelles de luzerne).

Annexe III : Marais actuel.

Le but de ce projet est de déterminer le traitement adapté pour cette situation. Les quantités d'eau à épurer ont été établies grâce à la méthode du *bilan hydrique*.

Après avoir déterminé les quantités d'eau à épurer, l'idée serait de mettre en place un dispositif suffisamment important, comme une zone tampon humide, afin de pouvoir recevoir le volume d'eau en totalité (concept in-stream) ou seulement une partie (concept off-stream) (cf. page 28). Pour procéder à un choix, la qualité de l'eau est également un paramètre important à prendre en compte du fait des traitements mis sur les cultures (produits phytosanitaires⁷ et engrais azoté [épandage de fumier et ammonitrate]).

Le tableau et le graphique suivants présentent l'étude du bilan hydrique réalisé pour trois types de cultures⁸ : une culture de printemps (le tournesol et le maïs), une culture

⁷ Herbicides, fongicides, insecticides.

⁸ Bonne représentation de la proportion de chaque culture dans l'assolement.

d'automne (le blé et l'orge) et une culture pérenne (luzerne)⁹ en se basant sur l'année la plus pluvieuse (2014) entre 2006 et 2016.

Ce bilan va permettre d'évaluer le drainage, de déterminer le volume d'eau à épurer et de repérer les périodes de déficit (FRIBOULET, 2006). Pour l'effectuer, cinq paramètres sont importants :

- ΔRU : variation du stock d'eau. Elle se calcule de la manière suivante :
$$\Delta RU = P - Kc \times ETP = P - ETM.$$
- RU : réserve utile du sol (mm). Elle varie en fonction du type de sol. À Saint-Laurent de la Prée (terre de marais), la $RU = 180$ mm. Lorsqu'il n'y a pas de drainage, la réserve utile se calcule : $RU = RU_{x \text{ mois}} - \Delta RU_{x+1 \text{ mois}}$.
- Kc : coefficient cultural de la culture. Il varie dans le temps de 0,3 pour un sol nu à 1,2 selon la culture (automne, printemps ou pérenne) et le stade de croissance (la plantation, la croissance et la sénescence). Par exemple, pour la luzerne, $Kc = 1$ et pour un sol nu, $Kc = 0,3$. Ces valeurs restent constantes. Pour une culture de printemps et d'automne, il varie dans le temps de 0,3 à 1,2 selon le stade de développement de la plante.

Annexe IV : Tableau de la variation des coefficients culturaux sur une année en fonction de chaque culture.

- ETP : évapotranspiration potentielle de la culture. Elle représente la quantité d'eau susceptible d'être évaporée par une culture. Elle est calculée grâce à la formule de Penman.
- ETM : évapotranspiration maximale de la culture en fonction du stade de croissance et du climat. Elle est calculée en fonction de l' ETP et du Kc par la formule :
$$ETM = ETP \times Kc.$$
- P : c'est la pluviométrie (mm).

Le graphique suivant représente la pluviométrie sur 10 ans, de 2006 à 2016, les données sont issues de la plateforme Climatik¹⁰. Afin de déterminer l'année la plus pluvieuse ainsi que la moins pluvieuse, les courbes orange et rose ont été tracées sur le graphique ci-dessous. La courbe bleue, quant à elle, représente la pluviométrie moyenne pour chaque mois. Au vu des résultats, 2011 a été la moins pluvieuse, 2014 la plus pluvieuse et 2008 est

⁹ Culture mise en place toute l'année.

¹⁰ C'est un outil de mise à disposition de données agro-climatiques de la base de l'INRA (pluviométrie, humidité, évapotranspiration).

l'année qui représente une moyenne. Le bilan hydrique sera effectué à partir de l'année 2014.

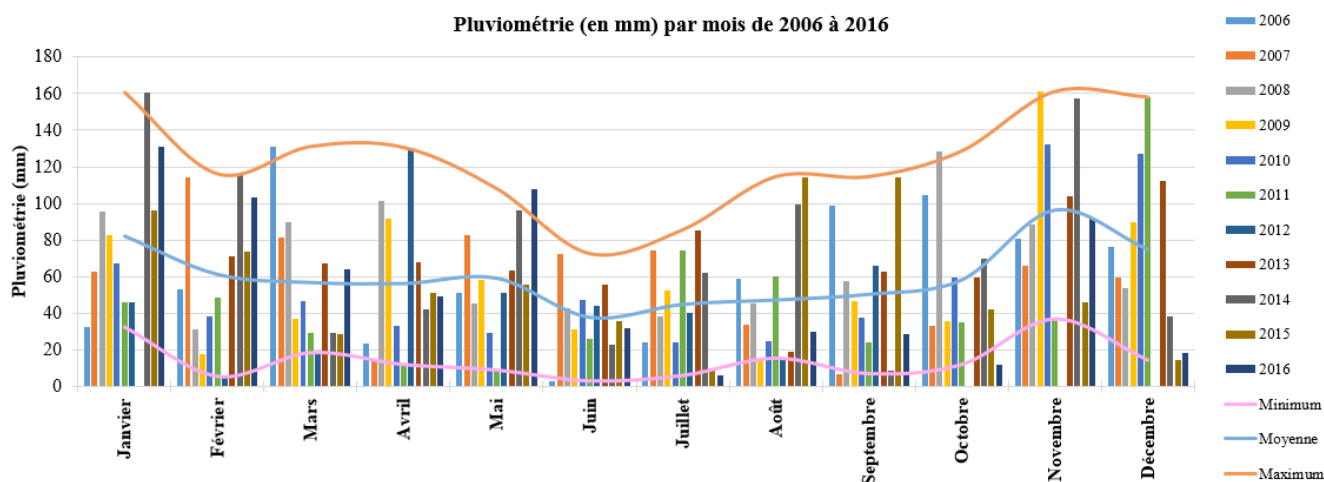


Tableau 4 : Bilan hydrique

Année	Mois	Pluies (mm)	ETP Penman (mm)	ΔRU (mm) automne	Drainage automne (mm)	RU (mm)	Déficit (mm)	ΔRU (mm) printemps	Drainage printemps (mm)	RU (mm)	Déficit (mm)	ΔRU (mm) luzerne	Drainage (mm)	RU (mm)	Déficit (mm)	$V_{\text{à épurer}}$ (m^3/S_{cult})	$V_{\text{à épurer}}$ ($m^3/j/ha$)
2014	Janvier	160,5	8,2	156,4	156,4	180,0	0,0	158,0	158,0	180,0	0,0	152,3	152,3	180,0	0,0	67279,2	50,3
	Février	116,0	28,2	96,3	96,3	180,0	0,0	107,5	107,5	180,0	0,0	87,8	87,8	180,0	0,0	41879,2	34,6
	Mars	29,5	53,4	-23,9	0,0	156,1	0,0	13,5	13,5	180,0	0,0	-23,9	0,0	156,1	0,0	1455,5	1,1
	Avril	42,0	90,9	-67,1	0,0	89,0	0,0	5,6	5,6	180,0	0,0	-48,9	0,0	107,2	0,0	609,0	0,5
	Mai	96,0	115,7	-31,3	0,0	57,8	0,0	26,6	26,6	180,0	0,0	-19,7	0,0	87,5	0,0	2870,0	2,1
	Juin	23,0	156,2	-117,6	0,0	-59,8	59,8	-117,6	0,0	62,4	0,0	-133,2	0,0	-45,7	45,7	0,0	0,0
	Juillet	62,0	149,0	-12,5	0,0	-72,3	72,3	-116,8	0,0	-54,4	54,4	-87,0	0,0	-132,7	132,7	0,0	0,0
	Août	99,5	111,7	66,0	0,0	66,0	0,0	-12,2	0,0	-66,6	66,6	-12,2	0,0	-144,9	144,9	0,0	0,0
	Septembre	8,5	99,4	-21,3	0,0	44,7	0,0	-61,1	0,0	-127,7	127,7	-90,9	0,0	-235,8	235,8	0,0	0,0
	Octobre	70,0	45,3	56,4	0,0	101,1	0,0	56,4	0,0	56,4	0,0	24,7	0,0	24,7	0,0	0,0	0,0
	Novembre	157,5	16,6	152,5	73,6	180,0	0,0	152,5	28,9	180,0	0,0	140,9	0,0	165,6	0,0	19017,6	14,7
	Décembre	38,5	9,0	35,8	35,8	180,0	0,0	35,8	35,8	180,0	0,0	29,5	15,1	180,0	0,0	13226,9	9,9

Exemple pour le mois de juin pour une culture d'automne :

$$\Delta RU_{\text{automne}} = 23 - 0,9 \times 156,2 = - 117,6 \text{ mm.}$$

Il n'y a pas de drainage, le stock d'eau étant épuisé.

$RU = RU_{\text{mai}} + \Delta RU_{\text{juin}} = 57,8 + 117,6 = - 59,8 \text{ mm.}$ → Cette valeur est théorique, la réserve d'eau ne peut pas être inférieure à zéro.

$$\text{Déficit} = - (- 59,8) = 59,8 \text{ mm.}$$

Au 31 décembre de l'année précédente, quel que soit la situation, la réserve utile est pleine, donc au mois de janvier, celle-ci est égale à 180 mm. Le volume en excès (drainage) arrivant sur la parcelle est drainé en intégralité (exemple pour le mois de janvier, $\Delta RU = 156,4 \text{ mm}$, le drainage = 156,4 mm). Lors de première pluie vers la fin de l'été, la réserve utile se reconstitue jusqu'à de nouveau drainer vers le mois de novembre.

Après avoir réalisé un bilan hydrique, le volume d'eau à épurer sur la surface totale des parcelles de culture est calculé sachant que sur les 43 ha, il y a 50 % de culture d'automne, 25 % de culture de printemps et 25 % de culture pérenne :

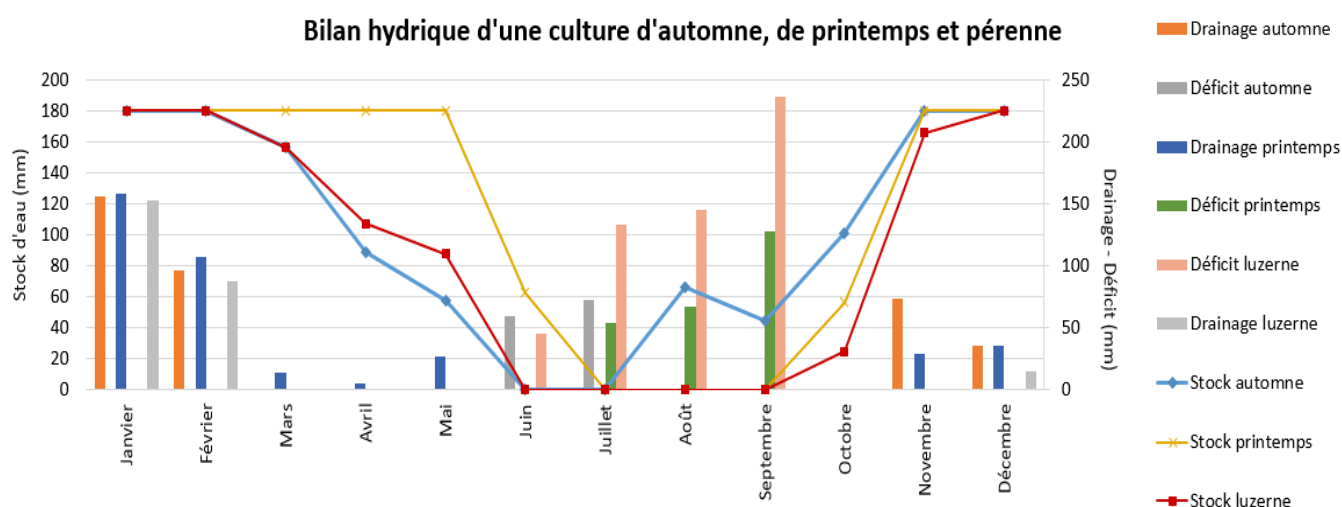
Exemple pour le mois de janvier :

$$V_{\text{à épurer}} = \frac{(50 \% \times \text{drainage automne} + 25 \% \text{ drainage printemps} + 25 \% \text{ drainage luzerne}) \times S_{\text{totale}}}{1000}$$

$$V_{\text{à épurer}} = \frac{(50 \% \times 156,4 + 25 \% \times 158 + 25 \% \times 152,3) \times 43 \times 10000}{1000}$$

$$V_{\text{à épurer}} = 67\,279,2 \text{ m}^3.$$

Sur une année, le volume d'eau à épurer sur les 43 ha est de 146 337 m³. Par jour, cela représente une moyenne de 9,4 m³/j.



Le déficit annuel d'une culture d'automne représente 132,2 mm, il dure deux mois (juin et juillet).

Le déficit annuel d'une culture de printemps dure trois mois (de juillet à septembre) et il représente 248,7 mm.

Le déficit d'une culture pérenne représente 559,1 mm et dure quatre mois (de juin à septembre).

Des différences significatives sur le bilan hydrique :

D'après le graphique récapitulatif ci-dessus, le stock d'eau mettra plus de temps à se reconstituer pour une culture pérenne qu'une culture de printemps. Le drainage est d'autant plus important que la réserve utile est grande. Un apport d'eau est nécessaire uniquement pour le mois de juillet afin de pallier à un manque d'eau.



Figure 9 : Tuyau évacuant l'eau issue des drains dans un fossé

II. ANALYSES DE L'EAU

Des analyses ont été effectuées sur l'eau du marais afin d'avoir une idée plus précise de ce qu'elle peut contenir. Le prélèvement s'est fait au niveau de la pompe (*voir la carte en annexe I*), car c'est à cet endroit qu'arrive l'eau issue des drains des parcelles de cultures avant leur rejet dans un canal.

Avant d'arriver à cette pompe, l'eau a cheminé à travers trois kilomètres de fossés avec pour certains des roseaux en bordure. Ces roseaux ont pour effet de « casser » la vitesse de l'eau et par conséquent, une épuration commence à se réaliser avant le rejet.



Figure 10 : Photo du fossé en amont de la pompe de rejet

Tableau 5 : Analyses effectuées sur l'eau du marais

	Normes	Dilution	Veq (mL)		Concentration		Masse	Concentrations réelles (g/L)	
			Blanc	Jus	Par dosage	Par méthode terrain			
Eau du marais	DCO (mg/L)	100 - 150	1/2	10,4	8,9	144	140	-	0,29
	Turbidité (NTU)	-	-	-	-	-	43,60	-	-
	pH	-	-	-	-	-	9,06	-	-
	NH ₄ ⁺ (mg/L)	5,2 - 103	1/2	-	-	-	83,57	-	0,17
	NO ₃ ⁻ (mg/L)	2,2 - 110,7	pur	-	-	-	13,29	-	0,01
	NO ₂ ⁻ (mg/L)	3,3 - 295,2	pur	-	-	-	68,34	-	0,07
	P (mg/L)	1,5 - 76,7	pur	-	-	-	2,15	-	0,00
	MES (mg/L)	-	pur	-	-	-	-	-	370
-		pur	-	-	-	-	-	380	0,38
-		pur	-	-	-	-	-	390	0,39

Les résultats du tableau sont à prendre avec précaution dans la mesure où la date du prélèvement d'eau n'est certainement pas optimale (période sèche et fossés quasiment à sec). Les concentrations réelles sont proches de 0 g/L, ce qui signifie que la pollution est supposée concentrée dans le sol et le manque d'eau ne permet pas le drainage de la pollution dans les fossés. Le pH optimal pour les cultures est situé entre 7,5 et 8,5 (pH légèrement basique). Un pH acide ne permet pas aux plantes de se nourrir et de grandir correctement. Ici, le pH mesuré est de 9,06, il est dû à une forte évaporation de l'eau et une concentration de l'eau dans les fossés.

III. EXEMPLE DE DISPOSITIF EXISTANT

Une expérience a été menée sur deux bassins versants drainés en vue de comparer leur efficacité de rétention des pesticides sur deux types de ZTHA : in-stream et off-stream (TOURNEBIZE, PASSEPORT, et al., 2013). Le premier concept signifie que toute l'eau de drainage est retenue dans une ZTHA située en aval et le deuxième signifie qu'il y a seulement une partie de l'eau de drainage qui est retenue, les ZTHA ne pouvant pas traiter tout le flux d'eau. L'alternance est effectuée manuellement pour alimenter la ZTHA lors des périodes d'application des pesticides et est fermée lors des périodes de forte précipitation.

→ 1^{ère} ZTHA située en amont à Aulnoy, en Seine et Marne : récupération des eaux de l'exutoire d'un bassin versant drainé de 36 ha. Concept in-stream (cf. figure 11).

→ 2^{ème} ZTHA située en aval à Bray, en Indre et Loire : constituée de trois bassins végétalisés en série peu profond. Concept off-stream (cf. figure 11).

Ces deux ZTHA récupèrent les eaux de bassins versants agricoles cultivés de blé d'hiver, d'orge, de colza et de betterave à sucre. Les eaux ont été analysées et les résultats ont montré une efficacité sur l'abattement des concentrations en pesticides (une réduction

de respectivement 54 et 45 %). Dans la 2^{ème} zone humide, les résultats ont montré une importante *adsorption*, *désorption* et dégradation des pesticides contrairement à Aulnoy où une dilution importante n'a pas permis de savoir si une dégradation de pesticides s'était produite ou non.

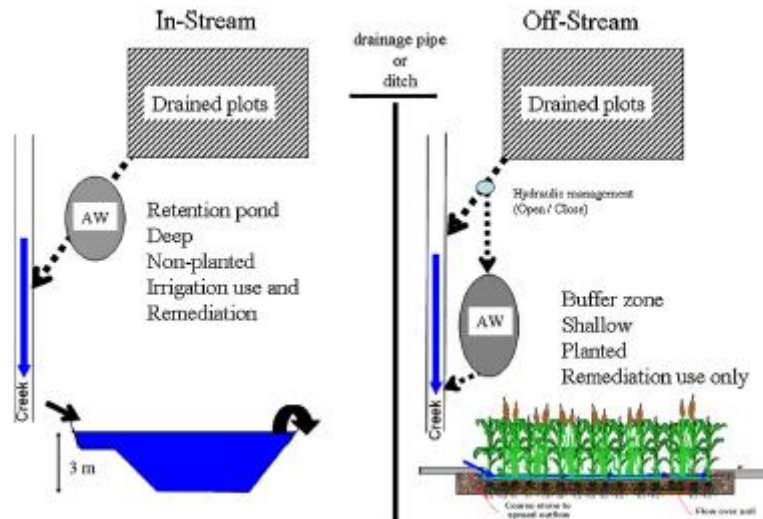


Figure 11 : Deux types de ZTHA

Source : TOURNEBIZE, PASSEPORT, et al. (2013)

→ Résultats :

Les eaux du bassin d'Aulnoy ont été analysées après avoir fait une sélection de différents pesticides parmi ceux qui ont été appliqués. L'Institut Pasteur de Lille a procédé à une extraction liquide-liquide et aux analyses par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GC / MS) et à une extraction solide-liquide et aux analyses par chromatographie en phase liquide couplée à la spectrométrie de masse (LC / MS). Pour les deux techniques, la *limite de quantification* était de 0,02 g/L.

Les eaux du bassin de la Bray, quant à elles, ont subi une micro-extraction en phase solide (SPME) et ont été analysées à l'aide d'une GC / MS. Cette technique a permis de déterminer 16 pesticides. La limite de quantification se situait en 0,05 et 0,5 µg/L.

→ Conclusion :

Ces deux expériences ont montré des résultats positifs pour l'abattement des concentrations en pesticides dans les ZTHA : 54 % pour le concept in-stream et 45 % pour le concept off-stream. L'efficacité dépend de la profondeur des bassins (phénomène de dilution qui réduit la dégradation biologique des pesticides), des conditions climatiques et des saisons.

C'est pour cela que j'ai opté pour le choix de mettre en place une ZTHA sur la ferme expérimentale de Saint-Laurent de la Prée.

IV. SOLUTION PROPOSÉE

Afin de dépolluer ces eaux, une zone tampon humide artificielle serait mise en place sur la parcelle de prairie B6, d'une surface d'1,61 ha (*voir la carte en annexe II*). La parcelle serait séparée en deux parties : une partie végétalisée et une partie en eau. Le volume d'eau à épurer est trop conséquent pour que cette parcelle retienne et traite tout le flux d'eau, donc l'idée serait d'utiliser le concept off-stream, c'est-à-dire que seulement une partie de l'eau de drainage serait acheminée et retenue grâce à une deuxième pompe, plus petite que la première actuellement mise en place, à placer entre les parcelles A5 et A6. Grâce à cette pompe, l'eau à épurer arriverait sur une roselière où le premier traitement s'effectuerait. Puis l'eau s'écoulerait par gravité dans le bassin en eau afin d'affiner le traitement et de s'évacuer naturellement dans les fossés.

Cette alternance serait effectuée manuellement : la zone humide serait alimentée uniquement lors des périodes d'application de pesticides et serait fermée lors de période de drainage sans pesticides (forte précipitation).

Pour la période hivernale, une digue devra être construite entre B3, B5 et B6 pour éviter l'excès d'eau dans les parcelles voisines (en cas d'inondations par exemple). En revanche, une porte devra aussi être construite sur cette même digue pour la saison estivale afin de pallier au manque d'eau, de façon à ce que les végétaux restent en eau.

Annexe V : Futur dispositif de ZTHA

Certains endroits du marais ont été choisis afin d'y faire des prélèvements d'eau en vue d'analyses. Dans un premier temps, je conseille de considérer un nombre assez important de points afin de s'assurer de la même qualité de l'eau en tous points du marais. Il sera ensuite possible de les réduire en endroits judicieux.

Dans le cas où l'épuration ne serait pas suffisante (dans le cas où les quantités d'eau à traiter seraient trop grandes), prouvée par les analyses de la qualité de l'eau, des végétaux (macrophytes) pourront être implantés dans les fossés, selon un dispositif de « fossés à étages » par exemple. De ce fait, la végétation ne ralentira pas la circulation de l'eau jusqu'à la pompe de rejet.

Annexe VI : Points d'analyses à faire

CONCLUSION SCIENTIFIQUE

L'objectif de mon travail était de réaliser un état de l'art en amont puis, après un état des lieux du domaine expérimental, de proposer des aménagements utilisant la phyto-épuration à mettre en place sur la ferme afin de dépolluer les eaux issues :

- De la fumière
- De la station de lavage
- Des drains et fossés (dans la partie du marais cultivé)

Pour répondre à ces interrogations, de nombreux renseignements par mails et par téléphone ont été demandés auprès de divers organismes tels que des mairies, des chambres d'agriculture, de journalistes de magazines agricoles, d'agriculteurs, etc. La recherche a été compliquée dans le sens où il y a encore un manque important de connaissances sur le sujet de la phyto-épuration quant sa réelle efficacité de traitement, aux résultats d'analyses effectuées en entrée et en sortie de dispositifs, aux avis et retours d'expériences d'agriculteurs ayant déjà mis en place ces dispositifs sur leur exploitation. Malgré les filières écologiques validées depuis 2007 pour le traitement des eaux brunes, peu d'agriculteurs ont mis en place ce système.

En ce qui concerne les aménagements pour l'abattement des pesticides, c'est un sujet sensible, mais qui reste un projet novateur actuellement en cours de développement : le site de Rampillon en Seine-et-Marne (77), par exemple, est un site de références pour évaluer l'efficacité des ZTHA construites en France. Il sert également de site de démonstration pour les agriculteurs souhaitant aborder la question de la gestion du drainage (visualiser le dispositif et se rendre compte de ce que sont les zones humides en termes d'aspect paysager et d'emprise foncière).

Les propositions faites dans ce rapport sont pour le moment à l'état de projet, des mises aux normes sont à faire et un suivi de la qualité de l'eau est également à réaliser afin de choisir le traitement le plus adapté à la dépollution de ces eaux, sans risquer de sur-dimensionner une installation, d'engendrer des coûts inutiles et d'avoir un taux d'abattement de la pollution en sortie de dispositif qui ne serait pas optimal.

Le premier projet a été validé par un agent de la société Aquatiris. Le second est en cours de discussion avec des ingénieurs de l'IRSTEA ayant déjà travaillé avec un des ingénieurs (un hydrologue) de l'INRA.

○ Projet « Filtre planté de roseaux » :

La solution proposée est un bassin tampon de sédimentation de 10 m³ en traitement primaire suivi d'un filtre planté de roseaux à un étage avec recyclage d'une surface de 27m². Pour affiner ce traitement, les jus s'écouleront naturellement dans une prairie jusqu'à un fossé collecteur.

Par la suite, pour limiter au maximum le rejet d'effluents, les 600 m² de l'aire d'exercice pourraient être couverts ou partiellement couverts (ce qui diminuerait considérablement le volume d'eau à traiter) : il resterait uniquement les eaux de lavage et les jus de la fumière à traiter ce qui diminuerait la surface de filtre et le coup d'investissement de la filière choisie, mais engendrerait des frais conséquents de travaux.

○ Projet « ZTHA » :

La solution choisie est de tester l'efficacité des zones tampon humides sur une parcelle de prairie d'1,61 ha en point bas de marais, ce qui facilite l'écoulement en gravitaire. En parallèle, avec l'IRSTEA, l'idée serait aussi de tester le drainage contrôlé, procédé ayant déjà fait ses preuves en Caroline du Nord, à l'est des États-Unis, notamment sur les nitrates. Ce procédé consiste à contrôler le niveau de la nappe pour ne pas qu'elle se « mélange » à l'eau de drainage. Cette dernière serait stockée dans le sol puis les microorganismes naturellement présents dans le sol et autour de la racine des végétaux dégraderaient les molécules de pesticides indésirables.

Le but serait de comparer deux techniques d'épuration pour l'élimination des nitrates et des pesticides dans les eaux de drainage.

Pour les deux projets, un protocole de suivi de la qualité de l'eau doit être mis en place afin de suivre dans le temps l'évolution des différents paramètres : la conductivité, la température de l'eau, le pH, la turbidité, les MES, la DCO, la DBO₅, NTK, NH₄⁺, les NO₂⁻, les NO₃⁻, les PO₄³⁻, le COD¹¹, la salinité (cette analyse est plus spécifique au projet « ZTHA ») et les analyses microbiologiques telles qu'*E. Coli* et les entérocoques.

Ces analyses seront à faire régulièrement en entrée et en sortie de dispositif afin de quantifier réellement le taux d'abattement. Pour le projet « ZTHA », les analyses seront à faire lors de période de drainage important afin de mesurer le taux de pesticides qui ressort

¹¹ Carbone organique dissous

des sols et pour le projet « FPR », les analyses sont importantes afin de voir combien de traitements sont nécessaires (traitement primaire et secondaire ou juste un filtre planté) pour dépolluer les eaux de la fumière et les eaux de lavage.

BILAN PERSONNEL

Ce stage représente ma plus grande expérience professionnelle à ce jour et m'a donc permis de connaître le mode de fonctionnement d'une structure dédiée à la recherche et à l'expérimentation telle que l'INRA.

J'ai pu y développer une méthodologie de travail adaptée à la problématique et à la structure, et appliquer mes connaissances théoriques en matière de procédés de dépollution. Cela m'a permis d'obtenir à la fin de mon stage des résultats concrets. Ceci s'est traduit par un net bénéfice en termes d'autonomie et de confiance en mes capacités professionnelles.

Ce stage m'a permis d'explorer d'autres corps de métiers que lors de mes précédentes expériences effectuées au cours du BTS Métiers de l'eau. J'ai pu aisément m'intégrer grâce à la gentillesse et la disponibilité du personnel de l'INRA.

De plus, j'ai eu le plaisir d'échanger avec deux professionnels reconnus, respectivement un agent du bureau d'étude Aquatiris et un pédologue de l'IRSTEA, qui m'ont confortée dans mes propositions de choix de gestion et dans ma méthodologie de projet. D'un point de vue des connaissances apportées et de ce regard neuf sur mon travail, ces échanges ont eu une valeur inestimable à mes yeux.

Ce stage a nécessité de croiser mes connaissances dans le domaine de l'eau, du sol, de l'environnement des marais et de l'agriculture, ce qui confirme définitivement mes aspirations professionnelles : je souhaite travailler sur des problématiques liées aux activités agricoles en milieu naturel sensible, de veiller à l'amélioration de la qualité de l'eau dans les milieux de type « zones humides », avec un regard naturaliste tourné vers le bien-être de la biodiversité et de l'environnement.

BIBLIOGRAPHIE

- Alim'agri, « Qu'est-ce que l'agriculture biologique », 2016, *Site du Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt*, [en ligne], <http://agriculture.gouv.fr/lagriculture-biologique-1>
- Anonyme, « Qu'est-ce que le tank à lait ? », *Élevage et territoire*, [en ligne], <http://www.produits-laitiers.com/article/question-pas-bete-quest-ce-que-le-tank-a-lait>
- Anonyme, « Carte de la Charente-Maritime », *Site de voyages*, [en ligne], https://www.google.fr/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&cad=rja&uact=8&ved=0ahUK EwiHm-uW_ZzUAhUE1hoKHRrgDCgQjhwIBQ&url=http%3A%2F%2Freflectim.fr%2Ftag%2Fcarte-charente-maritime%2F&psig=AFQjCNHi3lGeWitR-WwH0u0BWL_ZF3hLjA&ust=1496417198232285
- Aquatiris, « Choisir la phytoépuration », [en ligne], <http://www.aquatiris.fr/fr/une-demarche-eco-citoyenne.aspx>
- ARINO C., ARNAUD M-P., BOVE S., « Utilisation des macrophytes pour l'épuration des eaux usées urbaines », *Projet bibliographique*, 1995.
- Chambre d'agriculture des Pays de la Loire, *Le traitement des effluents peu chargés*, [en ligne], <http://fr.calameo.com/read/00151967433d467d662ef>
- Climatik, « Données météo de St Laurent de la Prée », [en ligne], https://intranet.inra.fr/climatik_v2/ClimatikGwt.html?ticket=ST-250065-ky0tVD4L4t37kfYGofNB-cas
- CNRTL, « Définition d'assolement », 2012, [en ligne], <http://www.cnrtl.fr/lexicographie/assolement>
- COILLARD J. et al, « Conception et performances d'une filière en trois étapes incluant le lagunage pour le traitement des effluents peu chargés issus des élevages de bovins », *Rencontre autour des recherches sur les ruminants*, 2003, page 419-422.
- DUPONT D., « L'assainissement écologique des eaux usées domestiques », *Mémoire formation environnementale ENSAL*, 2008, [en ligne], <http://www.cms-habiter.eu/SMS/Revue%20de%20projet%202/Recherches/Les%20eaux/Textes%20references/Lassainissement%20ecologique%20des%20eaux%20usees%20domestiques.pdf>
- DURANT D., « Transi'marsh : un dispositif expérimental pour tester la transition écologique en marais », *Dépliant Transi'marsh*, 2016.
- EAG Laboratoires, *Chromatographie en phase gazeuse - Spectrométrie de masse, analyse GC-MS*, [en ligne], <http://www.eaglabs.fr/cm/gc-ms.html>
- EAG Laboratoires, *LC-MS*, [en ligne], <http://www.eag.com/liquid-chromatography-mass-spectrometry-lc-ms/>
- Eau France, *La loi sur l'eau et les milieux aquatiques*, [en ligne], <http://www.eaufrance.fr/comprendre/la-politique-publique-de-l-eau/la-loi-sur-l-eau-et-les-milieux>

Eau France, *Limite de quantification*, [en ligne], <http://www.glossaire.eaufrance.fr/concept/limite-de-quantification>

Ecologs, *Plantes filtrant l'eau pour le traitement en phytoépuration*, [en ligne], <http://www.ecologs.org/vegetation/plantes-filtrant-l-eau-pour-le-traitement-en-phytoepuration-et-les-piscines-ecologiques.html>

EMSE, *Adsorption*, [en ligne], https://www.emse.fr/~brodhag/TRAITEME/fich8_1.htm

FRIBOULET S., « Le bilan hydrique : un déficit qui dépend du type de sol et de la localisation », 2006, *Agroparistech*, [en ligne], <https://tice.agroparistech.fr/coursenligne/courses/INIP/document/INIP/inipespv06/milieux/bilanhydrique.htm>

Futura sciences, *Désorption*, [en ligne], <http://www.futura-sciences.com/sciences/definitions/chimie-desorption-7109/>

GABRIEL H., « Le bilan hydrique », 2015, *Chambre d'agriculture du Tarn*, [en ligne], http://www.tarn.chambagri.fr/fileadmin/documents_ca81/DocInternet/filieres/hydraulique/2015-Mode_emploi_BH_V3.pdf

IRSTEA, *Les zones tampons*, [en ligne], <http://www.irstea.fr/les-zones-tampons>

LEE Byoung-Hwa, SCHOLZ Miklas, « What is the role of *Phragmites australis* in experimental constructed wetland filters treating urban runoff ? », *Ecological Engineering*, 2007, page 87-95.

MARCHAND A., « Microbiologie des eaux », BTS Métiers de l'Eau 2ème année, 2016.

Office national de l'eau, « Recommandations pour l'exploitation des filtres plantés de roseaux à écoulement vertical », 2008, <https://epnac.irstea.fr/wp-content/uploads/2012/08/Recommandations-pour-l%E2%80%99exploitation-des-filtres-plant%C3%A9s-de-roseaux-%C3%A0-%C3%A9coulement-vertical-Bilan-de-fonctionnement-du-bassin-Loire-Bretagne.pdf>, page 9-10.

Onema, *Qu'est-ce qu'une zone tampon ?*, [en ligne], <http://zonestampons.onema.fr/qu-est-ce-qu-une-zone-tampon>

STOUKOV A., « Description et principe de fonctionnement d'un filtre planté de roseaux à écoulement vertical », 2008-2009, *Éco-gestion d'habitats*, [en ligne],

<http://hmf.enseiht.fr/travaux/CD0809/bei/beiere/groupe3/node/195>

TOURNEBIZE J., PASSEPORT E., et al., « Pesticide decontamination of surface waters as a wetland ecosystem service in agricultural landscapes », *Ecological Engineering*, 2013, page 51-59.

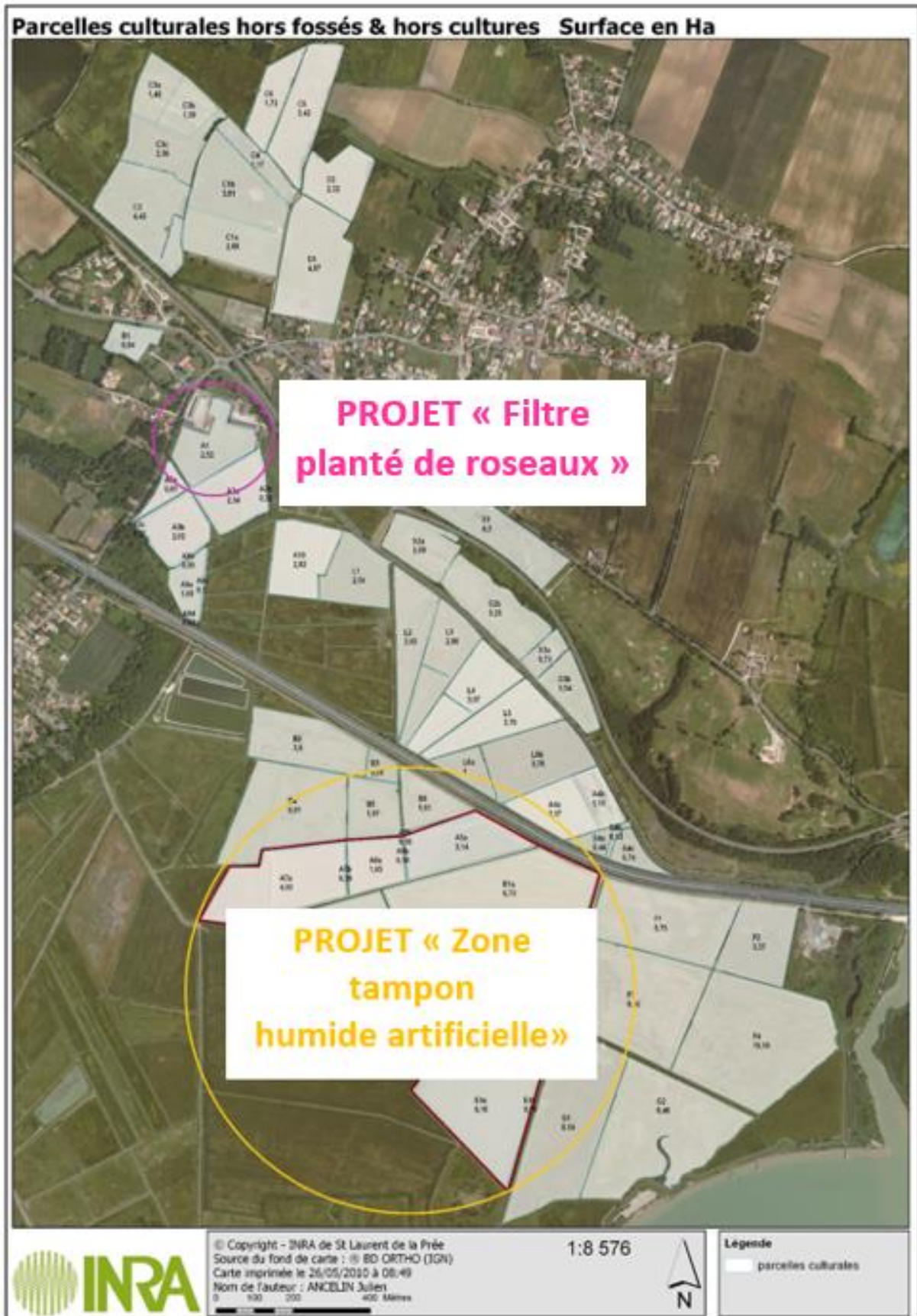
WOLTEMADE C.J., « Ability of restored wetlands to reduce nitrogen and phosphorus concentrations in agricultural drainage water », *Journal of soil and water conservation*, 2000, page 303-309.

GLOSSAIRE

- **Adsorption** : phénomène physique de fixation de molécules sur la surface d'un solide. Ce phénomène est utilisé pour "récupérer" des molécules indésirables de fluide (liquides ou gazeuses) dispersées dans un solvant (*EMSE, s.d.*).
- **Assolement** : action de partager les terres labourables d'un domaine en parties égales régulières appelées soles pour y établir par rotation en évitant la jachère des cultures différentes et ainsi obtenir le meilleur rendement possible sans épuiser la terre (*CNRTL, 2012*).
- **Bilan hydrique** : il permet de suivre l'état de la réserve en eau du sol en tenant compte des besoins en eau de la culture et des apports naturels par les pluies ou par irrigation (*GABRIEL, 2015*). Le but étant de ne pas vider la réserve utile et provoquer un stress hydrique à la culture et de s'assurer que l'apport d'eau par irrigation n'est pas trop important pour ne pas saturer le sol avec un apport d'eau inutile.
- **Désorption** : phénomène inverse de l'adsorption : les liaisons ioniques entre ions, molécules et substrat se brisent et les ions ou molécules précédemment adsorbés se détachent du substrat (*Futura science, s.d.*).
- **Eutrophisation** : pollution due à un apport excessif en nutriments, essentiellement nitrates et phosphates, et en matières organiques biodégradables, issu de l'activité humaine.
- **GC /MS** : de l'anglais « Gas Chromatography Mass Spectrometry » est une technique d'analyse et de quantification des composés organiques volatiles et semi-volatils. L'analyse GC / MS peut travailler sur des liquides, des gaz et des solides (*EAG Laboratoires, s.d.*).
- **LC / MS** : de l'anglais « Liquid Chromatography Mass Spectrometry » est une technique de laboratoire de chimie analytique pour l'identification, la quantification et l'analyse de masse des matériaux (*EAG Laboratoires, s.d.*).
- **Limite de quantification** : Valeur correspondant au seuil de quantification, c'est-à-dire la valeur au-dessous de laquelle le laboratoire n'est plus en mesure de déterminer avec exactitude la quantité du paramètre recherché. La limite de quantification est la plus petite valeur à partir de laquelle il existe un résultat de mesure avec une fidélité suffisante (*Eau France, s.d.*).
- **Tank à lait** : aussi appelé réservoir à lait, c'est une cuve réfrigérateur issue de la traite des animaux qui permet de stocker et de conserver le lait à une température ralentissant son altération jusqu'à sa transformation en fromage, beurre, lait stérilisé, etc. Il est généralement fabriqué en acier inoxydable, il est nettoyé et désinfecté après chaque vidange (*Élevage et territoire, 2017*).

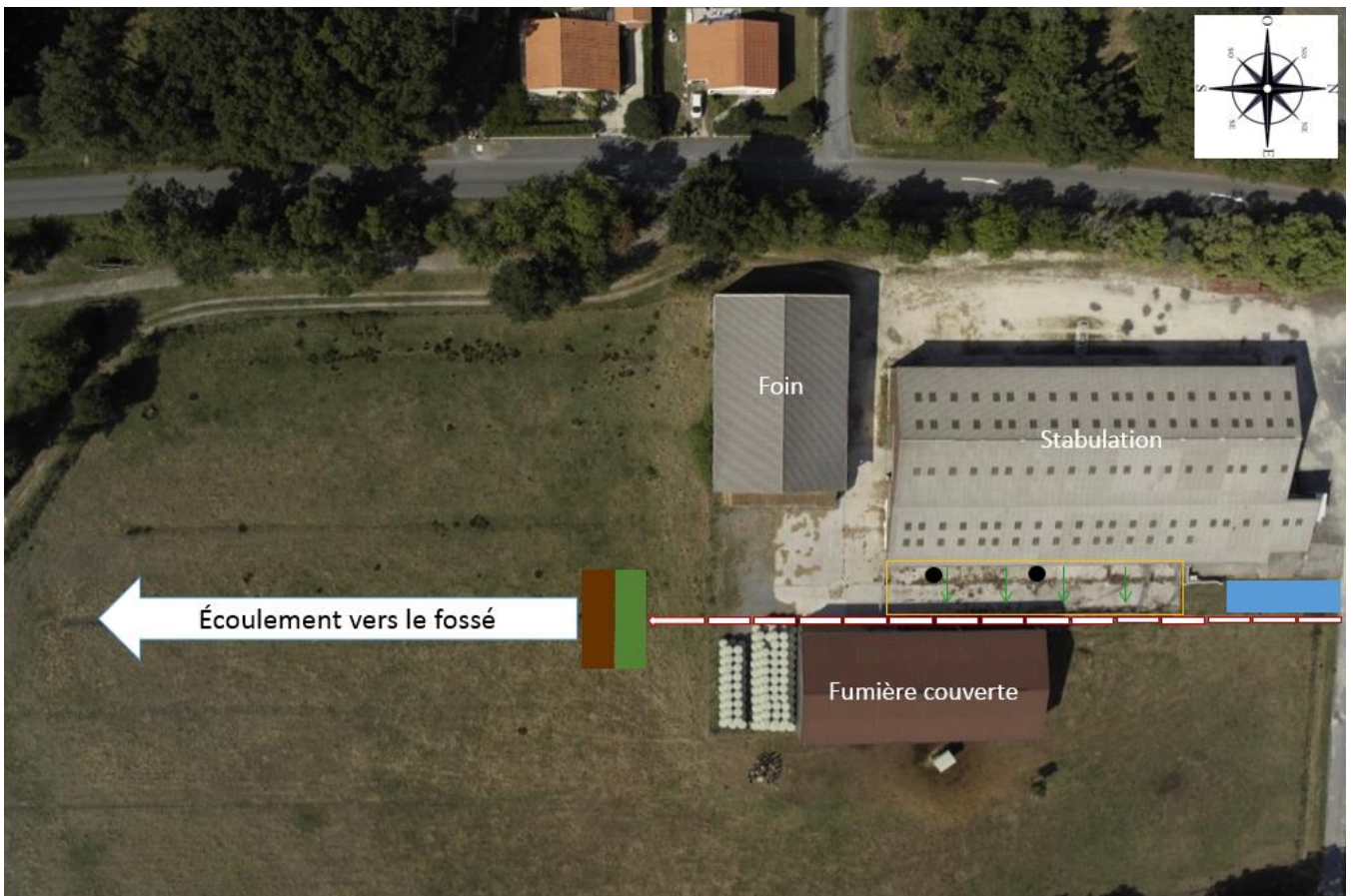
ANNEXE I

Localisation des deux projets sur l'Unité Expérimentale










ANNEXE II

Projet futur



LÉGENDE :




-  Filtre planté à un étage avec recyclage
-  BTS
-  Future station de lavage
-  Plateforme d'exercice ($S = 600 \text{ m}^2$)
-  Sens d'écoulement des eaux vertes
-  Caniveau récupérant toutes les eaux
-  Deux cabanes à veaux

ANNEXE III

Marais actuel



LÉGENDE :









-  Délimitation des huit parcelles de cultures
-  Pompe (point de prélèvement pour les analyses)
-  Sens d'évacuation de l'eau par la pompe

ANNEXE V

Futur dispositif de ZTHA



LÉGENDE :

-  Parcelle épuratrice B6 (S = 1,61 ha) divisée en deux
-  Partie végétalisée par des roseaux (*Phragmites australis*)
-  Partie en eau
-  Petite pompe à mettre en place
-  Pompe
-  Digue
-  Porte
-  Sens de circulation de l'eau pour la réalimentation en période estivale

ANNEXE VI

Point d'analyses



LÉGENDE :

- Sens d'écoulement de l'eau dans les drains vers les fossés collecteurs
- Sens d'écoulement de l'eau des fossés vers la pompe principale
- | Roseaux implantés dans les fossés
- Points d'analyses à faire

RÉSUMÉ

L'expérimentation-système *Transi'marsh* mise en place sur la ferme expérimentale INRA de Saint-Laurent de la Prée conduit des activités agricoles visant à concilier une production agricole et la préservation de l'environnement. Un des enjeux liés à cette expérimentation concerne l'amélioration de la qualité de l'eau.

À partir d'une synthèse des connaissances réalisée sur les différents dispositifs basés sur le procédé de phyto-épuration et d'un diagnostic de la ferme expérimentale, deux projets sont proposés : un projet « Filtre planté de roseaux » pour épurer les eaux issus de la fumière et de la station de lavage, ainsi qu'un projet de « Zone tampon humide artificielle » pour remédier à la pollution issue du drainage de la sole cultivée.

Chaque projet fait l'objet d'un schéma de localisation, d'un dimensionnement et d'éventuels aménagements à réaliser. Un protocole d'évaluation de la qualité de l'eau est également proposé de façon à suivre les performances épuratoires dans le temps de ces deux dispositifs.

Mots-clés : phyto-épuration, dépollution des eaux, eaux de drainage, eaux vertes et brunes, effluent peu chargé, marais, zone humide.

ABSTRACT

The system-experiment *Transi'marsh*, set up on the Saint-Laurent de la Prée research farm, aims at operating a conciliation between agricultural production and preservation of the environment. One of the main goals of this experiment is to improve water quality.

On the basis of knowledge synthesis from different phytoremediation processes and a diagnosis from the experimental farm, two distinct projects are described: the "Filter planted with reeds" project, to manage water coming from the manure pit and the washing area, and the "Artificial wetland buffer" project for a remediation of pollution from the drained waters on crops.

For each project, a location plan and a scaling of the system have been suggested. Moreover, a protocol has been established to monitor overtime the purifying performances of both set ups.

Keywords: phytoremediation, water treatment, drainage, agricultural waters, marshes, artificial wetlands.