



**MASTER Sciences - Technologie – Santé
Mention Ecosystèmes, Agrosystèmes
Développement Durable
Spécialité
Ecologie, Agroécologie, Biodiversité**

**PRATIQUES AGRICOLES ET
FLUX D'AZOTE A L'ECHELLE
D'UN SOUS BASSIN VERSANT
EN MILIEU KARSTIQUE SOUS
SYST'N**

Mémoire de STAGE

THOUVENIN Pauline

Tuteur du mémoire : Hélène HOREN

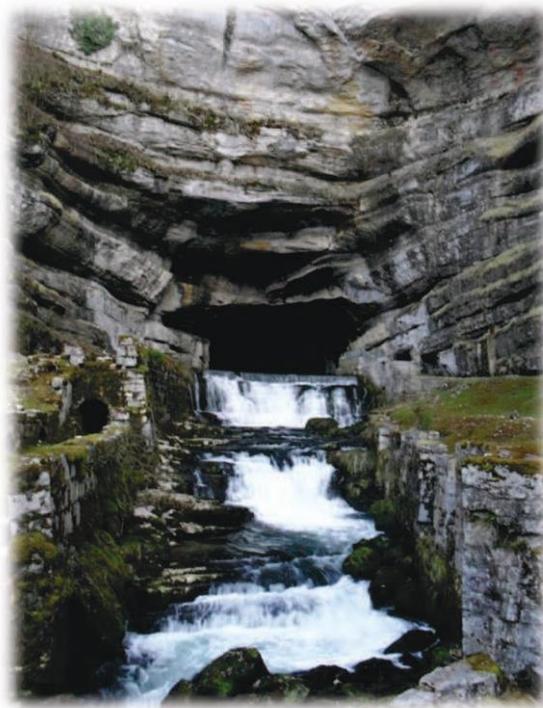
Semestre 4, 2014



Master Sciences –Technologie – Santé
Mention Ecosystèmes, Agrosystèmes Développement Durable
Spécialité Ecologie, Agroécologie, Biodiversité

PRATIQUES AGRICOLES ET FLUX D'AZOTE A L'ECHELLE D'UN SOUS BASSIN VERSANT EN MILIEU KARSTIQUE SOUS SYST'N

Mémoire de STAGE



THOUVENIN Pauline

Tutrice du mémoire : Hélène HOREN

Semestre 4, 2014

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier tout d'abord mon maître de stage M. Didier Tourenne, conseiller Agronomie-Environnement, pour ses enseignements et ses précieux conseils.

Je remercie Nicolas Lecatre, conseiller Agronomie-Environnement, pour son soutien, ses conseils et sa sympathie.

Mes remerciements s'adressent également à Gilles Schellenberger, responsable du service Espaces et Territoires, pour m'avoir accueillie au sein de son équipe de travail.

Je remercie Virginie Parnaudeau, Blandine Robert, Aurélien Dupont et l'ensemble de l'équipe de l'INRA de Rennes pour leurs réponses aux questions ainsi que leurs instructions sur l'outil Syst'N.

Mes remerciements vont aussi à l'ensemble du personnel de la Chambre d'Agriculture pour son accueil et sa gentillesse.

Je tiens à remercier particulièrement Hélène Horen, ma tutrice de stage, pour sa disponibilité, ses conseils avisés et pour ses différentes relectures et corrections.

INTRODUCTION

La gestion des cycles tels que celui de l'azote dans les systèmes de production agricole se trouve au cœur des enjeux d'actualité (qualité et potabilité de l'eau, qualité des produits de récolte, maîtrise des coûts de production agricole...). Dans la seconde moitié du XXe siècle, l'utilisation d'engrais azotés de synthèse a permis une croissance de la production agricole mais a également généré une augmentation des émissions d'azote vers l'environnement (Sutton et al, 2011). Ces émissions d'azote vont avoir des impacts sur la qualité de l'air, de l'eau, sur les écosystèmes, la santé humaine et le changement climatique.

Ces impacts sont causés par le nitrate (NO_3^-), l'ammoniac (NH_3) et le protoxyde d'azote (N_2O). Ces émissions d'azote sont également une perte directe et représente donc un coût économique pour les exploitations agricoles. Les agriculteurs réalisent des apports d'azote dans le but d'atteindre des objectifs de production (céréalière ou encore fourragère).

Les effluents organiques des exploitations agricoles d'élevage sont des ressources non négligeables pour celles-ci. En effet avec une utilisation optimale, les effluents d'élevages peuvent représenter des économies d'intrants. De plus, étant donné le coût important et en augmentation des engrais azotés, des économies en matière d'engrais minéraux sont indispensables. De ce fait, l'utilisation optimale de l'azote (tant de la dose ou des périodes d'apports) est devenue un enjeu majeur dans un contexte d'agriculture de plus en plus respectueuse de l'environnement.

Au niveau européen, afin de lutter contre la pollution des eaux par les nitrates qui ont pour conséquence des perturbations de l'équilibre écologique des ressources en eau et la perte de la potabilité, l'Europe a adopté la directive 91/676/CEE dite Directive Nitrates du 12 décembre 1991 concernant la protection des eaux contre la pollution par les nitrates d'origine agricoles. Cette directive oblige chaque État membre à délimiter des « zones vulnérables » où les eaux sont polluées ou susceptibles de l'être par les nitrates. Différents programmes d'actions sont mis en place sur ces zones visant à restaurer la qualité des eaux et des milieux aquatiques. Différentes mesures peuvent être mise en place comme les conditions d'épandage restrictives, l'implantation de bandes enherbées de 5 mètres minimum le long des cours d'eau ou encore la Couverture des Sols en Période de Risque de Lessivage (CIPAN).

Au niveau du département du Doubs situé en zone karstique avec 65 % des surfaces en prairies où l'élevage laitier domine, les interlocuteurs sont des éleveurs concernés par la valorisation de leurs effluents d'élevage et l'utilisation de leurs prairies. Non situées en zone vulnérable, les rivières du département du Doubs subissent des altérations de leurs qualités et présentent des variations des flux nitrates avec des teneurs moyennes faibles (inférieures à mg/L) mais des pics plus élevés à 30 mg/L. De plus, depuis quelques années, des rivières franc-comtoises telles que la Loue ou le Dessoubre subissent des mortalités piscicoles, des épisodes d'eutrophisation et des développements de cyanobactéries benthiques de façon récurrente depuis quelques années et de façon plus aigüe en 2010 (Truite et Ombre). Réputée pour sa qualité de l'eau et sa richesse piscicole, le lien proposé entre les mortalités de poissons et les proliférations de cyanobactéries a suscité de nombreuses interrogations et médiatisations préjudiciables pour l'image du département. A de nombreuses reprises, les agriculteurs ont été pointés du doigt concernant ces événements. L'ONEMA a été mandaté en 2010 par le préfet du Doubs pour réaliser une expertise scientifique, composée d'experts de différents domaines (écotoxicologie, hydrologie, etc.), pour déterminer les causes de cette mortalité. Les réflexions de ce groupe se sont axées sur l'identification des facteurs et des processus qui ont pu conduire à ces modifications du fonctionnement du cours d'eau. Le groupe d'experts a considéré que les mortalités de poissons et le développement des cyanobactéries n'avaient probablement pas de liens directs mais qu'ils traduisaient plutôt une dégradation de l'état de

santé du cours d'eau depuis plusieurs années. Parallèlement, d'après des analyses de la qualité chimique du cours d'eau, il a été observé une augmentation graduelle des nitrates sur la période de 1971 à 2006 de l'ordre de 0,07 mg/L/an.

La reconquête de la qualité de l'eau des cours d'eau mobilise de nombreux acteurs et nécessite la mise en œuvre d'actions qui peuvent remettre en question la gestion du territoire agricole et non agricole. Depuis quelques années, la Chambre Interdépartementale d'Agriculture du Doubs et du Territoire de Belfort a mis en place une série d'actions destinées aux exploitations agricoles afin d'optimiser les pratiques d'un point de vue environnemental, et réduire l'anthropisation liés aux activités d'élevage et d'épandage. Deux sous bassins versants (Bief de Vau dans le Dessoubre et Plaisir Fontaine dans la Loue) sont suivis et comprennent la quantification des flux en fertilisants minéraux et organiques et le suivi de la qualité de l'eau. Depuis 2011, les pratiques agricoles sont enregistrées sur le sous-bassin versant de Plaisir Fontaine à dominante agricole qui sert de bassin test et de référence pour la Loue. Situé sur le 1^{er} plateau du massif jurassien et présentant 75 % des surfaces en prairies, il est essentiel dans ce contexte de distinguer les pratiques à risques en matière de lixiviation des nitrates.

Les objectifs de ce travail sont donc de recenser les pratiques agricoles, d'identifier les pratiques à risques en matière de fertilisation minérale et organique, de mieux comprendre les phénomènes, et de simuler à l'aide du modèle scientifique Syst'N les flux d'azote à l'échelle du sous bassin versant de Plaisir Fontaine. Ces simulations de pertes d'azote permettront d'évaluer les impacts potentiels de scénarios de modifications de pratiques en vue de proposer des mesures concrètes d'optimisation des pratiques agricoles dans une démarche de communication en direction des partenaires du monde agricole et des agriculteurs. Ce sujet de stage a été choisi en fonction des connaissances et des compétences que je souhaitais développer en agronomie et plus précisément en gestion de la fertilisation azotée. La thématique d'étude se veut être une thématique primordiale pour concrétiser mon projet professionnel en tant que conseiller Agro-Environnement.

Ma problématique durant ce stage peut se résumer aux pratiques agricoles et les flux d'azote à l'échelle d'un bassin versant en milieu karstique. Dans un premier temps, il s'agit de comprendre et de maîtriser le risque de pollution des eaux lié aux flux azotés en région d'élevage et dans un contexte spécifique de milieu karstique. Dans un second temps, il est question de s'intéresser au sous bassin versant de Plaisir Fontaine en prenant en compte les pratiques agricoles effectuées, le contexte géologique local et les données issues d'outils de modélisation pour répondre à la problématique générale. Quelles sont les parcelles et les pratiques agricoles à risque liées à la fertilisation en milieu karstique sur le sous bassin versant de Plaisir Fontaine ? Selon les données résultantes de la modélisation, quels sont les flux d'azote à l'échelle du sous bassin versant de Plaisir Fontaine ? Dans quelle mesure les pratiques agricoles influencent elles les flux d'azote au niveau du périmètre du sous bassin versant du Plaisir Fontaine ?

De ce fait, ce présent rapport s'attache à présenter les flux d'azote au niveau du sous bassin versant de Plaisir Fontaine. La première partie est consacrée à la présentation de la Chambre Interdépartementale d'Agriculture du Doubs et Territoire de Belfort et du contexte de l'étude. De cette présentation découle une seconde partie bibliographique afin présenter la contribution agricole dans les flux azotés. Puis la partie suivante évoque la présentation du projet et dresse les résultats de l'étude. Pour finir, l'ensemble de ce travail se conclura par les enseignements tirés du stage.

SOMMAIRE

INTRODUCTION

I. CONTEXTE DE L'ETUDE 1

- 1) PRESENTATION DE LA CHAMBRE INTERDEPARTEMENTALE D'AGRICULTURE DOUBS ET TERRITOIRE DE BELFORT 1
- 2) LE DEPARTEMENT DU DOUBS : UNE TERRE D'ELEVAGE 2
- 3) MILLEFEUILLE REGLEMENTAIRE 2
- 4) LE BASSIN VERSANT DE LA LOUE : UN MILIEU PARTICULIEREMENT FRAGILE 3
- 5) LE SOUS BASSIN VERSANT DE PLAISIR FONTAINE 9

II. FLUX AZOTES : DESCRIPTION, CONTRIBUTIONS AGRICOLES ET MODELISATION DES FLUX SUR UN TERRITOIRE 10

- 1) CONTRIBUTION DE L'AGRICULTURE AUX FLUX AZOTES ET LES CONSEQUENCES POUR LES TERRITOIRES 10
- 2) GESTION AZOTEE DES PRAIRIES 14
- 3) LES MODELES SCIENTIFIQUES TRAITANT DE LA PROBLEMATIQUE DES PERTES D'AZOTE 18

III. ESTIMATION DES FLUX D'AZOTE SUR LE SOUS BASSIN VERSANT DE PLAISIR FONTAINE 21

- 1) LES PRATIQUES AGRICOLES REALISEES SUR LE SOUS BASSIN VERSANT DE PLAISIR FONTAINE 22
- 2) NOTES DE RISQUES A LA PARCELLE 28
- 3) SYST'N : UN OUTIL DE SIMULATION DES PERTES D'AZOTE 33

IV. BILAN PERSONNEL 49

CONCLUSION

BIBLIOGRAPHIE

GLOSSAIRE

TABLE DES FIGURES

TABLE DES ILLUSTRATIONS

ANNEXES

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS

INTRODUCTION

I. CONTEXTE DE L'ETUDE 1

1)	PRESENTATION DE LA CHAMBRE INTERDEPARTEMENTALE D'AGRICULTURE DOUBS ET TERRITOIRE DE BELFORT.....	1
1.1)	DES ACTIVITES ARTICULEES AUTOUR DE DIFFERENTES MISSIONS	1
1.2)	UN RESEAU NATIONAL.....	1
1.3)	UNE ORGANISATION PAR SERVICE.....	1
2)	LE DEPARTEMENT DU DOUBS : UNE TERRE D'ELEVAGE.....	2
3)	MILLEFEUILLE REGLEMENTAIRE.....	2
4)	LE BASSIN VERSANT DE LA LOUE : UN MILIEU PARTICULIEREMENT FRAGILE.....	3
4.1)	CONTEXTE : HISTORIQUE DES EVENEMENTS	3
4.2)	UNE GEOLOGIE DE TYPE KARSTIQUE	6
4.3)	CONTEXTE CLIMATIQUE DU DEPARTEMENT	7
4.4)	CARACTERISTIQUES DU COURS D'EAU DE LA LOUE.....	7
4.5)	PRESSIONS ANTHROPIQUES SUR LE BASSIN VERSANT DE LA LOUE	8
4.6)	LES ACTEURS DU BASSIN VERSANT DE LA LOUE	8
5)	LE SOUS BASSIN VERSANT DE PLAISIR FONTAINE.....	9
5.1)	LOCALISATION	9
5.2)	UN SOUS-BASSIN TEST	9
5.3)	CARACTERISTIQUES PEDOLOGIQUES	9
5.4)	QUALITE DE L'EAU DE LA SOURCE DE PLAISIR FONTAINE	9

II. FLUX AZOTES : DESCRIPTION, CONTRIBUTIONS AGRICOLES ET MODELISATION DES FLUX SUR UN TERRITOIRE 10

1)	CONTRIBUTION DE L'AGRICULTURE AUX FLUX AZOTES ET LES CONSEQUENCES POUR LES TERRITOIRES.....	10
1.1)	La pression des flux d'azotes sur les territoires.....	10
a)	Situation française.....	10
b)	Situation du département du Doubs.....	11
1.2)	Fertilisation azotée au cœur du phénomène de lixiviation	12
a)	Cycle de l'azote.....	12
b)	Pollution des eaux souterraines : pertes d'azote vers les aquifères	12
c)	Importance des conditions pédoclimatiques et géologiques rencontrés	13
2)	GESTION AZOTEE DES PRAIRIES	14
2.1)	Fertilisation des prairies et fuites de nitrates	15
a)	Effet de la conduite de la prairie sur la lixiviation de l'azote	15
b)	Flux d'azote après retournement de prairies.....	17
3)	LES MODELES SCIENTIFIQUES TRAITANT DE LA PROBLEMATIQUE DES PERTES D'AZOTE.....	18
3.1)	Les différents modèles scientifiques	18
3.2)	Le modèle scientifique Syst'N	19
3.3)	Applications du modèle Syst'N	21
a)	Estimation des pertes d'azote au niveau d'un captage Grenelle par la Chambre d'Agriculture des Deux Sèvres	21

III. ESTIMATION DES FLUX D'AZOTE SUR LE SOUS BASSIN VERSANT DE PLAISIR FONTAINE..... 21

1)	LES PRATIQUES AGRICOLES REALISEES SUR LE SOUS BASSIN VERSANT DE PLAISIR FONTAINE	22
1.1)	Méthodologie.....	22
a)	Identification des pratiques agricoles	22
b)	Traitement des données.....	23
1.2)	Résultats des enquêtes agricoles	23
a)	Les surfaces enquêtées	23
b)	Les exploitations agricoles	23
c)	L'occupation du sol	23
d)	Les pratiques de fertilisation minérale et organique réalisées sur le sous bassin versant de Plaisir Fontaine	24
2)	NOTES DE RISQUES A LA PARCELLE.....	28

2.1)	Elaboration d'une méthode d'évaluation des risques à la parcelle	28
a)	La note 1 : Gestion des effluents d'élevage.....	29
b)	La note 2 : Raisonnement de la fertilisation azotée.....	29
c)	La note 3 : Occupation du sol et rotation	29
d)	La note globale parcellaire	30
2.2)	Application de la méthode en 2011, 2012 et 2013	30
a)	La note 1 : Gestion des effluents d'élevage.....	30
b)	La note 2 : Raisonnement de la fertilisation azotée.....	31
c)	La note 3 : Occupation du sol et rotation	31
d)	La note globale parcellaire	32
3)	SYST'N : UN OUTIL DE SIMULATION DES PERTES D'AZOTE.....	33
3.1)	Présentation des modules du modèle Syst'N.....	33
3.2)	Adaptations réalisées.....	35
3.3)	Paramétrage du modèle Syst'N	35
a)	Données d'entrées Syst'N	35
b)	Données de sortie Syst'N.....	37
3.4)	Diagnostic des pertes d'azote à l'échelle du sous bassin versant de Plaisir Fontaine.....	38
a)	Sensibilité du modèle Syst'N à l'eau drainée.....	38
b)	Simulation des 190 parcelles du sous bassin versant de Plaisir Fontaine	39
c)	Des valeurs d'azote lixivié calculées par Syst'N supérieures à 60 kg/ha/an pour les cultures.....	41
d)	Simulation des types de sol sur prairie permanente et culture	42
e)	Simulation de la date d'épandage d'effluents organiques sur prairie permanente.....	44
3.5)	Discussion.....	46
a)	Discussion du modèle employé.....	46
b)	Pistes d'évolution.....	47
IV. BILAN PERSONNEL.....		49

CONCLUSION

BIBLIOGRAPHIE

GLOSSAIRE

TABLE DES FIGURES

TABLE DES ILLUSTRATIONS

ANNEXES

*Le symbole * renvoie à une définition dans le glossaire*

I. CONTEXTE DE L'ETUDE

1) Présentation de la Chambre Interdépartementale d'Agriculture Doubs et Territoire de Belfort

1.1) Des activités articulées autour de différentes missions



Figure 1 : Logo de la CIA 25/90

Dotée d'un statut d'établissement public économique professionnel (chambre consulaire), la Chambre Interdépartementale d'Agriculture constitue, auprès de l'Etat ainsi que des collectivités territoriales et des établissements publics qui leur sont rattachés, l'organisme consultatif, représentatif et professionnel des intérêts agricoles et forestiers. Depuis le 1^{er}

Janvier 2013, les Chambres Départementales d'Agriculture du Doubs et du Territoire de Belfort ont fusionné en Chambre Interdépartementale d'Agriculture Doubs et Territoire de Belfort (CIA 25/90) (Figure 1). Ainsi la CIA 25/90 est un acteur pour le développement des deux départements (Doubs et Territoire de Belfort) à travers deux missions :

- Interlocuteur des pouvoirs publics pour le monde agricole

Son statut lui confère une légitimité à représenter et défendre les intérêts de l'ensemble des différents agents économiques de l'agriculture auprès des Pouvoirs Publics, de toutes autres instances nationales et internationales, des organisations professionnelles et des acteurs publics et privés. La CIA 25/90 est le porte-parole de l'agriculture et du monde rural.

- Porteur de projets pour le monde agricole

La Chambre d'Agriculture porte de nombreux projets de développement agricole et rural. Elle propose des activités de conseil et de formation : accompagnement des projets des agriculteurs, conception de projets locaux en collaboration avec les collectivités territoriales, prestations de conseils, expertises, références technico-économiques.

Elle assure le développement de l'agriculture par des services collectifs ou individuels dont les objectifs principaux sont d'informer, conseiller et former les agriculteurs des deux départements. Les ressources de la CIA 25/90 sont constituées en premier lieu pour 2013 de la taxe sur le foncier non bâti (56 %) et d'autre part de la facturation de prestation (31 %), de subventions provenant des collectivités territoriales, du Compte d'Affectation Spéciale pour le Développement Agricole et Rural (CASDAR), des Agences de l'Eau et de l'Etat (13 %). (Chambres d'Agriculture n°1023, Mai 2013)

1.2) Un réseau national

Le réseau des Chambres d'Agriculture est réparti sur l'ensemble du territoire et se compose de 92 Chambres départementales, interdépartementales d'Agriculture et 20 Chambres régionales représentées au niveau national par l'Assemblée Permanente des Chambres d'Agriculture (APCA). Elles sont représentées par leurs présidents qui constituent l'Assemblée de l'APCA. L'APCA joue un rôle consultatif auprès des Pouvoirs Publics nationaux et européens. Elle intervient également pour animer et appuyer ce réseau et le soutient dans sa mission d'accompagnement et de conseil aux agriculteurs.

1.3) Une organisation par service

Etablie sur 5 antennes, la Chambre Interdépartementale d'Agriculture du Doubs et Territoire de Belfort est composée d'une assemblée d'élus professionnels (exploitants, propriétaires, salariés de production, etc.) et d'un organisme de service composé de 58 salariés.

La Chambre Interdépartementale d'Agriculture du Doubs et Territoire de Belfort est composée de trois services ayant des missions bien spécifiques dont le service Espace et Territoire, qui m'a accueilli durant ce stage. Ce service a pour objectif d'accompagner les agriculteurs dans la mise en œuvre d'actions environnementales, forestières, d'aménagement et développement territorial, d'assurer l'information et l'appui auprès des agriculteurs dans le cadre de dispositifs volontaires ou réglementaires, développer ou pérenniser des partenariats avec les acteurs du monde rural, assurer une veille technique et réglementaire permanente, être présent dans les débats pour représenter l'intérêt agricole et trouver des solutions acceptables. Les thématiques abordées sont la préservation de la biodiversité (zones Natura 2000), le traitement des déchets et des boues de stations d'épuration, la réalisation des prestations d'épandage (Rapport d'activités n°10, 2012).

2) Le département du Doubs : une terre d'élevage

Le département du Doubs compte 523 890 ha, répartis pour 41 % (216 200 ha) en forêt et 240 253 ha (soit près de 46 %) en surface agricole utile (SAU) réparties dans les 3640 exploitations présentes sur le territoire. (Agreste, 2013) Les deux tiers de ces surfaces sont répertoriés comme prairies temporaires ou permanentes, dédiés à l'élevage ou au fourrage. Le dernier tiers comporte des cultures de blé, d'orge, d'avoine, de triticale, de maïs et de colza confinées dans la partie basse du département soit les plaines et basses vallées représenté en figure 2. La production laitière domine nettement les productions agricoles du département. L'orientation Technico-Economique (OTEX) bovin lait représente 82 % des exploitations agricoles du Doubs. (Recensement agricole, 2010). La majorité du lait est transformée pour les Appellations d'Origines Contrôlée (AOC) fromagères (Comté, Morbier, Mont d'Or). (*Annexe 1*) Un cahier des charges propre à chaque fromage stipule les règles à suivre par les agriculteurs. Etant un département d'élevage, les agriculteurs ont à gérer leurs effluents d'élevage (principalement fumier avec une augmentation récente de la part du lisier) produits sur leurs exploitations : stockage, épandage, valorisation agronomique dans le respect de la réglementation.

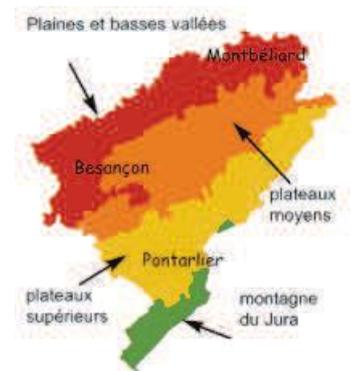


Figure 2 : Zonage géographique du Doubs. Jeunes agriculteurs

3) Millefeuille règlementaire

Dans le Doubs, en matière de réglementations liées à la gestion des effluents d'élevage, les exploitations agricoles selon leurs tailles peuvent être soumises au Règlement Sanitaire Départemental (RSD) ou à la législation Installation Classée pour la Protection de l'Environnement (ICPE). De plus, si elles sont dans les communes du Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE) Haut Doubs Haute Loue, elles doivent également respecter le règlement de ce SAGE. La réglementation des ICPE date de 1976. Elle a régulièrement fait l'objet d'évolutions. Elle s'applique aux différents types d'activités (industrie, agriculture). Le RSD est le règlement des activités agricoles d'élevages pour les exploitations d'une taille inférieure à celles des ICPE. Le règlement sanitaire fixe des conditions d'implantation (distances...) des bâtiments d'élevages et de gestion des effluents. Le RSD édicte des règles techniques d'hygiène et de salubrité publiques qui s'appliquent en l'absence d'autres textes. Le RSD a été modifié et a été signé le 11 avril 2014, il reprend les règles appliquées pour les ICPE (arrêté du 27/12/13) et rend obligatoire à l'échéance 2020 le respect des capacités de stockage préconisée dans le cadre du Programme de Modernisation des Bâtiments d'Elevage (PMBE) (zonage de 4 à 6 mois selon l'altitude).

Le règlement du SAGE mis à jour en mai 2013 fixe les règles au niveau du territoire du SAGE Hauts Doubs/Haute Loue en matière d'épandage. En ce qui concerne la mise aux normes, le PMBE permet de mobiliser des aides financières pour la modernisation des bâtiments d'élevage ou des ouvrages de stockage des déjections animales. Il fait suite à des programmes plus anciens débutés en 1994 (PMPOA I et II puis PMPLEE). Une exploitation est considérée comme aux normes PMBE lorsque sa capacité de stockage des effluents liquides correspond au minimum imposé par les financeurs dans le cadre du PMBE. Le PMBE prévoit un zonage qui définit selon l'altitude la durée minimale de stockage à respecter pour accéder aux financements (4 à 6 mois selon l'altitude pour les effluents liquides). (Annexe 2) Cette durée qui va au-delà du minimum réglementaire (1,5 à 4 mois selon la taille du cheptel). (Pour les zones de montagnes, les conditions climatiques étant plus rigoureuses cela nécessite d'avoir des capacités de stockage plus importantes. L'objectif de la mise aux normes est de disposer de capacité suffisante de stockage des effluents liquides quel que soit l'altitude afin d'éviter les épandages en période hivernale. En effet, à cette période, l'arrêt végétatif et la pluviométrie abondante accroissent le risque de pertes, en particulier d'azote, vers les nappes phréatiques et les rivières. De plus, compte tenu des critères retenus par l'Europe et la France, le Doubs n'a pas de zone vulnérable aux nitrates au sens de la Directive Nitrates. Une synthèse des réglementations est détaillée en (Annexe 3).

De plus, en matière de fertilisation, les exploitations agricoles doivent respecter, si elles sont engagées, certaines réglementations dont notamment le cahier des charges de l'Appellation d'Origine Protégée (AOP) Comté, ou encore les engagements de la Prime Herbagère Agro-Environnementale (PHAE2). Le cahier des charges oblige à ce que la fumure minérale azotée ne dépasse pas 50 unités d'azote par hectare en moyenne sur les cultures fourragères et 120 unités azote par hectare (minérale et organique compris) pour chaque parcelle en herbe (tableau 1). Pour la matière organique, le cahier des charges stipule trois épandages maximum par an sur une même parcelle et également un délai avant exploitation (fauche ou pâture) de 6 semaines après un épandage organique et 3 semaines après un épandage minéral. (Cahier des charges AOP Comté du 28 janvier 2008)

AOP Comté	Azote maxi
Fumure minérale azotée (engrais de synthèse) sur l'ensemble de la surface fourragère	50 kg/ha
Fertilisation maximale par parcelle en herbe (azote organique et engrais minéral)	120 kg/ha

Tableau 1 : Extrait du cahier des charges AOP Comté, Cahier des charges AOP Comté (28/01/2008)

La plupart des éleveurs se sont engagés pour la PHAE. En contrepartie d'une aide financière, les agriculteurs doivent respecter un chargement inférieur à 1,4 UGB/ha de surface fourragère, avoir une gestion économe en intrants, soit une limite de 125 unités d'azote par hectare et par an (dont un maximum de 60 unités en minéral), ainsi que d'autres restrictions. (Circulaire du 22 avril 2011, tableau 2)

En kg/ha	AZOTE	PHOSPOHRE	POTASSE
Fertilisation totale	125	90	160
Dont engrais minéraux azotés	60	30 ou 60	60

Tableau 2 : Restrictions concernant la fertilisation maximale sur chaque parcelle engagée de la PHAE, Circulaire du 22 avril 2011

4) Le bassin versant de la Loue : un milieu particulièrement fragile

4.1) Contexte : historique des évènements

- Contexte départemental et qualité de l'eau

Situé en tête de bassin hydrographique, le département du Doubs bénéficie a priori de milieux aquatiques de grande richesse et d'une ressource en eau de très bonne qualité. Cette

situation de tête de bassin s'illustre par des rivières très réputées pour la pêche, en particulier la Loue, le Dessoubre et le Doubs frontalier et la présence de zones humides de dimensions modestes, mais de grande valeur patrimoniale.

La Loue est une rivière emblématique de Franche-Comté qui a été caractérisée au sens de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) par un bon état biologique et une bonne qualité chimique des eaux. Ce diagnostic établi en 2010 par la Direction Régionale de l'Environnement de l'Aménagement et du Logement (DREAL) et l'Agence de l'Eau s'est appuyé :

- sur les analyses des peuplements de macro invertébrés, de macrophytes et de diatomées, révélant la présence de peuplements stables et équilibrés, caractéristiques d'une bonne qualité physicochimique de l'eau et d'une grande qualité d'habitat,
- sur les analyses physico-chimiques de l'eau qui ne semblaient pas montrer de signes d'eutrophisation (excès de nutriments) du cours d'eau ou de pollution majeure par des phytosanitaires et/ou des métaux lourds.

Le contexte départemental du Doubs correspond à une pluviométrie abondante, accentuée par le caractère montagnard d'une partie du département ce qui lui vaut des ressources en eau, superficielles et souterraines importantes. Cependant, la géologie particulière du Doubs (omniprésence du karst) est une source de fragilité, à la fois quantitative (variations brutales des niveaux d'eau, du fait d'une circulation rapide dans le réseau karstique, sévérité des étiages) et qualitative (forte vulnérabilité aux pollutions, du fait d'une faible filtration par le sol et le sous-sol). Les caractéristiques géologiques karstiques du territoire rendent les rivières particulièrement sensibles à tout type de pollution. Les principales rivières (Loue, Dessoubre, Doubs franco-suisse) connaissent des états occasionnellement ou régulièrement dégradés : eutrophisation, mortalité piscicole, perte de productivité ou de biodiversité des populations piscicoles. Malgré ce bon état établie au sens de la DCE, des mortalités de poissons et des développements algaux, des développements de cyanobactéries benthiques (figure 3) sont signalés de façon récurrente depuis quelques années sur la Loue. Ces mortalités semblent avoir touché aussi bien des Salmonidés (Truite commune et Ombre commun) que des petites espèces benthiques (Chabot et Loche franche). En 2010, un évènement relativement marquant de mortalités piscicoles dans la Loue ainsi que des évènements en 2014 dans la Loue et le Dessoubre ont suscité de nombreuses interrogations et médiatisations qui sont préjudiciables pour l'image de qualité du département. Les agriculteurs sont régulièrement mis en accusation lors d'épisode de mortalité piscicole en particulier sur la rivière Loue et leurs pratiques agricoles sont mises en cause par les pêcheurs ou les associations de protection de l'environnement. Pourtant l'activité agricole du Doubs est caractérisée par l'élevage laitier sous signe de qualité (Comté, Morbier,...), avec des pratiques de fertilisation ou d'alimentation encadrées par des cahiers des charges qui conduisent à une agriculture que l'on peut qualifier d'extensive par rapport à d'autres départements.

Suite à ces phénomènes de mortalités et dans un premier temps, une étude réalisée à la demande de l'Agence de l'eau Rhône-Méditerranée et Corse en 2010, concluait que l'importante présence de cyanobactéries benthiques productrices d'une neurotoxine était très probablement à l'origine des mortalités de poissons observées en 2010 dans la Loue. Selon cette étude de la qualité piscicole sur quatre stations de la Loue de l'Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques (ONEMA) de 2010, les épisodes de mortalité sont observés de façon récurrente depuis plusieurs années chez la Truite et l'Ombre sur le bassin de la Loue. Ces épisodes ont eu lieu au printemps après la période de frai, car les poissons sont plus vulnérables aux agents stressants. La particularité de l'évènement de 2010 tient à sa précocité,



Figure 3 : Truite commune atteinte par la saprolegnia parasitica (Loue, 2010)

sa durée (plusieurs mois), et au fait qu'il a concerné de nombreux poissons chez plusieurs espèces.

Suite à ces résultats, le préfet du Doubs a mandaté l'ONEMA pour réaliser une expertise scientifique, composé d'experts de différents domaines (écotoxicologue, hydrologie, etc.), pour identifier les causes des mortalités de poissons et des proliférations de cyanobactéries. Cette étude met en évidence une dégradation généralisée de la qualité de l'eau dont les origines sont anciennes et multifactorielles. Cette étude a été complétée par un avis du Conseil Scientifique du Comité de Bassin Rhône Méditerranée Corse publié en octobre 2012. Parmi les recommandations édictées figure la maîtrise des flux de nutriments dans la rivière après avoir quantifié et identifié leur source : « ... cet exercice doit être complété par une étude sur des indicateurs des pressions agricoles (tonnage en engrais, zones d'épandage...), de l'industrie du bois (tonnage en pesticides...), [...], afin de spatialiser l'ensemble des pressions exercées sur le bassin versant et ainsi d'identifier des zones d'action prioritaires. » (ONEMA, 2012) Toutefois, il est important de souligner qu'aucune cause aigue (pollution ou pathogène) n'ai été identifiée comme responsable des phénomènes de mortalité piscicole même si « l'hypothèse d'une pollution accidentelle s'avère difficile à éliminer définitivement en raison de la quasi-absence de données. » (ONEMA, 2012)

- Des actions mises en œuvre pour la qualité de l'eau

La figure 4 montre l'évolution des exploitations « aux normes PMBE », 24 % des exploitations étaient aux normes PMBE en 2000, 65 % en 2010 et 74 % prévus à la fin de l'Opération Collective (OC) Loue selon l'objectif à atteindre imposé par la réglementation (RSD et réglementation du SAGE). Dans le cadre du PMBE, des OC ont été mises en place. L'OC est une action concertée de mise aux normes de bâtiments d'élevage dans un secteur délimité et identifié en raison de la sensibilité du milieu. Celle-ci a une durée limitée de 2 ans (avec la possibilité de prolongation selon les enjeux et le succès de l'OC) et permet de bénéficier d'une majoration des aides financières dans le cadre des aides PMBE pour le volet « Effluent ». En effet pour un projet du volet « Effluent » (par exemple une création de fosse), il y aura un taux de base de subvention de 25 %. De plus, si le projet se situe dans le périmètre de l'OC, le projet bénéficiera d'une majoration de 15 %. Pour le bassin versant de la Loue, 156 agriculteurs sur les 603 présents dans le bassin versant sont engagés dans l'OC 2011/2013 de mise aux normes des bâtiments d'élevage. La mise aux normes des ouvrages de stockage s'accompagne de la réalisation du plan d'épandage individuel de l'exploitation. C'est un document de référence pour l'exploitation agricole en matière d'épandage. Il s'agit d'un diagnostic des parcelles qui détermine leur capacité à recevoir ou non des effluents d'élevage pour fertiliser les parcelles. Le plan d'épandage précise les interdictions réglementaires (habitations, cours d'eau, captages,...), les interdictions agronomiques dans les zones à risque d'infiltration (dolines*, pentes, sols très superficiels avec affleurements rocheux, sols très hydromorphes, zones de contact marno-calcaire*) évalués au cas par cas et les épandages sous conditions selon les caractéristiques du sol. Celui-ci est réalisé selon un cahier des charges régional élaboré par différentes structures (DREAL, Groupe Régional Agronomie Pédologie Environnement (GRAPE), Chambres d'Agriculture).

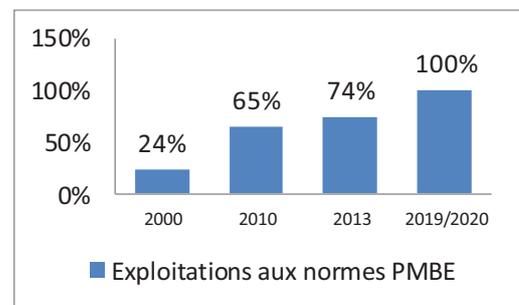


Figure 4 : Représentation des exploitations agricoles aux normes PMBE de 2000 à 2020, CIA 25/90, 2013

De plus, outre l'aide financière pour la mise aux normes des ouvrages de stockage, l'OC a également pour finalité d'apporter des conseils adaptés et de sensibiliser les agriculteurs afin d'améliorer leurs pratiques en matière de fertilisation minérale et organique. Des sous bassins

ont été délimités afin de permettre un suivi de la qualité de l'eau et sa mise en relation avec les épandages agricoles et les événements climatiques. Ainsi un suivi des pratiques agricoles est effectué depuis 2011 sur le sous bassin versant de Plaisir Fontaine. L'objectif est de travailler avec les agriculteurs pour construire une démarche d'analyse et d'amélioration des pratiques d'épandages ou de gestion des ouvrages de stockage le cas échéant plutôt que comme une démarche de contrôle. L'OC lancée en 2011 s'est terminée fin 2013 mais a été prolongée jusqu'en 2014. Cependant le suivi des pratiques agricoles se poursuit sur le sous bassin versant de Plaisir Fontaine en tant que site d'acquisitions de références.

L'INRA de Rennes, associé à d'autres instituts techniques a développé un outil d'évaluation des fuites d'azote vers l'environnement : Syst'N. Basé sur un modèle dynamique de simulation, ce programme calcule les flux d'azote dans le système sol-plante-atmosphère. Depuis 2013, un partenariat entre l'INRA de Rennes et la CIA 25/90 s'est instauré. Ainsi la zone du sous bassin de Plaisir Fontaine est une zone d'acquisition de références et une zone test pour expérimenter le modèle Syst'N (Parnaudeau V., Reau R., Dubrulle P., 2012).

4.2) Une géologie de type karstique

Le département du Doubs se situe en grande partie sur une zone karstique développée sur une géologie calcaire. Le karst est un paysage résultant d'un processus d'érosion hydrochimique : la karstification. Ces processus sont commandés par la dissolution des roches carbonatées (calcaires et dolomies) qui constituent le sous-sol. C'est la pluie d'un pH acide, en s'infiltrant dans ces roches, qui assure leur dissolution. L'eau acquiert l'acidité nécessaire à la mise en solution de la roche en se chargeant de gaz carbonique (CO₂) produit dans le sol par les végétaux et les colonies bactériennes. Il en résulte la création de fissures importantes et de gouffres souterrains qui créent de véritables labyrinthes préférentiels pour l'écoulement des eaux. (Connaissance et gestion des ressources en eaux souterraines dans les régions karstiques, Bassin Rhône Méditerranée Corse, Juin 1999)

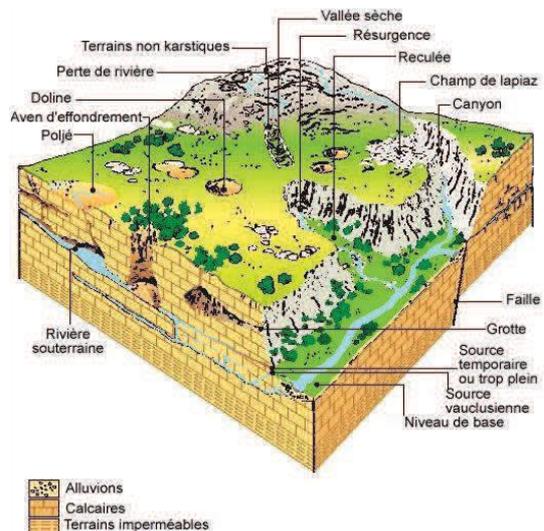


Figure 5 : Représentation schématique des types d'infiltration dans un milieu karstique. Agence de l'eau, 1999

Les karts constituent des aquifères atypiques caractérisés par un ensemble de paramètres hydrauliques hétérogènes et anisotropes à toutes les échelles. La taille des réseaux poreux formés par la karstification favorise l'infiltration rapide des eaux et leur résurgence en des sources qui drainent de larges territoires et sont assujetties à des variations brutales de débit : secs en étiage, et fortes crues en hautes eaux. Plusieurs types d'infiltrations peuvent être identifiés à la surface d'un même aquifère karstique. La figure 5 donne une représentation synthétique des différents types d'infiltrations. On peut distinguer deux types d'infiltrations concentrées, qui sont d'une part les zones de pertes, et d'autre part les dolines. Dans le premier cas, la zone d'infiltration est alimentée uniquement en période de précipitation. Dans le cas des pertes la zone d'infiltration est alimentée en continu et le débit d'alimentation varie en fonction des précipitations.

Les eaux souterraines rencontrées et exploitées dans ce milieu karstique peuvent être vulnérables aux activités humaines, principalement pour des raisons suivantes :

- L'infiltration des cours d'eau de surface peut être concentrée et brutale (infiltration ponctuelle et massive de la pollution),
- Les sols et les terrains de couverture peuvent être absents ou très peu épais (absence de rétention des polluants),
- Les vitesses de transferts de l'eau, qui peuvent atteindre jusqu'à plusieurs kilomètres par jour, ne permettant pas la mort biologique des microorganismes pathogènes. (Rapport d'expertise sur les mortalités de poissons et les efflorescences de cyanobactéries de la Loue, groupe d'experts, 2012).

Le karst est par conséquent un paysage original créé par les écoulements d'eau. La surface, constituée en général de dépressions fermées (dolines, poljés), plus rarement de dépressions ouvertes (aven), de pertes (ouverture par laquelle un cours d'eau devient souterrain) et de zones de contact entre des couches de marne et de calcaire, est en relation avec une partie souterraine composée de rivières souterraines, de grottes et de gouffres de tailles impressionnantes. Ainsi l'eau s'y infiltre, circule, s'accumule et émerge par des sources aux débits souvent considérables. Par conséquent, on trouve très peu de cours d'eau. Les sols du département, qui se développent à partir de la roche calcaire sont assez superficiels (en moyenne entre 20 et 35 cm) et leur texture est principalement limono-argileuse.

4.3) Contexte climatique du département

Le climat du Doubs, réputé pour sa pluviométrie élevée est toutefois très variable autant annuellement que d'une année sur l'autre. Sa forte variation thermique est largement accentuée par le relief, un gradient thermique de 0.5°C pour 100 mètres de dénivelé. Les précipitations varient entre 70 cm en plaine à plus de 1,70 mètres en montagne. Le manteau neigeux peut couvrir le sol entre 70 et 120 jours par année.

4.4) Caractéristiques du cours d'eau de la Loue

La Loue est le seul cours d'eau qui draine transversalement les structures géologiques de la Haute chaîne aux plateaux externes et à la Bresse. (Annexe 4) La source de la Loue est la troisième source française avec un débit moyen de 10 m³/s. Le bassin versant de la Loue a la particularité d'être à géométrie variable en fonction de la saison, car il comprend à la fois la totalité d'un bassin propre, alimenté d'une part par l'infiltration diffuse sur les plateaux, de l'autre part par des pertes totales de cours d'eau et par une résurgence ayant pour origine des pertes de la rivière du Doubs en aval de Pontarlier (en moyenne à hauteur de 1/7 de son débit). La Loue est une rivière qui comporte de très nombreux aménagements (barrages et seuils) dont les impacts peuvent concerner à la fois la qualité physico chimique (débit, température) et biologique (continuité écologique) de la rivière.

Il est également présent un nombre important de déversoirs d'orage installés sur la commune de Pontarlier qui sont susceptibles d'apporter des volumes significatifs d'eaux contaminées (Sandoz, 2009). De plus, on peut également citer la structure géomorphique du karst qui rend cet écosystème vulnérable à des contaminations liées aux dépôts de déchets dans le karst : par exemple, le gouffre de Jardel ayant fait l'objet de dépôt d'obus par l'autorité militaire en 1923.

Les causes des mortalités piscicoles sont activement recherchées. La turbidité a été mentionnée, elle ne semble pas être la cause de mortalité des truites dans ce cas. (ONEMA, 2012) En effet, les poissons supportent bien, même pendant plusieurs jours, une turbidité élevée. Par contre, si ce taux élevé de matières en suspension est constant le peuplement piscicole peut en pâtir. Concernant la relation nitrates/mortalités, les nitrates ne sont pas directement responsables de la mortalité. Cependant les phénomènes consécutifs à une charge

azotée récurrente peuvent être dommageables. En effet, de grandes quantités de produits azotés se sont accumulées au fil du temps dans le cours d'eau qui entraîne le développement de tapis d'algues filamenteuses. Au fur et à mesure, ces communautés algales se succèdent, se décomposent puis s'accumulent au fond du cours d'eau (dépôts dans la banquette sédimentaire, dans les interstices des pierres...). Lors d'épisodes pluvieux importants, le courant va remettre en suspension tous les éléments présents dans le fond du cours d'eau. Ainsi la matière organique (éventuellement nitrites et ammoniac), les algues se retrouvent dans la colonne d'eau. Cette remise en suspension va ainsi stimuler l'activité bactérienne au sein du cours d'eau. Cette dernière consomme énormément d'oxygène. De plus, les tapis d'algues filamenteuses, via la photosynthèse, produisent de l'oxygène le jour et en consomment la nuit. Cependant, la truite est active au crépuscule (contrairement à beaucoup de poissons qui le sont à l'aube). Son activité est liée à l'émergence des éphémères et trichoptères qu'elle consomme. Ces émergences débutent lorsque la température du cours d'eau est à son maximum dans la journée : de 17h00 jusqu'à la nuit tombée. La digestion est donc accomplie la nuit et nécessite pas mal d'oxygène. Cependant le problème réside dans le taux d'oxygène qui fluctue de façon anormale en une journée : sursaturation la journée, déficit en oxygène la nuit. Normalement le taux d'oxygène d'un cours d'eau s'équilibre naturellement via la photosynthèse des végétaux et via l'alternance pool-radier. L'azote cumulé dans les sédiments est remis en suspension modifiant les conditions d'oxygénation du cours d'eau par le biais d'activation bactérienne et induisant à long terme la mortalité des poissons. (ONEMA, 2012)

4.5) Pressions anthropiques sur le bassin versant de la Loue

L'industrie du bois représente une activité importante en Franche Comté qui occupe une place traditionnellement importante dans l'économie régionale. Cette activité utilise de nombreux produits toxiques afin de préserver le bois. Sur le bassin versant de la Loue, on note la présence de 22 établissements mettant en œuvre des produits de préservation du bois relevant de la rubrique 2415 de la nomenclature des Installations Classées, ce qui signifie qu'aucun de ces établissements ne doit rejeter d'effluent industriel dans le milieu. Parmi les molécules les plus employées sur le bassin versant pour traiter le bois : on peut citer trois substances la cyperméthrine (insecticide), du propiconazole (fongicide) et du tébuconazole (fongicide) dont l'emploi s'est généralisé et dont la toxicité vis-à-vis de la faune aquatique est établie (Adam, 2008). Aucune information n'est disponible sur les herbicides, micropolluants résultant des activités de traitement de bois. De plus, de nombreuses stations d'épuration sont présentes sur le bassin versant de la Loue. Par ailleurs, le laboratoire Chrono Environnement de l'Université de Franche Comté a réalisé un bilan des flux de nitrate et de phosphate des stations d'épurations de la Loue.

4.6) Les acteurs du bassin versant de la Loue

De nombreux acteurs interagissent sur le bassin versant de la Loue, les différents domaines sont représentés (agriculture, industries, pêche, environnement). Sur ce bassin versant sensible aux pollutions, de nombreux lanceurs d'alerte interpellent les pouvoirs publics sur les différentes pollutions remarquables. Les événements de la Loue sont largement médiatisés dans de nombreuses émissions et journaux locaux.

Depuis 2013, une Conférence Départementale Loue et Rivières Comtoises co-présidé par la Préfecture du Doubs et le Conseil Général est organisée chaque année avec les différents acteurs du département. La dernière s'est tenue le 11 avril 2014 et a évoqué les actions entreprises par le Groupe Scientifique, la Chambre d'Agriculture ainsi que les suivis des mortalités piscicoles réalisés par l'ONEMA. De plus, la révision du RSD en matière

d'épandage a été approuvée et signée par le Préfet. Différentes études sont en cours dont notamment l'analyse des données sur les sources de nutriments dans la Loue et des données sur la nature et les flux des matières en suspension par l'Université de Franche Comté. Une analyse complémentaire sur les polluants circulants dans la Loue sera également réalisée.

5) Le sous bassin versant de Plaisir Fontaine

5.1) Localisation

Le bassin versant de Plaisir Fontaine se situe au centre du département du Doubs sur le premier plateau (environ 540 m d'altitude moyenne) dans le bassin de la Brème au sud de Besançon. (*Annexe 5*) L'exutoire du bassin est la source de Plaisir Fontaine située aux environs de Bonnevaux-le-Prieuré, en amont d'une pisciculture. Cette source est une résurgence collectant les eaux drainées du bassin versant étudié qui se jette en aval dans la Brème alimentant elle-même la Loue.

5.2) Un sous-bassin test

Etant donné la taille importante du bassin versant de la Loue (2 500 km²), un travail d'identification détaillé des pratiques agricoles sur l'ensemble du bassin versant de la Loue n'était pas envisageable. Il a donc été choisi de mener ce travail sur un sous bassin versant représentatif de la zone entière, répondant aux exigences de faisabilité d'un suivi (surface et nombre d'agriculteurs) et permettant de vérifier l'impact de l'agriculture sur la qualité de l'eau. En effet, ce sous bassin versant n'est pas concerné par la présence d'industries ou d'assainissement. Le sous bassin retenu est le sous bassin versant de Plaisir Fontaine. C'est un sous bassin dont la délimitation est relativement bien connue. L'agriculture est la seule source potentielle de pollution. De plus, sa taille (environ 500 ha de SAU) et le nombre d'agriculteurs présents (22) sont compatibles avec un suivi agricole détaillé.

5.3) Caractéristiques pédologiques

Les sols du sous bassin versant reposent sur la roche calcaire et sont assez superficiels (en moyenne entre 20 et 35 cm). Leur texture est principalement limono-argileuse. Une classification de ces sols a été retenue au niveau régional et distingue quatre catégories en fonction de la profondeur du sol (profonds > à 35 cm, superficiels 20 à 35 cm, très superficiels ≤ à 20 cm et hydromorphes > 35 cm). Une caractérisation à la tarière a été réalisée en 2011 puis complétée en 2012 afin d'établir une carte présentant les types de sols (*Annexe 6*). Cette caractérisation précise la profondeur de sol, ainsi que les dolines, les affleurements rocheux sur les parcelles du sous bassin versant. Elle permet aussi de déterminer l'aptitude du sol à l'épandage des parcelles. Cette aptitude est basée sur la capacité du sol à retenir puis transformer les effluents épandus sans risque d'entraîner une pollution de surface ou souterraine. Cela correspond donc à son pouvoir épurateur. Ce dernier est fonction de l'aération du sol, de la nature du sol, de la situation topographique, des populations des micro-organismes présents et dépend beaucoup de la profondeur du sol. En effet plus le sol est profond, plus son pouvoir épurateur est élevé, donc plus le risque de pollution est faible. D'après cette étude, le territoire se caractérise par 40 % de sols superficiels, 37 % de sols profonds, 22 % de sols très superficiels et moins de 1 % de sols hydromorphes.

5.4) Qualité de l'eau de la source de Plaisir Fontaine

A la demande du Conseil Général, la source de Plaisir Fontaine fait l'objet d'un suivi régulier avec caractérisation des principaux paramètres physico-chimiques. La figure 6 représente les teneurs en nitrates et la hauteur d'eau enregistrées de mars à août 2011. Elle permet de constater le caractère karstique de cette source avec des fluctuations importantes en lien avec les précipitations. En moyenne, les teneurs en nitrates se situent à environ 8 mg/L ce qui correspond à une très bonne qualité selon la norme DCE. Cependant des teneurs deux fois plus importantes peuvent être mesurées ponctuellement. Selon les spécialistes (Agence de l'Eau, etc.), pour une source située en tête de bassin avec une occupation du sol majoritairement en forêt et en prairie, les teneurs doivent plutôt se situer aux environs de 5 mg/L. La source de Plaisir Fontaine se jette dans la Brême qui est un affluent de la Loue, celle-ci étant classée en première catégorie piscicole. Pour 2015, un projet d'installation d'une sonde de mesure en continue est en réflexion pour la source de Plaisir Fontaine, qui permettra d'apprécier les éventuels pics de nitrates et de quantifier les flux annuels.

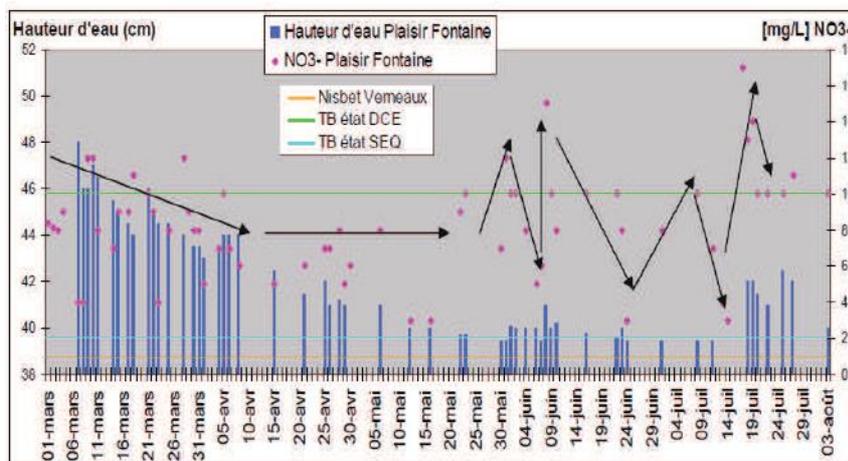


Figure 6 : Evolution des teneurs en nitrate à la source de Plaisir Fontaine de mars à août 2011. Eaux continentales, 2011

II. FLUX AZOTES : DESCRIPTION, CONTRIBUTIONS AGRICOLES ET MODELISATION DES FLUX SUR UN TERRITOIRE

1) Contribution de l'agriculture aux flux azotés et les conséquences pour les territoires

1.1) La pression des flux d'azotes sur les territoires

a) Situation française

Au niveau national en matière de fertilisation, les apports annuels d'azote proviennent des engrais de synthèse (2110 kt), des effluents d'élevage (1820 kt) et des boues de station d'épuration et composts (21 kt). (CITEPA, 2011) Selon l'Institut de l'Elevage de 2007, la pression d'azote organique et minéral varie fortement selon les régions. Les apports sous forme organique sont les plus élevés dans l'Ouest de la France : ils dépassent 130 kg N/ha de SAU alors que la moyenne nationale s'établit à 50 kg/ha. La pression en azote minéral* se concentre, au contraire, principalement sur le bassin parisien et le Sud-Ouest, qui correspondent aux zones de grandes cultures.

D'après la figure 7 en 2011, les concentrations en nitrates sont élevées (entre 40 et 50 mg/L) à très élevées (> 50 mg/L) pour 11 % des nappes métropolitaines (Bassin parisien, nord de la Bretagne) et varient entre

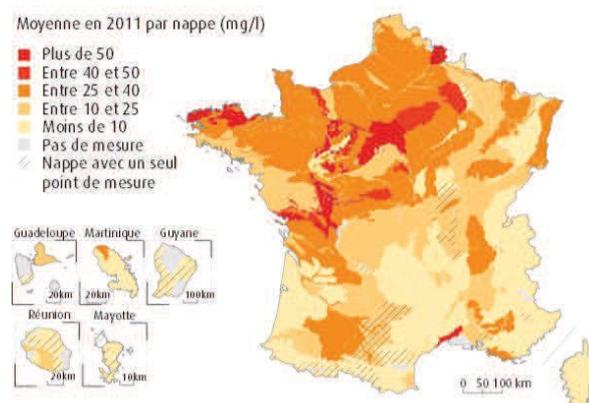


Figure 7 : Concentration moyenne en nitrates dans les nappes phréatiques en 2011. Agence de l'eau, Office de l'eau – BRGM, banque de données ADES, 2012

25 et 40 mg/L pour 27 % des nappes, et sont inférieures à 25 mg/L pour 58 % des nappes (Alpes, Massif Central), et 4 % des nappes étant sans mesure.

Au niveau des concentrations moyennes en nitrates, la France est donc loin d'être homogène. Une grande majorité de régions françaises d'élevage n'ont pas d'excédent d'azote préjudiciable à la qualité de l'eau.

b) Situation du département du Doubs

Concernant le cours d'eau de la Loue, les teneurs en nitrates sont en général inférieures à 10 mg/L. Selon le rapport d'expertise, les données de la station de potabilisation de Chenecey-Buillon de 1971 à 2006 montrent une augmentation graduelle des teneurs en nitrates dans la Loue. Cette station dispose de près de 500 mesures effectuées depuis 40 ans, elles proviennent du réseau Agence de l'Eau jusqu'à 2006 et du Conseil général pour les années suivantes. Cependant ces séries de données peuvent être biaisées par une fréquence de prélèvements très hétérogène. Certaines années disposent de peu de mesures ainsi l'interprétation des mesures est à faire avec prudence. De plus, les nitrates étant la forme de l'azote la plus soluble, ils sont entraînés dans la lame d'eau drainante en période d'alimentation des nappes phréatiques ou par infiltration et ruissellement vers les cours d'eau après une précipitation importante. Les teneurs en nitrates sont susceptibles de varier fortement selon la période de l'année où a été réalisée l'analyse et les quantités de précipitations tombées les jours qui précèdent la mesure. Ainsi la moyenne d'une année disposant trois ou quatre mesures n'a pas le même poids statistique qu'une année disposant de plusieurs dizaines de mesures. Au début des années 70, la concentration de nitrates dans la Loue à Chenecey-Buillon était de l'ordre de 2 mg/L, actuellement elle se situe autour de 7 mg/L. Pour la période de 1998 à 2010, on peut remarquer une stabilité des teneurs. Cette stabilité pourrait s'expliquer par les travaux de mise aux normes des bâtiments d'élevages (début 1993) et la sensibilisation du monde agricole vis-à-vis des pollutions des cours d'eau. Mayer et al., 2002 ont montré que les cours d'eau pouvant être considérés comme exempts de pollution en azote d'origine anthropique présentent des concentrations en nitrates inférieures à 2 mg/L. Une étude récente menée sur le bassin rivière d'Ain (Frossard et al., 2014) qui est une rivière où les connexions nappe/rievière sont particulièrement importantes, a montré l'apparition de blooms d'algues, malgré des concentrations en nitrates inférieures à celles de la Loue de l'ordre de 2,5 à 3,5 mg/L. Par ailleurs, il est intéressant de s'interroger sur la pertinence des référentiels choisis par l'Europe pour le classement des cours d'eau. Il est nécessaire de préciser que si l'on reprend le Système d'Evaluation de la Qualité de l'eau (SEQ-Eau) (référentiel précédent à la DCE) détaillé en tableau 3 la Loue serait classée aujourd'hui en qualité « médiocre » pour le paramètre nitrate (10mg/L SEQ Eau et 50 mg/L DCE). Cela vaut également pour d'autres paramètres utilisés pour évaluer la qualité des cours d'eau.

Tableau 3 : Comparatif des référentiels de mesure des taux de nitrates (NO₃) dans l'eau

	Grille 71 (bonne qualité)	SEQ Eau (bonne qualité)	Bon état DCE (limite inf. de la classe bonne)
BILAN DE L'OXYGENE			
Teneur en O2	5 mg/l	6 mg/l	6 mg/l
Taux de saturation O2	70%	70%	70%
DBO	5 mg/l	6 mg/l	6 mg/l
Carbone organique	-	7 mg/l	7 mg/l
NUTRIMENTS			
PO4	-	0,5 mg PO4/l	0,5 mg PO4/l
Phosphore total	-	0,2 mg P/l	0,2 mg P/l
NH4	0,5 mg/l	0,5 mg/l	0,5 mg/l
NO2	-	0,3 mg/l	0,3 mg/l
NO3	-	10 mg/l	50 mg/l

Selon des propos du bureau d'études Eaux-Continental, les autres formes de l'azote dans l'eau sont fortement pénalisantes (nitrites, ammonium, azote organique*) car fortement consommatrices de l'oxygène dissous de la rivière. L'azote

Kjeldahl (qui intègre l'azote organique), n'entre pas dans le référentiel de la DCE même s'il est analysé dans le cadre des réseaux officiels. Il ne peut donc pas être déclassant pour la qualité des cours d'eau. Or les apports en azote organique sont loin d'être négligeables pour la Loue et tendent à s'accumuler dans le fond de galet-graviers du cours d'eau. L'impact de cette accumulation pourrait s'observer sur la qualité de la faune invertébrée, la réussite du frai des poissons ou encore les développements d'algues. L'Agence de l'Eau a indiqué à plusieurs reprises la nécessité de définir des normes spécifiques en termes de qualité de l'eau pour les rivières karstiques. Cette nécessité peut se justifier par la vulnérabilité de celles-ci à l'enrichissement en nutriments du fait de la minéralisation et également par la facilitation des transferts directs des nutriments du bassin versant grâce au réseau hydrologique sous terrain.

1.2) Fertilisation azotée au cœur du phénomène de lixiviation

La problématique de la pollution azotée doit prendre en compte non seulement le cycle de l'azote mais également les cycles avec lesquels cet élément interagit, à savoir le cycle de l'eau, et le cycle du carbone.

a) Cycle de l'azote

Dans le sol, l'azote provient de différentes sources : la source atmosphérique (dioxyde d'azote N_2), la source organique (les bactéries qui dégradent les matières organiques libèrent l'azote sous des formes assimilables par les plantes), la source synthétique (l'azote des engrais azotés dérivant de la synthèse de l'ammoniac NH_3 , dans lequel N vient de l'air et H des hydrocarbures pétroliers). L'azote peut donc exister sous trois formes principales : l'azote organique qui constitue la principale forme de stockage dans un sol agricole, qui n'est pas directement utilisable par les plantes. L'azote ammoniacal est une forme transitoire résultant de l'ammonisation. Et l'azote nitrique (NO_3^-) très soluble dans l'eau, est la forme principale d'absorption de l'azote par les plantes. (Nicolardot et al., 1997 et CA Bas Rhin fertilisants, 2011) Dans le système sol-plante-atmosphère, le cycle de l'azote est constitué d'un grand nombre de processus de transformations et transferts de l'azote (la fixation, la minéralisation, l'immobilisation, la nitrification, et la dénitrification). La minéralisation est reconnue comme un processus important car, l'azote, sous sa forme minérale, est essentiel pour la croissance et le développement de la plante (Jarvis et al, 1996).

L'azote peut être apporté sous forme minérale (engrais) ou sous forme organique (effluents d'élevages ; déchets organiques). L'azote issu des engrais minéraux est directement assimilable. Par contre les plantes ne peuvent pas prélever la totalité de celui provenant d'effluents (lisier, fumier, purin, etc.) ou des déchets organiques (boue d'épuration, compost de déchets verts). En effet, seule une certaine proportion est sous forme minérale. L'autre partie est sous forme organique et nécessite une transformation par l'activité microbienne pour être transformée sous forme de nitrate donc utilisable plusieurs mois après l'épandage. Dans le cadre de cette étude, compte tenu des références et des pratiques agricoles, les coefficients de disponibilité de l'azote ont été estimés à 50% pour le lisier et le purin de bovins, 35% pour le fumier de bovins, 60% pour le lisier de porcs (données CIA 25/90). L'azote peut également être apporté naturellement dans le sol, en présence de légumineuses, par la fixation symbiotique. A l'inverse l'azote peut quitter le sol par volatilisation, par dénitrification, par absorption par les plantes, par ruissellement ou par lixiviation.

b) Pollution des eaux souterraines : pertes d'azote vers les aquifères

Les exportations des cultures, la lixiviation d'azote et les émissions gazeuses par nitrification, dénitrification et volatilisation sont les processus responsables des sorties d'azote dans l'agrosystème. Différents types d'écoulements peuvent contribuer à l'entraînement du nitrate hors de la zone de prélèvement des racines. Afin d'appréhender les différents phénomènes de pertes d'azote, il est essentiel de comprendre différentes notions.

➤ Notions de réserve utile et lame drainante

La réserve utile (RU) est la quantité d'eau qu'un sol peut retenir et restituer à la plante. La lame drainante est la quantité d'éléments minéraux perdus par lessivage qui dépend du volume percolant annuellement à travers le sol (Simon et Lecorre, 1992 ; Simon 1995). Celle-ci est très variable selon les contextes pédoclimatiques rencontrés puisqu'elle dépend entre autre des précipitations, de l'évapotranspiration et de la réserve utile. La caractérisation des éléments pédoclimatiques (nature des sols, pluviométrie, évapotranspiration) est importante à prendre en considération puisqu'elle conditionne la percolation des eaux dans le sous-sol karstique et influence la lixiviation des nitrates dans le sol.

➤ Le drainage

Le drainage correspond à l'infiltration verticale de la solution du sol vers la nappe. Au cours de l'année, les quantités moyennes d'eau drainée vont ainsi varier. Mais l'essentiel du drainage se produit généralement de la fin de l'automne jusqu'au printemps. Il débute à partir du moment où le sol est saturé en eau. Au cours de son infiltration au travers le sol et sous-sol, l'eau de drainage se charge en nitrate et se déplace progressivement en profondeur (Schvartz C., Muller J.C., Decroux J., Guide de la fertilisation raisonnée). Cette période de drainage hivernale est donc la phase au cours de laquelle s'opère une grande partie des pertes de nitrate (et de solutés) par lixiviation. Dès lors, plus le drainage est important, plus la proportion d'azote nitrique initiale (présente dans le sol au début de l'épisode de drainage) lixiviée est importante (à quantité d'azote nitrique dans le sol équivalente).

➤ Phénomène de lixiviation

La lixiviation constitue le principal phénomène responsable du transfert de l'azote du sol vers les aquifères, le ruissellement participant surtout dans le cas de culture sur des terrains en pente. La lixiviation représente l'entraînement d'éléments minéraux dissous dans l'eau du sol. Pour l'ion nitrate NO_3^- , très soluble dans l'eau, on parlera donc de lixiviation et non de lessivage, qui représente l'entraînement de particules (argile, matière organique, ...) (Farrugia et al., 1998). La lixiviation s'effectue lorsqu'il y a présence de nitrates dans le sol et une situation d'excès d'eau (Simon J.C., 1999). Ainsi, les pertes par lixiviation augmentent avec les précipitations (Long et Gracey, 1990). La lixiviation des nitrates est un processus physique naturel, qui peut être augmenté lorsque le cycle de l'azote est perturbé par certaines pratiques agricoles et certains changements d'occupation du territoire. De nombreuses études sur la lixiviation des ions nitrates ont été conduites à l'échelle d'une parcelle (Gaury et al., 1992 ; Hansen et al., 1996 ; Bruckler et al., 1997). Il en résulte que la lixiviation des ions nitrate est dépendante du système de culture (type de culture, rotations, fertilisation) et du contexte pédoclimatique.

c) Importance des conditions pédoclimatiques et géologiques rencontrés

Un même excédent d'azote peut conduire à des flux vers l'environnement très différents et finalement à des impacts variables en fonction des caractéristiques territoriales, notamment des caractéristiques pédologiques et climatiques ainsi que l'occupation des sols. Le climat conditionne notamment le drainage qui dépend de la pluviométrie et de la capacité de rétention d'eau du sol. La

faune microbienne du sol détermine l'intensité de nombreux processus tel que la minéralisation de l'azote et du carbone, la dénitrification et la fixation symbiotique. La figure 8 schématise l'importance des conditions pédo-climatiques et géologiques.

Les caractéristiques du sol 1) vont influencer les transferts d'eau et de solutés. La profondeur de sol a un impact évident puisque, moins un sol est profond, plus le risque de lixiviation pour une même lame d'eau drainante est important.

La texture du sol 2) a également un impact important sur le drainage. La texture du sol a une influence directe sur les taux d'humidité à la capacité au champ et au point de flétrissement (et par conséquent sur la réserve utile). En effet, les sols sableux présentent de faibles capacités de rétention en eau, ce qui implique de plus faibles RU. Et les sols à forte proportion de particules fines (limons et argiles) emmagasinent davantage d'eau ; en contrepartie, une grande partie de ces réserves en eau restent indisponibles pour les plantes. De même la texture va fortement influencer les concentrations en nitrate dans l'eau de drainage. Le contexte géologique du département du Doubs situé en milieu karstique 3) favorise l'infiltration de l'eau. Le temps de séjour de l'eau est très court ce qui empêche un effet auto-épuration et implique une très grande variabilité temporelle de la qualité de l'eau. Cependant la vulnérabilité du karst présente en contrepartie certains caractères intéressants.

2) Gestion azotée des prairies

Cette partie bibliographique se base principalement à partir d'exemples bretons. Il est important de signaler que le contexte breton est différent du contexte du Doubs en matière de climat et de pratiques agricoles cependant l'essentiel des données bibliographiques sont réalisées en Bretagne du fait de leur problématique nitrate. Dans ce rapport, un focus sur les prairies a été jugé utile étant donné la représentativité des prairies dans le Doubs (68 %) et dans le sous bassin versant de Plaisir Fontaine (74 %).

Les prairies se différencient des cultures annuelles par diverses caractéristiques et qui ont chacune une influence sur le cycle de l'azote. On peut citer par exemple un couvert végétal permanent ou encore un mode d'exploitation variée (pâturage, fauche). De plus, le stockage d'azote sous forme organique dans les sols limite les pertes durant la vie de la prairie, mais cette réserve va être en partie minéralisée lors de la destruction de la prairie pour la mise en culture (cas des prairies temporaires). Concernant la fertilisation, l'objectif de rendement pour

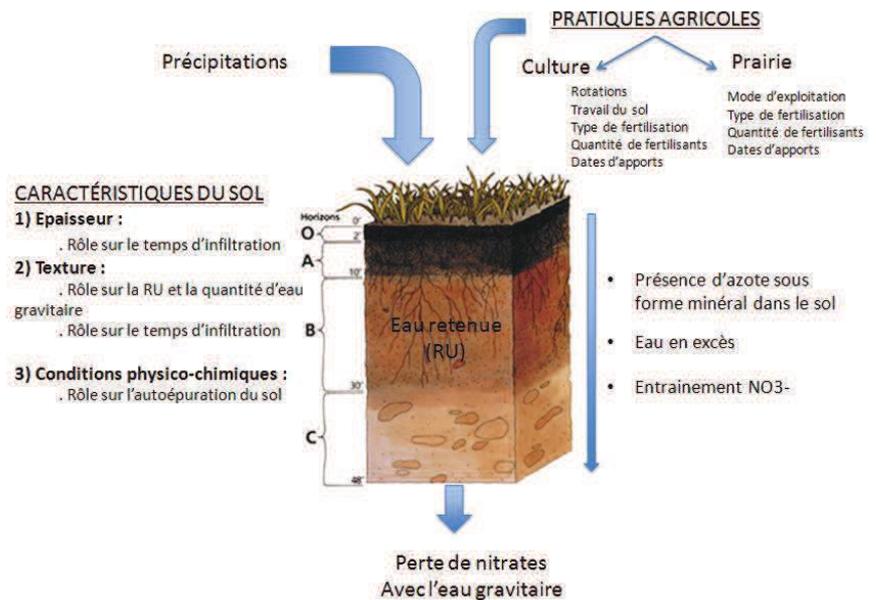


Figure 8 : Schématisation de l'importance des conditions pédo-climatiques et géologiques pour la lixiviation d'azote

les prairies dépendent autant des besoins en fourrage de l'exploitation que des potentialités agronomiques de la parcelle. La période d'apport joue également un rôle important pour les risques de pertes par lixiviation. (Guide de la fertilisation et de l'article azote 30 ans de référence.)

2.1) Fertilisation des prairies et fuites de nitrates

a) Effet de la conduite de la prairie sur la lixiviation de l'azote

L'effet de la fertilisation azotée sur les pertes d'azote par lessivage a été analysé sur de nombreux dispositifs, d'abord en conditions de fauche, puis en condition de pâture (Ryden *et al.*, 1984 ; Laurent *et al.*, 1995 ; Simon et Le Corre, 1996 ; Institut de l'Elevage, 1998). La fauche génère des pertes inférieures à la pâture. Un même niveau d'apport azoté minéral correspond à des quantités d'azote lessivées très variables.

La figure 9 présente une compilation de résultats reliant la fertilisation et l'azote perdu par lessivage, dans divers dispositifs expérimentaux européens pâturés ou fauchés, le plus souvent en régions à drainage hivernal élevé. On mesure de faibles pertes pour des apports de fertilisants azotés inférieurs à 200 kg N/ha/an, mais une très large variabilité de la lixiviation du nitrate pour des apports supérieurs à 250-300 kg N/ha. Cette dernière observation indique que le niveau de fertilisation n'explique pas complètement les fuites mesurées. Pour des doses très élevées (300 à 500 kg N/ha), les fuites peuvent dépasser 150 kg N/ha pour une prairie pâturée mais rester modérées pour une prairie de fauche. Pour une même dose d'azote, deux facteurs vont influencer très fortement le niveau de fuites : la répartition de la dose dans l'année et surtout la présence plus ou moins importante des animaux sur la parcelle et les déjections correspondantes. D'une manière générale, plus les apports d'azote sont concentrés durant la période de forte croissance de la prairie (de février à fin de printemps - début été selon les contextes climatiques), plus les fuites seront modérées, grâce à une valorisation maximale de l'azote apporté et donc à une meilleure production de la prairie. L'enquête 2011 à Plaisir Fontaine a montré que la fertilisation des prairies était de type extensive avec moins de 50 unités d'azote efficace toutes parcelles confondues.

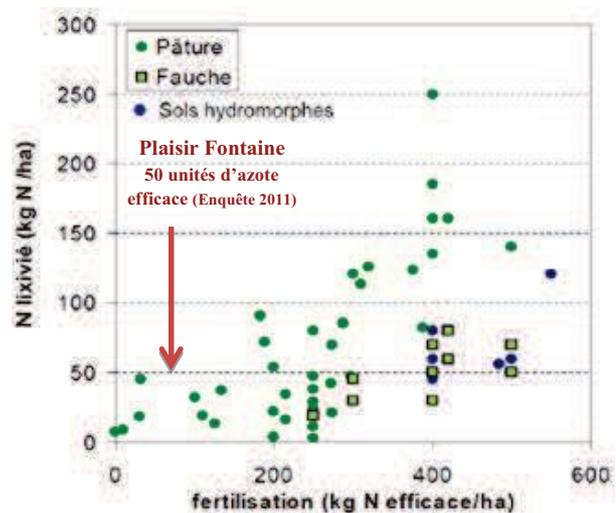


Figure 9 : D'après la Synthèse d'essais de fuites d'azote mesurées sous prairies fauchées et pâturées selon la fertilisation azotée apportée. D'après Vertès *et al.*, 2010, d'après Simon *et al.*, 1997, Laurent F., 1999, Le Gall A., 2000 Wachendorf M., 2004

- Prairie pâturée et lixiviation de l'azote

Pour les prairies pâturées, la présence d'animaux induit des flux d'azote nouveaux ou différents par rapport aux prairies fauchées. En effet, 80% de l'azote ingéré peut être restitué sur la parcelle majoritairement sous forme urinaire (Laurent *et al.*, 1999).

Les pertes par lixiviation mesurées sous prairies pâturées sont supérieures à celles observées sous prairies fauchées pour un même niveau de fertilisation (Simon, 1999 ; Laurent et al., 1999).

La figure 10 représente le lessivage de l'azote selon le niveau de fertilisation. Comparativement à la courbe de réponse observée en fauche, les pertes d'azote au pâturage apparaissent dans l'ensemble plus élevées. Elles demeurent modérées (moins de 40 kg d'azote par hectare et par an) pour un niveau de fertilisation azotée inférieur à 200 kg d'azote/ha/an. Elles atteignent en moyenne 60 kg d'azote/ha/an pour un apport de 200 kg d'azote/ha/an. Au-delà, elles ont tendance à augmenter fortement mais une grande diversité de réponses apparaît entre auteurs, ce qui met en évidence que le niveau de fertilisation azoté n'est pas le seul facteur explicatif du niveau de pertes de nitrate. (Simon., et al., 1997)

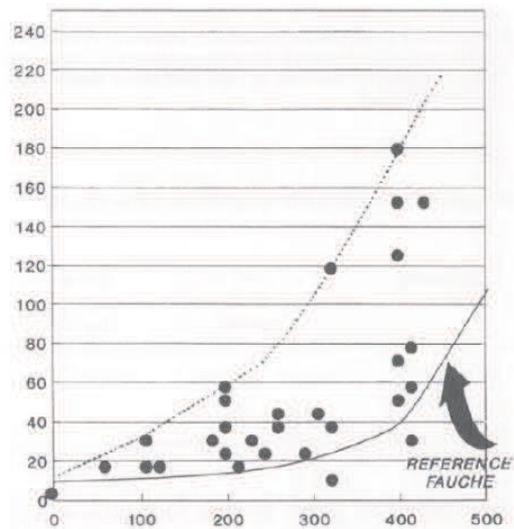


Figure 10 : Influence du niveau de fertilisation azotée sur les pertes d'azote nitrique par lessivage. Comparaison de la prairie fauchée et de la prairie pâturée en kg d'azote/ha/an, Simon et al., 1997.

- Lixiviation d'azote en prairie pâturée dépend du chargement

La figure 11 présente une compilation de résultats et illustre la relation de forme exponentielle trouvée avec le chargement animal exprimée en Unité Gros Bétail (UGB) x nombre de Jours Equivalent de Pâturage (JPE/ha/an). La lixiviation de nitrate reste faible ou modérée jusqu'à 450 à 550 UGB JPE/ha puis augmente rapidement pour atteindre des niveaux élevés, avec des pertes supérieures à 100-120 kg N/ha/an. Pour les prairies à vaches laitières, le niveau de chargement dans les systèmes en AOC se situe en moyenne à 280 UGB.JPE/ha. La réduction du nombre de jours de pâturage a un impact fort sur la réduction des fuites d'azote. Pour un même niveau de chargement de pâturage, il peut y avoir une forte variabilité de quantité d'azote lixivié, lié par des facteurs du milieu ou de conditions expérimentales, mais aussi par des facteurs de pratiques (fractionnement de la dose d'azote, l'adéquation de celle-ci au potentiel de pousse estivale et par un plus ou

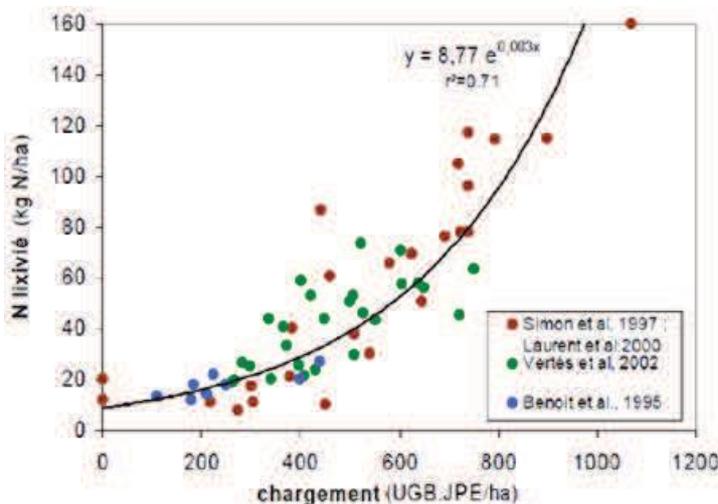


Figure 11 : Relation entre le nombre de journées de pâturage équivalent UGB et la quantité d'azote lixivié. Simon et al., 1997, Laurent et al., 2000, Vertès et al., 2002, Benoit et al., 1994.

Le nombre de jours de pâturage x UGB intègre la "part de fauche" et le niveau de fertilisation par le biais de la production d'herbe qui s'en suit. Chaque point est la moyenne de 3 à 6 mesures.

moins bon ajustement par les animaux et le potentiel de production lui-même). Les principales pratiques à risque sont celles qui déconnectent l'apport d'azote de la valorisation par le couvert lorsque les animaux restent au pâturage avec un complément fourrager extérieur, en restituant plus d'azote que l'herbe n'en avait absorbé. Les parcelles "parking"

proches de la salle de traite, qui présentent des chargements très élevés sont les sites les plus à risque de lixiviation de l'azote.

- Prairie fauchée et lixiviation de l'azote

A partir de plusieurs données expérimentales en conditions de fort drainage, la figure 12 met en relation le niveau annuel de fertilisation et les pertes par lixiviation pour les prairies fauchées (Simon., 1999). Les pertes sont modérées pour des apports inférieurs à 400 kg N/ha/an et augmentent rapidement au-delà. Cette dose de 400 kg N/ha/an correspond à la production maximale. Au-delà, la fertilisation est excédentaire, les pertes par lixiviation augmentent donc rapidement. Ces données permettent également d'observer un impact des périodes d'apport (données de Quimper). Pour une fertilisation inférieure ou égale à 200 kg N/ha/an, les pertes sont de moins de 10 kg N/ha/an sans apport après la dernière coupe d'automne. Avec un apport supplémentaire de 50 kg N/ha après la dernière coupe, elles passent à 20 kg N/ha/an. Pour une fertilisation de 400 kg N/ha/an, les pertes sont faibles (10 kg N/ha/an) pour des apports concentrés sur la période printemps été et plus importantes (60 kg N/ha/an) pour des apports étalés sur l'année.

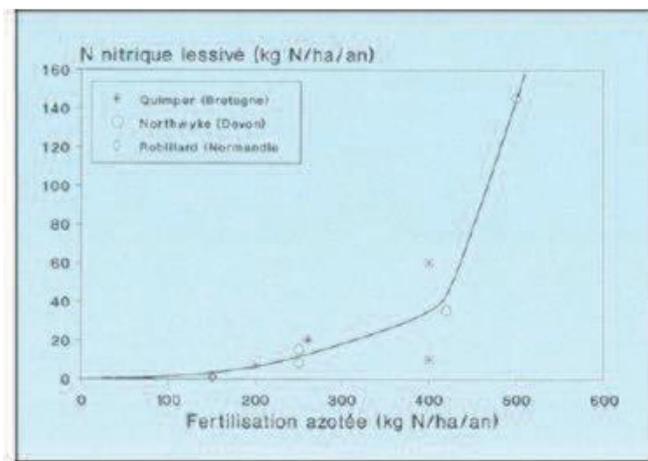


Figure 12 : Effet du niveau de fertilisation azotée sur les pertes d'azote nitrique en prairie fauchée. Simon, 1999.

b) Flux d'azote après retournement de prairies

Les agriculteurs procèdent au retournement de leur prairie temporaire lorsqu'une prairie baisse en rendement ou que les variétés implantées disparaissent au détriment des espèces fourragères moins recherchées. Le retournement et la réimplantation d'une prairie sont coûteux et entraînent un risque de lessivage d'azote important l'année suivant la destruction. Le climat, les propriétés du sol, l'assolement et la fumure sont des facteurs déterminants en ce qui concerne la lixiviation des nitrates. Il est reconnu que les cultures qui suivent un retournement de prairies atteignent de très bons rendements sans apport de fertilisation azotée. Le retournement des prairies pour leur renouvellement entraîne une libération importante de l'azote stocké (Civam, synthèse bibliographique 2010, Pourquoi comment réduire les risques azote liés au retournement des prairies ?).

La figure 13 représente les cinétiques de minéralisation nette de l'azote due à un retournement de prairie. La cinétique de minéralisation correspond à la vitesse de minéralisation de l'azote du sol exprimée en kg/N/jours. Selon Besnard et al., 2007, suite à un retournement de prairie, celle-ci est caractérisée par deux phases et varie beaucoup en fonction du mode de conduite de la prairie et surtout en fonction de la rotation choisie pour lui succéder.

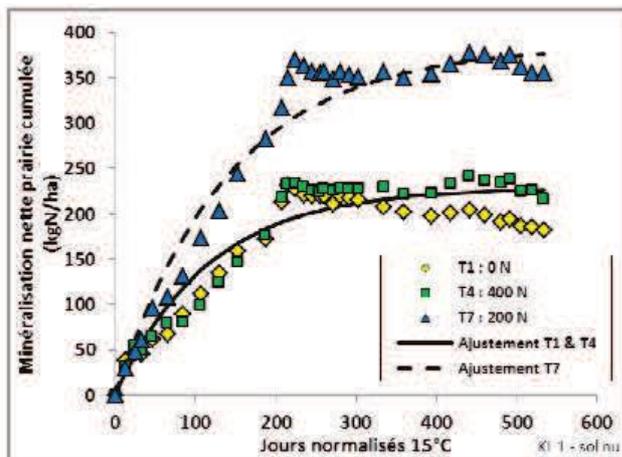


Figure 13 : Cinétiques de minéralisation nette de l'azote due à un retournement de prairie. Terra n° 327, Chambre d'Agriculture de Bretagne, Arvalis, Institut du végétal, Inra Agrocampus, 01/06/12

Les symboles du graphique représentent les mesures. Les courbes reproduisent les ajustements statistiquement sous forme exponentielle simple. Les différents traitements correspondent à des niveaux de fertilisation différents de la prairie (T1 : sans apport d'azote, T4 : apport de 400 kg N/ha, T7 : apport de 200 kg N/ha).

La variabilité de la quantité d'azote lixiviée est liée à des facteurs de milieu et également des facteurs de pratiques.

Différentes pratiques dites pratiques à risques vont engendrer des pertes plus importantes que d'autres. Le tableau 4 présente quelques exemples de lixiviation de référence sous cultures et prairies,

après prairies et sous quelques rotations fréquentes extraits du module N de Territ'eau (pour des sols sains de 80 cm de profondeur en contexte pluvieux).

Lame drainante > 400 mm	kg N/ha/an	Destruction prairie en février ou été-automne		
		Pr 2-3 ans	Pr 4-5 ans	Pr 6-10 ans
Prairies de fauche	5			
Céréale + cizan	13	65	110	136
Prairie pâturage extensif ou mixte (<300 UGB JPE/ha/an)	15			
Prairie : pâturage modéré (300 à 550 UGB JPE/ha/an*)	35	45	71	96
Maïs fourrage + cizan (semée entre 1/10 et 10/10)	51	62	88	120
Colza + céréale	53			
Pomme de terre + céréale	56			
Maïs grain + céréale	61	72	97	128
Maïs fourrage + cizan (semée après le 10 oct)	65			
Prairie : pâturage intensif (550 à 900 UGB JPE/ha/an)	65			
Maïs fourrage + céréale, ou maïs grain + sol nu	69			
Echalard-haricot + cizan	75			
Prairie "parking" (> 900 UGB JPE/ha/an)	100			

* chargement au pâturage exprimée en Unité Gros Bétail. Jour de pâturage équivalent par hectare et par an

Tableau 4 : Exemples de lixiviation de référence du module N de Territ'Eau. De la parcelle à la succession de cultures et au territoire : exemple de l'outil Territ'eau (module azote) Vertès F., Guiet., S, Morvan T., Gascuel-Oudoux C, 2012

Colonne 1 : lixiviation sous culture, colonne 2 à 4 : lixiviation après destruction d'une prairie

3) Les modèles scientifiques traitant de la problématique des pertes d'azote

3.1) Les différents modèles scientifiques

Au sein de leur territoire, les conseillers et praticiens ont connaissance des pratiques néfastes et celles à préconiser mais pas forcément les impacts des pratiques en termes de pertes d'azote ni même les interactions « pratiques – milieu ». Face à un besoin d'améliorer l'efficacité de l'azote dans les systèmes de cultures et devant la variabilité des pertes suivant les systèmes de culture, de sol et de climat, un besoin d'outils pour diagnostiquer les pertes d'azote s'est fait ressentir. Les acteurs ont donc utilisé des outils ou des variables simples (dose d'azote, nombre d'apports).

Pour quantifier les risques de pertes, l'approche la plus courante a été la méthode des bilans d'azote obtenus par différence entre les entrées et les sorties d'azote dans le système. Cette méthode a été utilisée et controversée par de nombreux acteurs. Ces méthodes dites statiques se basent sur la différence entre les entrées et les sorties du système, laissant apparaître des limites dans le cadre temporel. Ils permettent d'identifier de manière générale les exploitations à fortes pertes, ils ne prennent cependant pas compte des procédés de succession de culture ou de pratiques agricoles (cultures intermédiaires, retournement, ...). Depuis quelques années se sont développés des indicateurs plus complexes faisant des bilans d'azote sur l'azote minéral plutôt que l'azote total. L'indicateur IN de INDIGO (Bockstaller and Girardin, 2006 ; Bockstaller et al., 1997 ; Bockstaller et al., 2009) estime les pertes d'azote sous ses trois formes en restant à l'échelle annuelle (parcelle ou assolement). Un autre outil DEAC (Cariolle, 2001) aborde les pertes d'azote aux différentes échelles de la rotation comme de l'assolement mais seulement pour les fuites de nitrates.

L'approche Azopât pour les parcelles pâturées estime les flux d'azote sous prairies de fauche ou pâturée au moyen de coefficient, en prenant en compte l'absorption d'azote totale par le couvert en fonction de la production et les différentes sources d'azote et sources de pertes (Decau et al., 1997).

De très nombreux modèles existent, (Cannavo et al., 2008) ont rassemblé 62 modèles quantitatifs qui approchent les phénomènes en dynamique. C'est le cas de certains modèles comme STICS (Brisson et al., 2003) qui est un modèle de fonctionnement des cultures à pas de temps journalier simulant les conséquences des variations du milieu et du système de culture sur la production d'une parcelle agricole et sur l'environnement, AZODYN (Jeuffroy et al., 1999) rendant compte de façon journalière du fonctionnement de la culture à partir du reliquat d'azote minéral dans le sol à la sortie de l'hiver et simulant la date d'entrée en carence en azote de la culture, la mise en place des composantes du rendement en conditions optimale et suboptimale de nutrition azotée, ainsi que le reliquat d'azote minéral dans le sol à la récolte ou encore Volt'Air (Génermont et al., 1997) simulateur des pertes d'ammoniac.

Concernant les émissions en N_2O , plusieurs modèles ont été développés pour les systèmes de grandes cultures tel que NOE (Hénault et al., 2005) et de pâturage avec PaSIM (Vuichard et al., 2007). PaSIM simule à l'échelle d'une parcelle et au pas de temps horaire, les flux de carbone, d'azote et d'énergie à l'interface entre le sol, la végétation, les animaux et l'atmosphère. Ces modèles visent à prédire les processus décrivant les cycles biogéochimiques du carbone et de l'azote en lien avec les pratiques agricoles.

D'autres modèles sont plus statiques comme le logiciel de calcul de fertilisation azotée des cultures, AZOFERT (Dubrulle et al., 2004) Il est basé sur la méthode d'un bilan d'azote minéral complet. A partir d'une mesure du reliquat d'azote minéral, il permet de calculer la dose optimale d'engrais à apporter à une parcelle.

Concernant la problématique nitrates, des indicateurs mesurés sur le terrain sont également utilisés tels que la mesure de la teneur du sol en azote minéral (reliquats) et les mesures de concentration en nitrates grâce aux bougies poreuses. Plus récemment a été lancé par des équipes INRA avec les instituts techniques le développement d'un modèle Syst'N (Parnaudeau et al., 2012) utilisé dans le cadre de l'étude des pratiques agricoles du sous bassin versant de Plaisir Fontaine. Cet état des lieux des outils révèle que l'on dispose d'ores et déjà d'outils répondant en partie à des besoins concernant les nitrates. Cependant certains indicateurs restent sommaires et ne prennent pas en compte le sol et le climat qui sont des déterminants importants dans les phénomènes de pertes.

3.2) Le modèle scientifique Syst'N

Pour pallier aux besoins de modèles dynamiques et pratiques, l'INRA associé à huit instituts techniques agricoles a développé un outil d'évaluation des fuites d'azote vers l'environnement : Syst'N. Basé sur un modèle dynamique de simulation, le programme Syst'N calcule ainsi les flux d'azote dans le système sol-plante-atmosphère sur plusieurs années à partir de données d'entrée journalière, décrivant le climat, le sol et le système de culture. Le modèle Syst'N se veut être un regroupement des différents modèles spécifiques développés auparavant par l'INRA, conservant un niveau de complexité cohérent entre les différents modules et intégrant les connaissances récentes sur les flux d'azote (Parnaudeau V., Reau R., Dubrulle P., 2012). Avec un objectif affirmé de simplification, d'accessibilité et de polyvalence, le programme Syst'N intègre les modules suivants :

- AZOFERT pour la représentation de la minéralisation de la matière organique et des résidus de récolte.
- AZODYN reprenant l'absorption d'azote par les cultures.
- Le modèle NOE pour la simulation des flux de N_2O par dénitrification.
- Le concept Volt'air intégrant la volatilisation d'ammoniac aux champs.
- Les modules STICS et Lixim pour le bilan hydrique et la perte par lixiviation des nitrates.

Le modèle généré est un modèle à réservoir, constitué par les couches élémentaires du sol, caractérisées par la conductivité hydraulique à saturation et par l'humidité moyenne, au point de flétrissement et à saturation. Les transferts d'azote nitrique sont considérés comme parallèles aux flux hydriques. Les concentrations en azote nitrique sont alors calculées pour chaque couche de sol et reliées au flux d'eau sortant, permettant le calcul du taux de nitrate. L'outil permet d'évaluer les pertes d'azote (NO_3^- , NH_3 et N_2O) dans les systèmes de culture afin d'améliorer la gestion de l'azote. Cet outil prend en compte le milieu (sol, climat.), l'itinéraire technique incluant l'ensemble des opérations culturales sur la rotation et leur calendrier (semis, fertilisation, travail du sol, récolte, interculture...). Il fonctionne à l'échelle du système de culture, c'est-à-dire à l'échelle temporelle de la rotation culturale, et à l'échelle spatiale de la parcelle, ou de l'ilot de parcelles. Syst'N permet de décrire les dynamiques temporelles des émissions vers l'eau, d'estimer les pertes d'azote d'une ou plusieurs parcelles, de comparer plusieurs systèmes de culture ou plusieurs scénarios climatiques entre eux, ou bien plusieurs modes de conduite d'une parcelle donnée, ou l'effet de différents sols. La simulation se fait à partir de données saisies par l'utilisateur qui décrivent les pratiques culturales ainsi que le contexte pédoclimatique. L'échelle temporelle de l'outil est pluriannuelle afin d'intégrer les effets précédents de cultures et de leurs conduites sur l'état de la parcelle pour la culture suivante, leurs effets suivants et pour rendre compte de la dynamique des pertes au cours de la succession des cultures. Le simulateur estime les pertes jour après jour, mais celles-ci peuvent être visualisées à un pas de temps plus long pour en faciliter la lecture.

Après avoir testé la méthode des bilans et également les indicateurs de mesures de terrain, les reliquats sur le sous bassin versant de Plaisir Fontaine, la CIA 25/90 a jugé essentiel de raisonner sur une durée longue en intégrant la notion de système de culture, permettant une meilleure représentation de l'effet cumulatif des pratiques annuelles. Dans le même ordre d'idée, la nécessité de dépasser l'échelle parcellaire pour atteindre une analyse à échelle plus large comme le sous bassin versant de Plaisir Fontaine est devenue incontournable. Le choix du simulateur est donc justifié par sa polyvalence, regroupant plusieurs modèles élaborés par l'INRA. Il permet d'aborder directement les propriétés hydrauliques, végétales et pédologiques sans les séparer en plusieurs simulateurs. Toutefois,

cet outil n'est encore qu'au stade de prototype, en phase de test avec des partenaires du domaine agricole et de la gestion qualitative de l'eau.

3.3) Applications du modèle Syst'N

L'outil Syst'N est en cours d'expérimentation, pour cela plusieurs structures testent cet outil au sein de leur territoire et participent à améliorer sa fonctionnalité afin qu'il soit le plus opérationnel. Le prototype Syst'N a été présenté en Janvier 2012 aux journées du Réseau Mixte Thématique Fertilisation et Environnement. Différentes structures ont testé cet outil notamment la Chambre d'Agriculture de Bretagne et la Chambre d'Agriculture des Deux Sèvres et ont présenté leurs résultats lors de la réunion des utilisateurs du 20 Février 2014. Les premiers résultats présentés dans la partie a développe la comparaison entre les données du modèle Syst'N et les données mesurées par des lysimètres. En effet, afin d'apprécier la pertinence du modèle et sa validité, il est important de confronter les données du modèle à des données mesurées sur le terrain.

a) Estimation des pertes d'azote au niveau d'un captage Grenelle par la Chambre d'Agriculture des Deux Sèvres

Dans le cadre d'un captage Grenelle prioritaire, la Chambre d'Agriculture des Deux Sèvres a mis en application Syst'N sur des rotations de grandes cultures régionales. L'objectif premier était d'estimer les niveaux de perte en azote des systèmes de cultures et de comprendre à quelle période se produit ces pertes. Le second objectif était d'identifier les leviers d'action susceptibles de diminuer ces pertes et d'évaluer l'impact de nouvelles pratiques. Les rotations ont été simulées dans le modèle et les résultats de ces simulations ont été analysés et comparés avec les données mesurées et observées sur le terrain grâce à des lysimètres. Ces données ont été ensuite extrapolées à d'autres situations climatiques (au-delà de 5 ans). Une modélisation des changements des pratiques a pu être réalisée et extrapolée à l'ensemble du bassin versant.

Le paramétrage des sols est une phase très importante pour les simulations des pertes des systèmes de culture. Après le paramétrage du sol spécifique à partir d'observations locales, la figure 14 détaille les résultats de simulation de nitrate lixivié (en cumulé sur 20 ans) calculé par Syst'N sont très proches des mesures obtenues par la case lysimétrique.

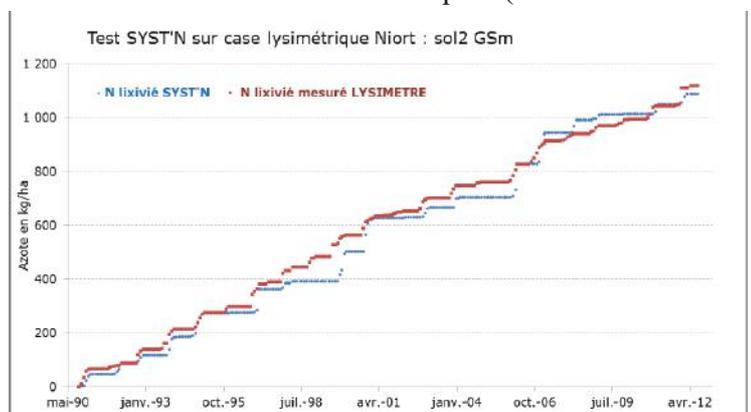


Figure 14 : Comparaison des données simulées par Syst'N et les données mesurées par lysimètre sur un même type de sol. Chambre d'Agriculture des Deux Sèvres. Présentation Power point 20 Février 2014

III. ESTIMATION DES FLUX D'AZOTE SUR LE SOUS BASSIN VERSANT DE PLAISIR FONTAINE

Cette partie dresse les résultats de cette étude. Une première partie est consacrée à présentation des pratiques agricoles ensuite une seconde partie développe une note de risque à la parcelle. Enfin la troisième partie est consacrée aux résultats calculés avec le modèle Syst'N.

1) Les pratiques agricoles réalisées sur le sous bassin versant de Plaisir Fontaine

1.1) Méthodologie

Le travail d'identification des pratiques agricoles s'inscrit dans la démarche plus globale d'évaluation des opérations collectives et dans l'acquisition de références. Ainsi sur le sous bassin versant de Plaisir Fontaine, le travail de diagnostic initial et la réalisation des enquêtes agricoles ont débuté en 2011. Ce travail a été poursuivi les années suivantes, ainsi les pratiques agricoles ont été renseignées pour trois campagnes agricoles (2010/2011, 2011/2012 et 2012/2013). Durant ce stage, les données de la campagne agricole 2012/2013 ont pu être collectées.

a) Identification des pratiques agricoles

- Elaboration du questionnaire

L'objectif initial était d'obtenir des informations précises sur les pratiques agricoles et notamment de caractériser les pratiques de fertilisation pour la campagne 2012/2013. Elaboré les années précédentes, le questionnaire a été repris et modifié selon les données utiles pour renseigner le modèle Syst'N le plus précisément possible. Le questionnaire regroupe une trentaine de questions qui sont des questions directives. Le questionnaire d'enquête s'intéresse principalement aux fertilisants, les autres interventions par exemple phytosanitaires n'ont pas été abordé. Le questionnaire s'est attaché à aborder :

- des questions générales visant à caractériser l'exploitation agricole (Unité de Travail Humain ((UTH), SAU, système de production) pour renseigner des éventuels changements par rapport aux années précédentes

- des questions précises sur les pratiques agricoles vis à vis du mode de conduite, de la fertilisation (produit épandu, dose...), date de fauche, nombre d'animaux, type de bâtiment d'élevage, localisation des dépôts de fumier. Le questionnaire est présenté en (*Annexe 7*).

- Phase d'enquête

Le sous bassin versant de Plaisir Fontaine comprend 22 exploitations agricoles (*Annexe 8*) qui disposent d'au moins une parcelle sur le sous bassin versant) sur une surface d'environ 520 hectares. La démarche d'enquête est une démarche exhaustive où le total des exploitants agricoles doit être interrogé. La phase d'enquête débute par le choix des exploitants à interroger. 5 exploitations agricoles disposent d'une parcelle et 17 disposent de plus d'une parcelle. Parmi les 17 exploitations agricoles, 30% des exploitations représentent la majorité de leurs surfaces soit 157,5 ha. Les agriculteurs disposant de plus d'une parcelle ont été contactés par téléphone pour un rendez-vous sur l'exploitation et les agriculteurs disposant d'une parcelle ou injoignable ont été contactés dans un premier temps par téléphone ou/et par courrier. Les rendez-vous ont été pris en fonction des disponibilités de chacun. Certains agriculteurs connaissant la démarche ont souhaité répondre par téléphone. Ainsi 12 agriculteurs ont été enquêtés sur rendez-vous, 6 ont répondu par téléphone et 3 par courrier. Les enquêtes ont été principalement réalisées de février à avril 2014. Ainsi, 21 exploitants pour un total de 22 exploitations agricoles ont été enquêtés. Deux exploitations agricoles ont refusé de participer à cette enquête. Le temps moyen durant l'enquête allait de 30 minutes à 2h selon le nombre de parcelles. Le questionnaire était accompagné d'un document cartographique afin de situer plus facilement les parcelles. Pour chaque parcelle, les agriculteurs indiquaient la fertilisation organique et minérale, la production des surfaces, le type d'animaux au pâturage, dates et durée de pâturage. Puis des questions d'ordre général sur

leur exploitation agricole (les projets à venir de type construction de bâtiment, nouvel associé) terminaient l'enquête.

b) Traitement des données

Les données obtenues lors de la phase d'enquête ont été enregistrées et complétées dans une base de données Excel. Les nouvelles données ont été également renseignées dans un fichier cartographique de forme SIG.

1.2) Résultats des enquêtes agricoles

a) Les surfaces enquêtées

Pour la campagne agricole 2012/2013, la surface enquêtée représente 499,53 ha dont 383,27 ha de prairies et 116,26 ha de cultures. A noter qu'il faut rajouter à ces surfaces 16,92 ha non enquêtés (un agriculteur qui n'a pas souhaité répondre au questionnaire). Ainsi le traitement des données de ces pratiques agricoles se base sur les données enquêtées étant donné que les données manquantes (non enquêtées) ont été exclues des calculs.

b) Les exploitations agricoles

Le sous bassin versant de Plaisir Fontaine comprend 21 exploitations agricoles et 1 agriculteur à la retraite qui a gardé ses terres, sur ces 21 exploitations, 19 exploitations produisent du lait dont deux se diversifient avec un troupeau de bovin allaitant et pour la seconde la production de lait de jument. Il y a une exploitation uniquement céréalière, une exploitation d'élevage ovin et une avec un élevage de génisses suite à l'arrêt de la production de lait tout en travaillant en dehors de l'exploitation (passage en double actif).

Il existe une variabilité entre les exploitations en terme de surface (37, 33 à 252 ha), de forme juridique (Groupement Agricole d'Exploitation en Commun (GAEC), individuelle ou Exploitation Agricole à Responsabilité Limitée (EARL)), du nombre d'animaux ou encore de quota laitier.

c) L'occupation du sol

En 2013, la majorité de la SAU du sous bassin versant est couverte par des prairies temporaires (34 %) et par des prairies permanentes (44 %) comme le montre la figure 15. L'altitude modérée et la présence de sols relativement profonds permet davantage l'implantation de culture que dans la partie amont du bassin versant de la Loue. Parmi les espèces cultivées, on retrouve en majorité le blé d'hiver, l'orge d'hiver ou encore le triticale. Le seigle et l'avoine sont des cultures peu représentées et exceptionnelles sur le sous bassin. La cartographie de l'occupation du sol pour les parcelles enquêtées est représentée en (Annexe 9) D'après le tableau 5, la part des prairies est quasi constante pour l'ensemble des campagnes agricoles. Le blé d'hiver, l'orge d'hiver, le triticale ainsi que le colza et le maïs sont des cultures présentes également les trois années.

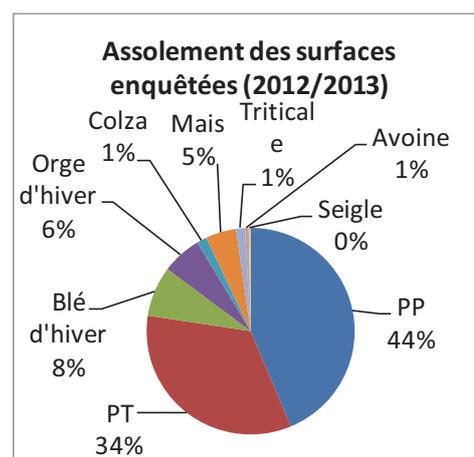


Figure 15 : Assolement des surfaces enquêtées pour la campagne agricole 2012/2013 exprimé en pourcentage

	Prairies	Blé d'hiver	Blé de printemps	Orge d'hiver	Orge de printemps	Colza	Mais ensilage	Betterave	Triticale	Avoine	Seigle	Non renseigné
Surface en 2011 (ha)	386	25,2	0,9	66,32	2	4,52	7,63	0,82	22,99	5,6	0	0
Surface en 2012 (ha)	386,06	26,09	0	48,18	0	18,27	10,92	0	27,72	3,5	0	0
Surface en 2013 (ha)	389,85	39,57	0	31,07	0	7,73	24,02	0	6,87	3	1,5	16,92

Tableau 5 : Répartition des surfaces enquêtées par type de culture pour les années 2011-2012-2013 exprimé en hectare

d) Les pratiques de fertilisation minérale et organique réalisées sur le sous bassin versant de Plaisir Fontaine

Les données récoltées des enquêtes sont valorisées dans cette synthèse des pratiques et permettent d'avoir une vision globale des pratiques en matière de fertilisation réalisées sur le sous bassin versant Plaisir Fontaine. De plus, elles permettent de comparer avec les données issues de Syst'N. Les résultats sont basés sur des données agronomiques recueillis par les agriculteurs. Ils peuvent être source d'imprécision. En effet, certains agriculteurs ne notent pas tous les apports qu'ils réalisent et les données renseignées peuvent être approximatives et/ou incomplètes. Une terminologie des différents termes employés est détaillée dans le glossaire.

- Apports moyens et totaux sur le sous bassin versant

Les résultats ci-dessous présentent de manière globale les apports d'origine agricole en azote, phosphore et potasse sur trois campagnes agricoles (d'août 2010 à juillet 2011, août 2011 à juillet 2012 et août 2012 à juillet 2013).

Le tableau 6 montre les doses moyennes par hectare et par an pour les prairies et les cultures et de manière générale pour trois années de mesures. Concernant les apports minéraux, les quantités moyennes totales d'azote apportées sur les parcelles varient selon le couvert en place. Pour les prairies il a été apporté pour la campagne 2010/2011, 71 kg d'azote/ha dont 36 kg d'azote minéral. Pour la campagne 2011/2012, on a 57 kg/ha dont 30 kg provenant d'engrais. Et pour la campagne 2012/2013, il a été apporté 69 kg d'azote/ha dont 43 kg d'azote minéral. Ces valeurs sont largement en dessous des limites fixées par le cahier des charges de l'AOP Comté et des contrats PHAE. Cela peut s'expliquer par le fait qu'il y a de nombreuses parcelles qui n'ont pas reçu ou très peu de fertilisants ce qui fait baisser la moyenne. Pour certains exploitants, les parcelles qu'ils possèdent sur le bassin versant sont éloignées et par conséquent ne reçoivent que très peu d'apport. Ensuite avec le prix élevé des engrais, les agriculteurs réalisent moins d'apports minéraux. Enfin, on rappelle que les agriculteurs possèdent des parcelles en dehors du bassin versant sur lesquelles les apports notamment d'effluents sont aussi réalisés. Pour les cultures, les quantités sont beaucoup plus importantes, on note, pour la campagne 2010/2011, 171 kg d'azote/ha dont 120 kg provenant des engrais, et pour la campagne 2011/2012, 162 kg/ha dont 128 kg d'azote minéral. Pour la campagne 2012/2013, il a été apporté 226 kg d'azote/ha dont 136 kg/ha d'azote minéral. N.B : rappel des plafonds PHAE (pour les parcelles sous contrat) : fertilisation maximale totale autorisée par parcelle engagée en kg/ha : 125 N, 90 P₂O₅, 160 K₂O, dont en engrais de synthèse minéral : 60 N, 60 P₂O₅, 60 K₂O.

Tableau 6 : Doses moyennes en azote, phosphore et potasse minéral et organique en kg/ha par type de couvert pour les trois campagnes agricoles

Doses moyennes par ha en kg/ha	Prairies			Cultures			Total		
	Campa 10/11	Campa 11/12	Campa 12/13	Campa 10/11	Campa 11/12	Campa 12/13	Campa 10/11	Campa 11/12	Campa 12/13
N min	36	30	43	120	128	136	58	55	64
N orga total	35	27	26	51	34	90	39	29	41
dont N orga dipo	13	10	11	21	13	34	15	11	17
N total	71	57	69	171	162	226	97	84	105
N min + N orga dispo	49	40	54	141	141	170	73	66	81
P ₂ O ₅ min*	21	16	32	30	34	27	23	21	31
P ₂ O ₅ orga*	32	25	27	31	18	40	31	23	30
P₂O₅ total	53	41	59	61	52	67	55	44	61
K ₂ O min*	16	11	23	33	26	15	20	15	21
K ₂ O orga*	73	54	67	63	45	78	70	52	70
K₂O total	89	65	90	96	71	93	91	67	91

Tableau 7 : Apports totaux en azote, phosphore et potasse minéral et organique en kg par type de couvert pour les trois campagnes agricoles

Apports totaux sur le bassin versant en kg	Prairies			Cultures			Total		
	Campa 10/11	Campa 11/12	Campa 12/13	Campa 10/11	Campa 11/12	Campa 12/13	Campa 10/11	Campa 11/12	Campa 12/13
N min	13724	11665	16671	16664	17105	15526	30387	28770	32197
N orga total	13263	10447	10298	7114	4638	10252	20376	15085	20550
N total	26986	22112	26969	23777	21743	25778	50764	43854	52747
P ₂ O ₅ min	8118	6113	12580	4146	4638	3065	12664	10751	15645
P ₂ O ₅ orga	12166	9511	10608	4275	2488	4591	16441	11999	15199
P₂O₅ total	20285	15624	23188	8421	7125	7656	29106	22749	30844
K ₂ O min	6155	4410	8965	4520	3528	1669	10675	7938	10635
K ₂ O orga	28071	20811	26172	8664	6042	8877	36735	26853	35049
K₂O total	34226	25221	35138	13184	9571	10546	47410	34791	45684

Selon le tableau 7, pour la campagne 2012/2013, environ 52 750 unités d'azote d'origine agricole ont été épandues sur le bassin versant de Plaisir Fontaine.

Les apports organiques correspondent aux effluents d'élevage épandus sur les parcelles du bassin versant. Ils sont détaillés dans les tableaux ci-dessous. Chaque année une campagne d'analyse d'effluents a été proposée aux agriculteurs enquêtés afin d'établir plus précisément les quantités de fertilisant apportés lors des épandages. La synthèse des résultats d'analyses d'effluents figure en (*Annexe 10*). Pour les effluents qui ne présentent pas d'analyses, les teneurs départementales détaillées dans le tableau 8 ont été utilisées.

	Teneur N	Teneur P	Teneur K
Fumier bovins	5,2	3,0	6,4
Lisier bovins	2,5	1,1	3,4
Purin	1,0	0,2	2,9
Lisier de porc*	2,7	1,19	3,58

Tableau 8 : Teneurs départementales des effluents d'élevage

*Pour le lisier de porc, la teneur en azote utilisée pour les calculs est de 2.7 u N/m³. Ces valeurs font référence à une moyenne des valeurs de campagnes d'analyse de lisier de porcs réalisées par la structure Porc Franche Comté et qui concerne le lisier de porc post sevrer engraisseur ou engraisseur avec une alimentation au lactosérum à 2 % de Matière sèche.

- Epandages d'effluents organiques sur le bassin versant

Les différents apports agricoles par décade ont été examinés pour les trois campagnes agricoles. L'ensemble des résultats figurent en (*Annexe 11*). Ce tableau récapitule l'ensemble

des apports minéraux et organiques par décade sur l'ensemble des parcelles et sur les trois campagnes agricoles.

Le tableau 9 montre de manière générale et pour les trois campagnes agricoles la dose moyenne, la surface épandue ainsi que la quantité totale pour chaque effluent organique.

	Campagne 2010/2011					Campagne 2011/2012					Campagne 2012/2013				
	Boues	Fumier	Lisier	Purin	Total	Boues	Fumier	Lisier	Purin	Total	Boues	Fumier	Lisier	Purin	Total
Nombre de parcelles	3	87	8	20	118	1	59	4	7	71	1	63	13	8	85
Dose moyenne	12,5	15	21,6	20,4	-	10	14	11,25	30,2	-	18	17,8	16	36	-
Surface épandue	11,43	202,83	26,6	53,17	294,03	8,59	191,39	4,86	19,32	224,16	9,18	167,93	13,1	17,21	207,42
Quantité totale en tonnes ou m ³	138	3071	547,95	1332	5089	85,9	2806,8	71,5	639,3	3603,5	165,24	3033	312	624	4134,2
N orga	1788,2	15348	2298,8	941,64	20376	1116,7	13252	286	430,15	15085	2148,1	17218	780	404,22	20550
N orga dispo	894,08	5371,7	1188,6	470,82	7925,2	558,35	4638,1	143	215,08	5554,6	1074,1	6765,5	406,12	261,01	8506,6
P orga	687,75	13797	1679,5	277,55	16441	429,5	11230	214,5	125,06	11999	826,2	13877	371,96	124,56	15199
K orga	206,33	31044	2811,1	2673,7	36735	128,85	25197	357,5	1170,4	26853	247,86	32800	1012,8	988,98	35049

Tableau 9 : Dose moyenne en azote (en kg), Surface épandue (en ha) et quantité totale (en tonne ou m³) par catégorie d'effluent organique pour les trois campagnes agricoles

Concernant la campagne 2012/2013, 85 parcelles soit 207,42 ha ont reçu un effluent d'élevage soit 41 % des surfaces agricoles du bassin versant pour un total d'environ 4134,2 T ou m³ de produit brut.

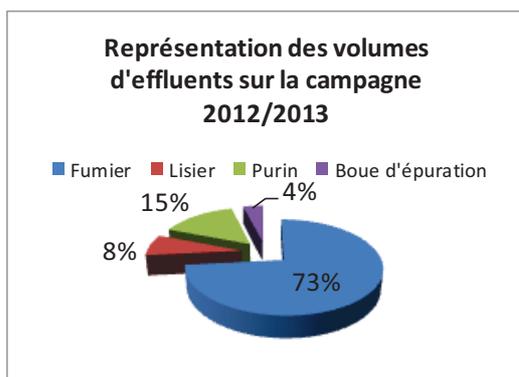
- Volumes d'effluents épandus sur le sous bassin versant

	Campagne 2010/2011					Campagne 2011/2012					Campagne 2012/2013				
	Boues	Fumier	Lisier	Purin	Total	Boues	Fumier	Lisier	Purin	Total	Boues	Fumier	Lisier	Purin	Total
Prairie permanente	-	1149	16	165	1330	-	890	18	7	915	-	865	60	95	1020
Prairie temporaire	-	1083	300	967	2350	-	1098	54	632	1783	-	944	206	529	1679
Céréales d'hiver	116	454	207	-	777	86	455	-	-	541	165	385	46	-	596
Céréales de printemps	-	177	-	-	177	-	-	-	-	0	-	-	-	-	0
Mais	21	198	-	200	419	-	301	-	-	301	-	839	-	-	839
Betterave	-	10	25	-	35	-	-	-	-	0	-	-	-	-	0
Total	137	3071	548	1332	5088	86	2807	72	639	3604	165	3033	312	624	4134
en % du total	2,69	60,36	10,77	26,18	100,00	2,38	77,89	1,98	17,74	100,00	4,00	73,36	7,55	15,09	100,00

Tableau 10 : Volumes des effluents organiques en tonne ou m³ par type de couvert pour les trois campagnes agricoles

Le tableau 10 montre par campagne agricole en volume d'effluents la nature des fertilisants en fonction du type de couvert. On peut remarquer sur les trois années de mesure que les boues d'épuration sont épandues essentiellement sur céréales d'hiver ou maïs. Les effluents liquides (lisier et purin) sont en général le plus fréquemment épandus sur les prairies.

On peut également remarquer que le fumier est en volume l'effluent le plus représenté suivi des purins puis des lisiers et des boues pour les trois campagnes agricoles. D'après la figure 16 représentant en pourcentage les volumes des effluents pour la campagne 2012/2013, le

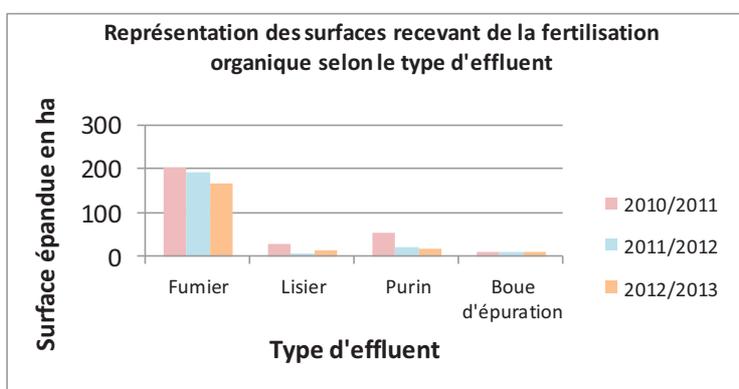


fumier est en volume l'effluent le plus représenté (73 % du total), suivi des purins (15 %), puis des lisiers (8 %) et des boues (4 %).

Figure 16 : Représentation des volumes d'effluents en pourcentage pour la campagne 2012/2013

- Les surfaces épandues

D'après la figure 17, de manière générale pour l'ensemble des campagnes agricoles enquêtées, le fumier représente l'effluent le plus épandu en termes de surface en hectare. De

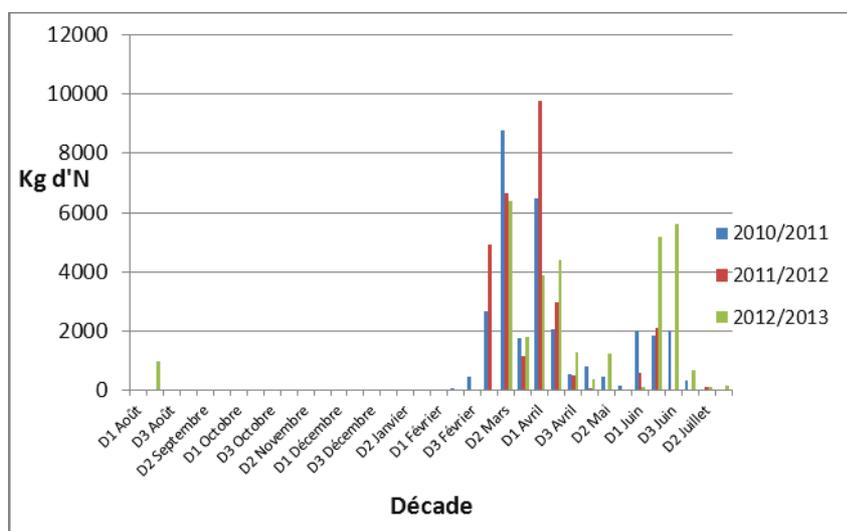


plus, les surfaces en prairies constituent les parcelles où la fertilisation organique est la plus fréquente. Pour la campagne 2012/2013, en surface, le fumier représente près de 81 % des épandages, suivi des purins et lisiers (15 %). En termes de répartition, 40 % des prairies ont reçu un apport d'effluent et 46 % des cultures.

Figure 17: Représentation des surfaces en hectare recevant de la fertilisation organique selon le type d'effluent pour les trois campagnes agricoles

- La fertilisation minérale

La figure 18 représente les apports d'engrais minéraux par décade pour les trois campagnes enquêtées. Elle montre que ces apports se situent surtout au printemps (du 1^{er} mars au 20 avril) où les couverts (prairies et cultures) ont le plus besoin d'azote. Une seconde période d'apport est remarquable du 1^{er} juin au 30 juin qui s'explique par la fertilisation apportée avant le regain. On peut observer quelques apports minéraux à partir du 10 août pour



la campagne agricole correspondant à des apports précédents la troisième coupe de foin. Les conditions climatiques en sortie d'hiver expliquent en grande partie la variation, entre les années, des dates d'épandage (sol gelé, présence de neige, température, pluviométrie).

Figure 18 : Comparaison des apports d'azote minéral sur les trois campagnes agricoles, pour les prairies et les cultures

- La fertilisation organique

La figure 19 présente les apports d'azote organique disponible par les effluents pour les trois campagnes agricoles. Pour l'ensemble des campagnes agricoles, on remarque que les effluents ont été apportés surtout à l'automne entre le 10 septembre et le 10 novembre et ensuite au printemps du 1^{er} février à début avril. Concernant la campagne 2011/2012, les épandages sont surtout situés en août, en faible quantité à l'automne et début mars. Il faut également noter que des apports ont été réalisés au mois de janvier pour les trois campagnes. Pour les cultures, les apports d'azote organique disponible sont remarquables à deux périodes une à l'automne et une autre au printemps. Ils correspondent à des apports de fumier avant l'implantation d'un maïs qui concerne essentiellement une exploitation agricole avec des surfaces importantes en maïs. Concernant les prairies, la période se situe du 10 octobre au 10 novembre, cette période correspond notamment à l'épandage de fumier. Cette période est une période conseillée d'épandage du fumier. Une seconde période est observable démarrante à partir du 1^{er} février au 01 avril. Elle concerne l'épandage du fumier et des effluents liquides.

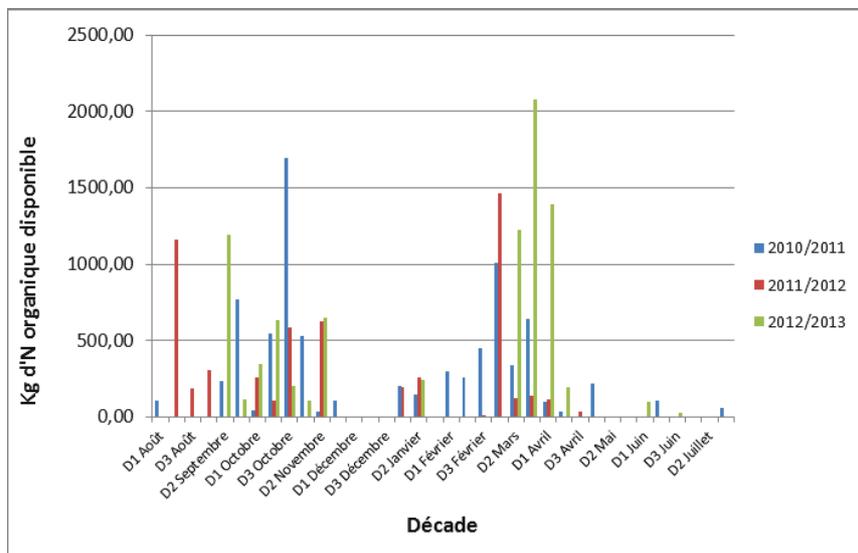


Figure 19 : Comparaison des apports d'azote organique disponible sur les trois campagnes agricoles, pour les prairies et les cultures

Les variations entre les campagnes ne peuvent être expliquées seulement par les changements climatiques interannuels. En effet d'autres facteurs entrent en jeu comme le fait que les exploitants possèdent des parcelles en dehors du bassin versant et qui ont pu accueillir des quantités d'effluents variables selon les années. Un autre facteur de variation est la

capacité de stockage des effluents qui peut obliger les agriculteurs à épandre à certains moments comme en hiver. Cependant les épandages sont davantage réalisés en sortie d'hiver et à l'inverse ceux effectués pendant l'hiver sont moins fréquents que dans le passé. En effet la démarche de mise aux « normes PMBE » a permis à plus d'agriculteurs de stocker plus longtemps leurs effluents.

2) Notes de risques à la parcelle

2.1) Elaboration d'une méthode d'évaluation des risques à la parcelle

A partir des données recueillies en 2011, 2012 et 2013 sur le sous bassin versant Plaisir Fontaine, une note de risque à la parcelle permettant de visualiser sur un bassin versant présentant un risque de lessivage des nitrates a été élaborée. Dans la même optique de la note « nitrate » développée par la méthode Territ'eau, cette évaluation repose sur la combinaison de trois notes aboutissant à une note globale jugeant le risque sur une parcelle. Ces notes de risques se basent sur des références agronomiques générales et des données propres à la zone d'étude. Elles se basent selon le contexte local de la zone d'étude soit les conditions climatiques locales et l'altitude. En effet elles se basent sur le seuil des 200 °C jours. Ce seuil correspond à la somme des températures atteint à 200 degrés jours base 0 depuis le 1^{er} janvier.

Ainsi les dates de début et fin de période d'épandage changent tous les ans. La zone d'étude correspond à la période de 1^{er} plateau. Elle est présentée en (*Annexe 12*).

a) La note 1 : Gestion des effluents d'élevage

Cette note évalue la gestion des effluents d'élevage effectuée par les agriculteurs en lien avec le risque de pollution. Elle est attribuée selon plusieurs facteurs : la sensibilité du milieu, l'effluent épandu, la date d'épandage et les dépôts de fumier. Pour les effluents liquides, une période a été définie selon le seuil des 200°C – 7 jours.

Exemple : Une parcelle en prairie a reçu un apport de lisier le 15 janvier sur un sol superficiel. La période d'apport correspond à la période non favorable débutant le 25/03/2013. Etant sur un sol superficiel la parcelle obtient la note de 9 sur 12.

b) La note 2 : Raisonnement de la fertilisation azotée

La note 2 a pour but de faire ressortir les erreurs de fertilisation des agriculteurs par rapport aux apports destinés à la croissance des cultures. Elle est accordée selon la différence entre les apports réalisés au printemps par l'agriculteur (azote minéral + partie disponible de l'azote provenant des effluents d'élevage) et une dose conseillée à dire d'expert, associée à la culture et aux rendements. Dans la note il est également pris en compte si le fractionnement des apports est optimal ou non c'est à dire si les apports ont été réalisés au moment où la culture en avait besoin. Des fractionnements optimaux indicatifs par culture ont été établis par des conseillers. La note de la parcelle est attribuée, à partir du résultat de la différence entre les apports réalisés et la dose conseil et le fractionnement. Pour chaque type de culture et selon l'objectif de rendement de l'agriculteur des doses conseillées ont été renseignées. Exemple : Une parcelle en maïs ensilage en 2013 a reçu un apport de fumier le 10/03 de l'ordre de 114,8 kg d'azote organique disponible et un apport d'azote minéral à hauteur de 138 kg le 25/06. La dose agriculteur représente 252,8 kg/N/ha. Cela correspond donc à un fractionnement non optimal sachant que plus de 100 kg d'azote/ha ont été apporté en un passage et que plus de 50 kg/ha ont été apporté avant le 15 avril. Pour un maïs ensilage avec un objectif de rendement de 14 t/Matière Sèche (MS), la dose conseil est de 120 kg/ha. Ainsi la dose agriculteur est supérieure à la dose conseil + 50 et obtient donc une note de 12/12.

c) La note 3 : Occupation du sol et rotation

Cette note a pour but d'estimer le risque de lessivage en hiver en fonction du couvert de la parcelle pendant l'hiver. La note 3 dépend aussi de l'effet retournement de prairie qui est une pratique à risque rencontrée sur le bassin versant. En effet, une grande quantité d'azote est libérée dans le sol, de manière très importante l'année qui suit et ce phénomène se poursuit les années suivantes mais avec des retombés d'azote de plus en plus faibles. Les nitrates vont potentiellement être entraînés dans le sous-sol, par de fortes pluies ou par le drainage hivernal, et provoquer une pollution des eaux. Donc le principe est d'augmenter la note de manière très importante si une prairie a été retournée il y a moins d'un an sur la parcelle. Puisque que c'est un effet qui dure plusieurs années, la note est aussi relevée si une prairie a été retournée il y a deux ou trois et supérieur à trois ans. Exemple : Une parcelle qui correspond à une culture de blé en 2013, sans interculture et où une prairie a été retournée depuis moins d'un an. Ainsi elle obtiendra la note de 12/12.

d) La note globale parcellaire

La note globale de risque à la parcelle est l'addition des trois notes précédentes obtenues. La note maximale est donc 36 étant donné que les trois notes maximales ont des poids équivalents de 12 chacune. Une codification couleur a été mise en place présentant 5 classes de risque : très faible ([0 ;7]) ; faible ([7 ;14]) ; moyen ([14 ;21]) ; élevé ([21 ;28]) et très élevé ([28 ;36]). La note globale permet ainsi de déterminer selon les différents facteurs énoncés précédemment, les parcelles qui possèdent un risque potentiel de pollution par les nitrates et de les localiser sur le bassin versant grâce à la carte couleur. La méthode ainsi proposée a le mérite d'être adaptée au contexte spécifique du bassin versant de la Loue. Elle est assez simple et permet de donner une note de risque à la parcelle en combinant plusieurs facteurs (sensibilité du milieu, gestion des effluents d'élevage, raisonnement de la fertilisation) au travers de trois notes.

2.2) Application de la méthode en 2011, 2012 et 2013

a) La note 1 : Gestion des effluents d'élevage

Les notes des différentes parcelles du bassin versant ont été regroupées dans trois intervalles correspondant à trois niveaux de risque : faible ([0;3]), moyen ([3 ;9]) et élevé ([9 ;12]). Les résultats obtenus en 2011, 2012 et 2013 sont présentés dans les tableaux 11, 12 et 13. Les cartes en (*Annexe 13*) permettent de localiser les parcelles sur le bassin versant pour chaque année.

Tableau 11 : Note Epannage obtenus sur le bassin versant Plaisir Fontaine en 2011

Risque	Faible	Moyen	Elevé
Nombre de parcelles	172	12	9
% de la SAU	89 %	6 %	6 %

Tableau 12 : Note Epannage obtenus sur le bassin versant Plaisir Fontaine en 2012

Risque	Faible	Moyen	Elevé
Nombre de parcelles	178	10	5
% de la SAU	91 %	6 %	4 %

Tableau 13 : Note Epannage obtenus sur le bassin versant Plaisir Fontaine en 2013

Risque	Faible	Moyen	Elevé	Non disponible
Nombre de parcelles	168	14	2	9
% de la SAU	88 %	6%	1 %	5 %

On constate, pour les trois années, que la grande majorité des parcelles ont un risque faible de pollution par les nitrates (compris en 0 et 3) par rapport aux épandages d'effluent. Ensuite on compte 21 parcelles en 2011, 16 en 2012 et 2013 qui ont un risque moyen ou élevé.

La note a permis de mettre en évidence plusieurs pratiques réalisées sur le bassin versant Plaisir Fontaine et considérées comme les plus à risque. On retrouve les mêmes pratiques avec les notes de 2011 et de 2012, seul le nombre de parcelles concernées change. La première pratique est le dépôt de fumier sur des sols très superficiels ou à proximité des dolines (9 parcelles pour l'année 2013). La seconde pratique est l'épandage d'effluent liquide en période non poussante (7 parcelles en 2013). On remarque que l'effluent épandu responsable de ces notes élevées est principalement le purin. Il faut rappeler que le purin possède un pourcentage d'azote disponible supérieur à 50%. La dernière pratique est

l'épandage d'effluent (liquide et solide) sur des zones avec un très faible pouvoir épurateur (sol très superficiel et zone d'exclusion). Il faut remarquer qu'une doline correspond seulement qu'à 35 ares, ce qui représente un très faible pourcentage pour une parcelle de l'ordre de plusieurs hectares. Ainsi un épandage d'effluent sur une parcelle possédant une doline et une majorité de sol suffisamment profond obtient une note faible. Donc la méthode ne permet pas de mettre l'accent sur cette pratique déconseillée dans tous les cas.

b) La note 2 : Raisonnement de la fertilisation azotée

De même les notes ont été regroupées dans trois intervalles correspondant aux trois niveaux de risque : faible ([0;3[), moyen ([3;9[) et élevé ([9;12]). Les résultats de la note figurent dans les tableaux 14,15 et 16 pour 2011, 2012 et 2013. Ils sont aussi représentés sur les cartes en (*Annexe 14*).

Tableau 14: Note Raisonnement azoté obtenue sur le bassin versant Plaisir Fontaine en 2011

Risque	Faible	Moyen	Elevé
Nombre de parcelles	142	32	19
% de la SAU	75 %	17%	8 %

Tableau 15: Note Raisonnement azoté obtenue sur le bassin versant Plaisir Fontaine en 2012

Risque	Faible	Moyen	Elevé
Nombre de parcelles	165	17	11
% de la SAU	81 %	12 %	7 %

Tableau 16 : Note Raisonnement azoté obtenue sur le bassin versant Plaisir Fontaine en 2013

Risque	Faible	Moyen	Elevé	Non disponible
Nombre de parcelles	112	41	31	9
% de la SAU	64 %	14%	17 %	5 %

Comme la note précédente, la majorité des parcelles ont un risque faible. Pour les autres parcelles, des apports trop importants et des fractionnements non optimaux que ce soit sur culture ou sur prairie ont été relevés.

Les surfertilisations rencontrées peuvent s'expliquer de différentes façons. Tout d'abord, il y a la non prise en compte de l'effet retournement de prairie dans le raisonnement des besoins azotés de la céréale qui suit par l'agriculteur (8 parcelles en 2013). Ensuite, pour certaines parcelles, les apports azotés sont trop élevés par rapport aux objectifs de rendement fixés. Cela concerne en 2013 41 parcelles avec un apport d'azote excédentaire (entre + 25 et 50 kg d'azote) par rapport aux doses conseils et 31 parcelles avec un apport excédentaire supérieur à 50 kg d'azote par rapport à la dose conseillée. Les fractionnements évalués comme non optimaux sont dûs pour les prairies, à des épandages d'effluent liquide avant la période de végétation active et, pour les cultures, à des apports minéraux au moment où la plante n'en a pas le plus besoin.

c) La note 3 : Occupation du sol et rotation

On retrouve les trois intervalles correspondant au trois niveaux de risque : faible ([0;3]), moyen ([3;9]) et élevé ([9;12]). Les résultats de la note figurent dans les tableaux 17,18 et 19 pour 2011, 2012 et 2013. De même les cartes en (*Annexe 15*) montrent les parcelles qui ont les notes les plus élevées.

Tableau 17 : Note Occupation du sol et rotation obtenus sur le bassin versant Plaisir Fontaine en 2011

Risque	Faible	Moyen	Elevé
Nombre de parcelles	139	44	10
% de la SAU	66 %	28%	6 %

Tableau 18 : Note Occupation du sol et rotation obtenus sur le bassin versant Plaisir Fontaine en 2012

Risque	Faible	Moyen	Elevé
Nombre de parcelles	143	42	8
% de la SAU	73 %	24 %	3 %

Tableau 19 : Note Occupation du sol et rotation obtenus sur le bassin versant Plaisir Fontaine en 2013

Risque	Faible	Moyen	Elevé	Non disponible
Nombre de parcelles	144	30	10	9
% de la SAU	72 %	17 %	6 %	5 %

La note 3 a aussi montré la réalisation de pratiques à risque. Ensuite on compte 54 parcelles en 2011, 50 en 2012 et 40 en 2013 qui ont un risque moyen ou élevé. Tout d'abord il y a le retournement des prairies temporaires (14 parcelles en 2013). La seconde pratique à risque est de laisser le sol nu en hiver avant l'implantation d'une culture de printemps (10 parcelles en 2013). 6 % des surfaces en 2013 représentent un risque élevé. Pour diminuer ce risque, il y a des pistes d'évolution à envisager à moyen terme mais qui doivent être validées par l'acquisition de références locales. En premier lieu, le semi-direct permet de ne pas retourner le sol. Or cette solution nécessite une destruction chimique de la prairie au préalable et d'être en possession de matériel adéquat. Une autre méthode est de retourner la prairie plutôt à l'été qu'à l'automne ou au printemps dans le cas d'une implantation d'une culture de printemps. En effet le pic de minéralisation s'effectue quelques mois après le travail du sol et ceci permettrait d'éviter que ce pic soit situé peu de temps avant le drainage hivernal.

d) La note globale parcellaire

Les tableaux 20, 21 et 22 révèlent les notes globales obtenus sur le sous bassin versant Plaisir Fontaine en 2011, 2012 et 2013.

Tableau 20 : Note de risque globale 2011

Risque	Très faible	Faible	Moyen	Elevé	Très élevé
Nombre de parcelles	129	44	14	5	1
% de la SAU	66 %	20,2 %	10,7 %	2,4 %	0,7 %

Tableau 21 : Note de risque globale 2012

Risque	Très faible	Faible	Moyen	Elevé	Très élevé
Nombre de parcelles	145	33	13	2	0
% de la SAU	69,9 %	21,4 %	7,6 %	1,1 %	0 %

Tableau 22 : Note de risque globale 2013

Risque	Très faible	Faible	Moyen	Elevé	Très élevé	Non disponible
--------	-------------	--------	-------	-------	------------	----------------

Nombre de parcelles	122	42	14	6	0	9
% de la SAU	62,4 %	19,1 %	11,2 %	2,7 %	0 %	4,6 %

Les cartes associées sont présentées en (Annexe 16). La note globale étant le cumul des trois précédentes, les risques les plus élevés correspondent à l'addition de pratiques considérées comme fortement à risque. Plus de 60 % de la surface du sous bassin versant pour les trois années concernent des parcelles avec un risque considéré très faible. Cependant encore environ 14 % de la surface pour 2013 représente un risque moyen et élevé.

Il faut rappeler que la principale finalité de ce travail est d'apporter des conseils adaptés et de sensibiliser les agriculteurs afin d'améliorer les pratiques en matière de fertilisation en lien avec la qualité de l'eau. Les résultats de la méthode d'évaluation ont mis en évidence des pratiques à risque. Cela va permettre de mieux conseiller et de sensibiliser les agriculteurs notamment en présentant les pratiques à risque aux agriculteurs, en cherchant à acquérir des références locales puis en proposant des alternatives. Pour réaliser ce conseil de manière efficace, plusieurs méthodes peuvent être réalisées. Il y a tout d'abord les bulletins d'information envoyés aux exploitants concernés par les opérations collectives donc ici à tous ceux du bassin versant de la Loue. Ensuite des réunions d'informations et des formations sur le raisonnement de la fertilisation peuvent être organisées.

3) Syst'N : un outil de simulation des pertes d'azote

3.1) Présentation des modules du modèle Syst'N

Afin de pouvoir fonctionner, le modèle a besoin des données correspondant aux données pédologiques, aux données climatiques et aux données agronomiques. Ces différentes données forment une situation (figure 20).

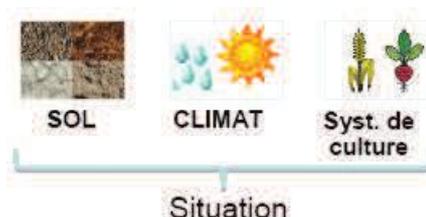


Figure 20 : Schématisation des données nécessaires au paramétrage de Syst'N

Chaque système de culture (appelé situation) est représenté à travers Syst'N par la description générale de la parcelle, son historique, la succession des cultures et son itinéraire technique. Ce dernier terme correspond aux interventions culturales : fertilisation organique et minérale, irrigation, travail du sol, pâture, fauche, culture piège à nitrate. La partie suivante se veut être une rapide présentation des données d'entrées de simulation.

➤ Description de la situation

Cet onglet permet de répertorier chaque parcelle par son numéro d'identification et de définir la période de simulation. Le fichier climatique est à préciser dans cette partie. Différentes données climatiques sont nécessaires pour lancer le modèle Syst'N. Les données doivent être des informations journalières concernant la température de l'air en °C, la quantité de pluie en mm, l'évapotranspiration en mm et le rayonnement global en MJ/m². Pour certaines stations, les données sont directement disponibles dans le modèle.

➤ Historique cultural

Il permet d'indiquer de façon générale le type de conduite et la gestion de la parcelle. On y retrouve différents onglets présentés ci-dessous. Pour chaque onglet, différents choix sont proposés.

- Le système de travail du sol : le labour, le semis direct ainsi que le travail superficiel sont proposés.
- La gestion des résidus : selon l'onglet, les résidus peuvent être enfouis 1 fois sur 2, enlevés ou brûlés ou toujours enfouis.
- La nature des Produits Résiduaire Organiques (PRO) et leur fréquence d'apport : donne la tendance générale d'amendement organique s'il y en a sur la parcelle. Différents PRO sont proposés avec des fréquences d'apports (1 à 3 ans, 3 à 5 ans, 5 à 10 ans et pas d'apports).
- La date de retournement et durée de la prairie précédente : pour le retournement de la prairie, il est proposé 2 ans, 3 ans et plus et moins d'un an. Pour la durée, 2 à 3 ans, 4 à 6 ans, 7 à 10 ans et plus de 10 ans.

Hormis le système de travail du sol, les autres onglets ne sont pas obligatoires pour faire fonctionner le modèle.

➤ **Précédent de rotation**

Le précédent de rotation renseigne sur la culture précédente (soit la date de récolte, le pourcentage de paille exportée et le rendement) et le début de la simulation. La date de récolte correspond au début de la simulation du modèle. De plus, cet onglet sert principalement à renseigner sur les résidus enfouis, or dans le cas de la zone, ces derniers sont absents et ne sont donc pas pris en compte.

➤ **Rotation**

Il s'agit d'indiquer les différentes cultures qui se sont succédées et d'indiquer l'itinéraire technique de chacune. Les entrées sont :

- La description de la culture : date d'implantation et de récolte ainsi que le rendement de la culture.
- Les cultures intermédiaires et repousses : indique s'il y a une culture intermédiaire entre deux successions.
- La fertilisation organique : nécessite d'indiquer le type d'apport organique réalisé, sa date, la dose et le mode d'épandage ainsi que les caractéristiques du produit : taux d'azote totale du produit, taux de N-NH₄ (fraction minérale) et taux de matière sèche. Syst'n propose pour chaque PRO des valeurs correspondantes.
- La fertilisation minérale : même schéma que pour l'organique. Les caractéristiques sont synthétisées par les unités d'azote apportées (kg N/ha)
- Le travail du sol : renseigne sur la date et le type d'intervention réalisée et la profondeur.
- L'irrigation et la fertigation : renseigne sur la date, le nombre de passage, le volume en mm ainsi que la teneur N en g/L.

Pour le cas des prairies, deux autres onglets sont à renseigner :

- La fauche : renseigne la date et la hauteur restante en cm.
- Le pâturage : nécessite d'indiquer la date de début et de fin de pâturage, la hauteur restante et le type d'animal. Seule la date de fin est prise en compte, la date de début est facultative.

➤ **Sol**

Il s'agit pour chaque situation de renseigner un type de sol. Tout d'abord, il faut renseigner le libellé du sol, la description des horizons du sol (épaisseur, % en argile, limon, sable, texture, densité apparente), les caractéristiques du premier horizon du sol (% N org, % Matière Organique (MO), C/N, %CaCO₃, pH, Capacité d'Echange Cationique (CEC), l'état des horizons en début de simulation est également à renseigner (épaisseur, humidité, N minéral). La profondeur d'obstacle à l'enracinement et le pourcentage d'argile décarbonatée peuvent être renseignés mais ne sont pas obligatoires. Des sols pré-enregistrés (39 sols) dans le modèle peuvent être choisis. Cependant, il est possible de créer des sols personnalisés.

➤ **Données mesurées**

Des données mesurées sur le terrain peuvent être renseignées dans le modèle. En effet, Syst'N propose de rentrer des mesures réalisées sur le terrain afin de caler au plus juste le modèle. Ainsi il est donc possible d'intégrer des mesures de NO₃ lixivié, NH₃ volatilisé, N₂O émis ou encore des mesures d'azote minéral.

3.2) Adaptations réalisées

Pour pouvoir utiliser le modèle pour la simulation, qui fait l'objet de cette étude, il a été nécessaire d'apporter quelques adaptations.

Certaines cultures ne sont pas encore paramétrées telles que l'avoine ou encore le seigle. Ainsi il a été choisi l'orge pour les remplacer. Ce choix a été fait en comparant les besoins unitaires des cultures.

3.3) Paramétrage du modèle Syst'N

a) Données d'entrées Syst'N

Les données d'entrées sont celles spécifiées dans la partie 3.1. Cette partie développe les caractéristiques propres au sous bassin versant de Plaisir-Fontaine.

➤ **Description de la situation :** La période de simulation choisie est très dépendante des données disponibles. Ainsi les données disponibles correspondent aux campagnes 2010/2011, 2011/2012, 2012/2013. Les données de 2010 ont été extrapolées pour le début 2010. Les données d'enquête correspondent aux années 2011, 2012 et 2013 ainsi l'année 2010 a été renseignée en fonction des pratiques des autres années. Bien que simulée, l'année 2010 ne devra pas être prise en compte lors de l'interprétation des résultats et devra plutôt être considérée comme une période de calage de la simulation. Les quatre campagnes agricoles ont été simulées en double par Syst'N qui reporte les données de 2009 à 2013 sur la période 2005-2009. La figure 21 schématise les années simulées dans Syst'N.



Figure 21 : Schématisation des années de simulation du modèle

Le modèle Syst'N ne disposait pas de données météorologiques pour la région Franche Comté, ainsi les fichiers climatiques ont été créés. Les données météorologiques utilisées sont issues de stations voisines (Besançon, Epenoy, Sancey le Grand et Pontarlier). Pour les données de calage, les données météorologiques de 2005 à 2009 sont une copie des données de 2009 à 2013 (*Annexe 17*).

➤ **Historique :** Pour toutes les cultures autres que les prairies permanentes, le travail du sol prédominant est le labour. Les résidus sont majoritairement enlevés. Les ongles

concernant la nature des produits résiduels organiques et leur fréquence d'apport ainsi que la date de retournement et durée de la prairie précédente étant facultatif n'ont pas été renseignés.

➤ **Précédent de rotation** : Le précédent a été renseigné pour chaque parcelle. N'ayant pas les dates de récolte pour cette année-là, les dates de récoltes ainsi que le rendement ont été établis et validés par un conseiller d'entreprise de la Chambre d'Agriculture. Concernant le pourcentage de paille exportée qui correspond dans le modèle au quelques centimètres des parties aériennes et excluant les racines. Il a été choisi 80 % pour les céréales d'hiver (blé, orge, triticales) et le maïs et 70 % pour le colza.

➤ **Rotation** : Sur la zone d'étude de Plaisir Fontaine, les données collectées par les études précédentes ont permis de renseigner en détail chaque donnée des différentes parcelles.

- Lors des enquêtes, les dates d'implantation et de récolte n'ont pas été toujours renseignées ainsi des périodes dites « normales » ont été définies en accord avec le conseiller agronomique en tenant compte des particularités annuelles (par exemple, retard pour le printemps 2012). Les dates sont ensuite placées par parcelle dans la période déterminée pour chaque type de culture (*Annexe 18*)

- Aucune culture intermédiaire n'a été relevée sur le territoire de Plaisir Fontaine.

- Concernant la fertilisation organique, les informations étaient complètes. La date d'apport était renseignée en fonction de la décennie. Afin de ne pas fausser les données, une attention plus particulière a été apportée afin de ne pas placer un apport lors d'un épisode pluvieux et d'éviter ainsi le processus de lessivage par ruissellement. L'hypothèse retenue est que les agriculteurs étaient conscients et sensibles à ce phénomène et n'apportaient donc aucun produit fertilisant en période de pluie. Les caractéristiques des amendements organiques ont été renseignés pour les exploitants ayant réalisés des analyses de leur effluents. Pour les exploitants n'ayant pas réalisés d'analyse, des données issues de référentiels départementaux et régionaux ont été utilisées.

- Les informations sur la fertilisation minérale étaient globalement complètes, les unités d'azote apportées étant directement indiquées.

- Concernant le travail du sol, cette donnée n'a pas été demandée lors des enquêtes alors un labour 15 jours avant le semis a été retenu. Les prairies permanentes ne sont bien évidemment pas sujettes au retournement, les prairies temporaires ne le sont que lors de leur implantation.

- L'irrigation et la fertigation sont totalement absentes de la zone d'étude.

- Préalablement demandées lors des enquêtes, les périodes de pâturage et les dates de fauche ont été renseignées pour la plupart des parcelles. Pour les parcelles où ces données sont manquantes, les périodes ont été déterminées en concertation avec un responsable agronomique de la Chambre d'Agriculture en se basant sur les caractéristiques propres à chaque année. La hauteur d'herbe en fin de pâturage a été déterminée selon le type de conduite : pour une conduite extensive, la hauteur en fin de pâturage est de 5cm, de 4cm en gestion intermédiaire, et de 3cm dans le cas d'une gestion intensive.

➤ **Sol** : Les types de sols ont été caractérisés selon les documents pédologiques du département et selon plusieurs échanges avec un pédologue qui a validé les types de sols (*Annexe 19*) Les propos du pédologue ce sont basés sur des données bibliographiques

départementales. Ces grands types de sol ont été décrits et créés dans Syst’N sous forme de sol personnalisé. 12 sols ont été caractérisés. Le choix a été fait de créer des sols différents pour les prairies et pour les cultures, ainsi il y a 6 sols différents mais avec des caractéristiques propres pour les prairies et pour les cultures. Les données d’entrées pédologiques sont détaillées en (Annexe 20). Toutefois, les caractéristiques locales du terrain (dolines, zone d’affleurement karstique, ...) n’ont pas été prises en compte, tout comme les minorités de type de sol n’étant présentes que de façon infime sur la zone d’étude. Durant les simulations du modèle, et après discussion avec les responsables du modèle il a été établi de renseigner la profondeur d’obstacle à l’enracinement qui correspond à la profondeur du sol et le pourcentage de N organique défini à 0,1.

➤ **Données mesurées :** Les mesures de reliquats entrée hiver et sortie hiver réalisés de fin 2011 à début 2013 par la Chambre d’Agriculture ont permis de disposer de teneurs mesurées en azote du sol pour certaines parcelles (Annexe 21).

b) Données de sortie Syst’N

Une fois les valeurs envoyées au simulateur, une fenêtre de sortie des résultats Syst’N s’ouvre. Elle permet de choisir quelle situation du dossier on souhaite visualiser et affiche ensuite les résultats par onglet (7 onglets disponibles). L’onglet *bilan* permet de mettre en regard les résultats donnés par le calcul d’un solde entrées/sorties et les résultats de pertes d’azote en moyennes annuelles sur la rotation. L’onglet *rotation* présente les résultats de pertes d’azote par trimestre sur la moyenne des différents cycles qui ont été déroulés au cours de la succession en suivant le déroulement des cultures et selon l’itinéraire technique et le drainage. L’onglet *succession* présente les résultats de pertes d’azote par trimestre sur l’ensemble de la succession. Les onglets *Mesures N₂O*, *NH₃* et *NO₃* comparent les pertes journalières simulées aux données mesurées. L’onglet *azote plante/sol* permet de visualiser la dynamique de l’azote dans les cultures et la dynamique de l’azote minéral. La figure 22 est une copie d’écran de l’interface de visualisation des sorties de Syst’N.

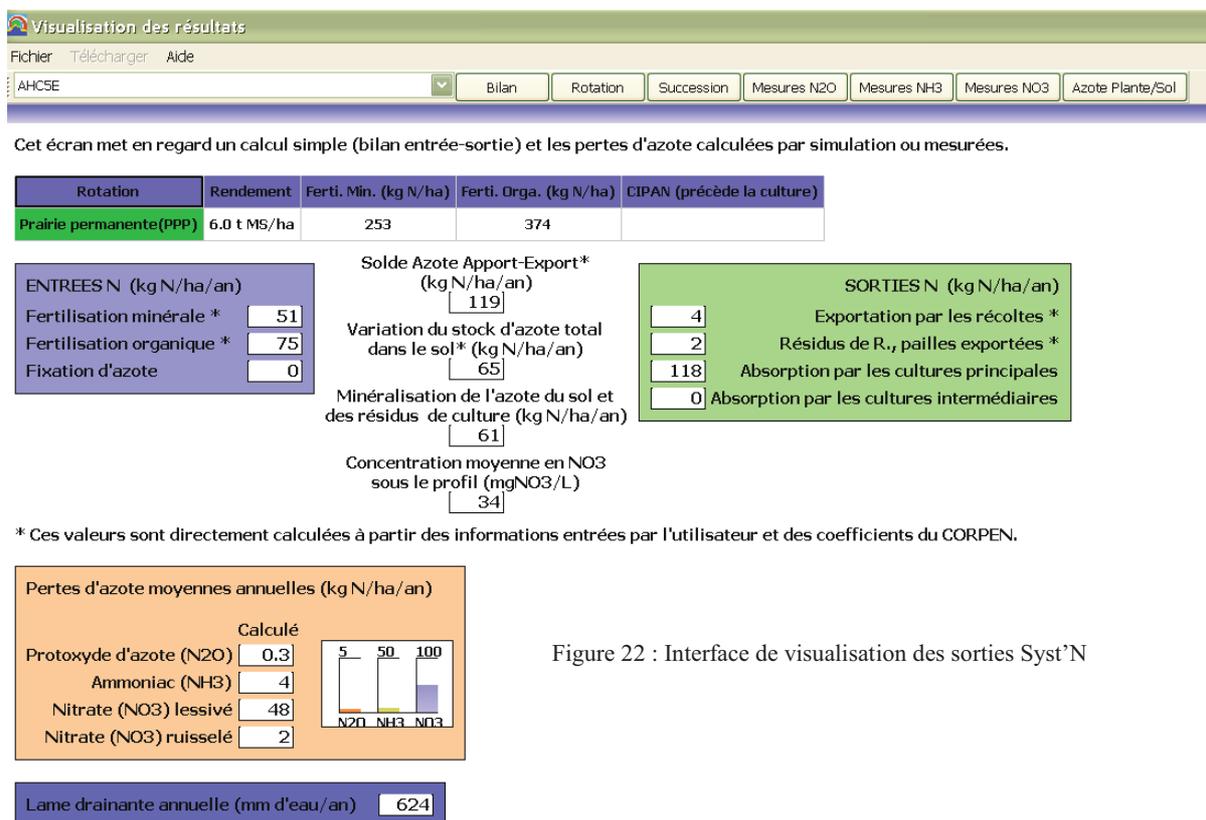


Figure 22 : Interface de visualisation des sorties Syst’N

3.4) Diagnostic des pertes d'azote à l'échelle du sous bassin versant de Plaisir Fontaine

L'ensemble des parcelles du sous bassin versant de Plaisir Fontaine (soit 190 parcelles) ont été renseignées et simulées dans le modèle Syst'N sur trois campagnes agricoles. Le travail de modélisation permet de faire le diagnostic des pertes d'azote des systèmes de cultures en place. L'objectif est de quantifier les pertes engendrées pour les parcelles agricoles liées aux conditions pédoclimatiques et aux pratiques agricoles. En effet, le travail de simulation détaillé permet en outre de connaître sur les périodes et les zones de sensibilité à l'épandage, l'impact des différentes cultures en place ou encore sur l'influence des différentes pratiques agricoles.

a) Sensibilité du modèle Syst'N à l'eau drainée

Le graphique en figure 23 met en évidence l'eau drainée (histogramme bleu) et l'azote lixivié (courbe rouge) calculé par Syst'N par décade sur le sous bassin de Plaisir Fontaine d'Aout 2010 à juillet 2013.

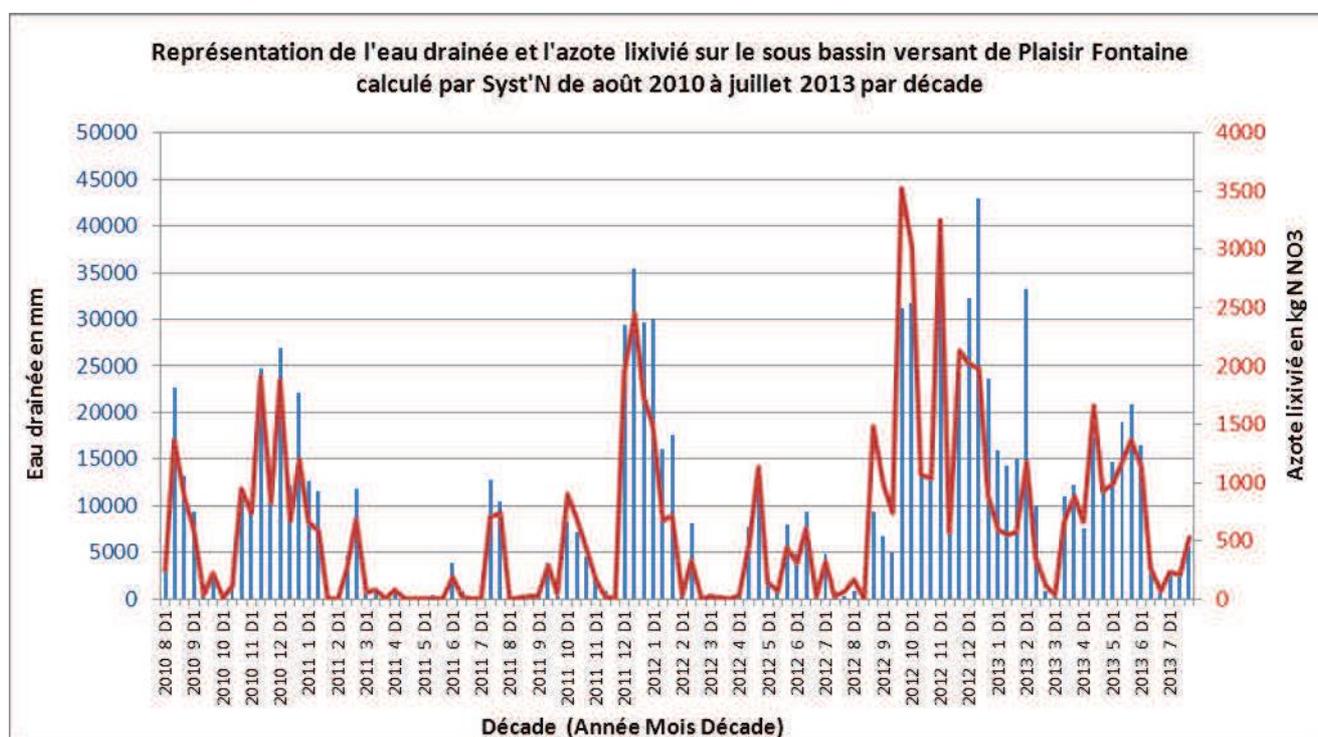


Figure 23 : Représentation de l'eau drainée et l'azote lixivié sur le sous bassin versant de Plaisir Fontaine calculé par Syst'N d'août 2010 à juillet 2013 par décade

La figure 24 met en évidence la pluviométrie (histogramme bleu) et l'azote lixivié (courbe rouge) calculé par Syst'N par décade sur le sous bassin de Plaisir Fontaine d'août 2010 à juillet 2013. On peut remarquer un lien étroit entre l'eau drainée et l'azote lixivié contrairement à la pluviométrie et l'azote lixivié. Cela peut s'expliquer par le fait que le modèle déclenche des pertes de nitrates par lixiviation dès que la lame drainante est positive. Ces graphiques permettent de constater que la majorité du drainage se produit en automne/hiver (rechargement de la nappe) mais que le drainage et la lixiviation peut également se produire ponctuellement au printemps et en été lors de fortes pluviométries et

avec des sols saturés en eau. En général dès la fin de l'hiver ou à la fin du printemps il n'y a

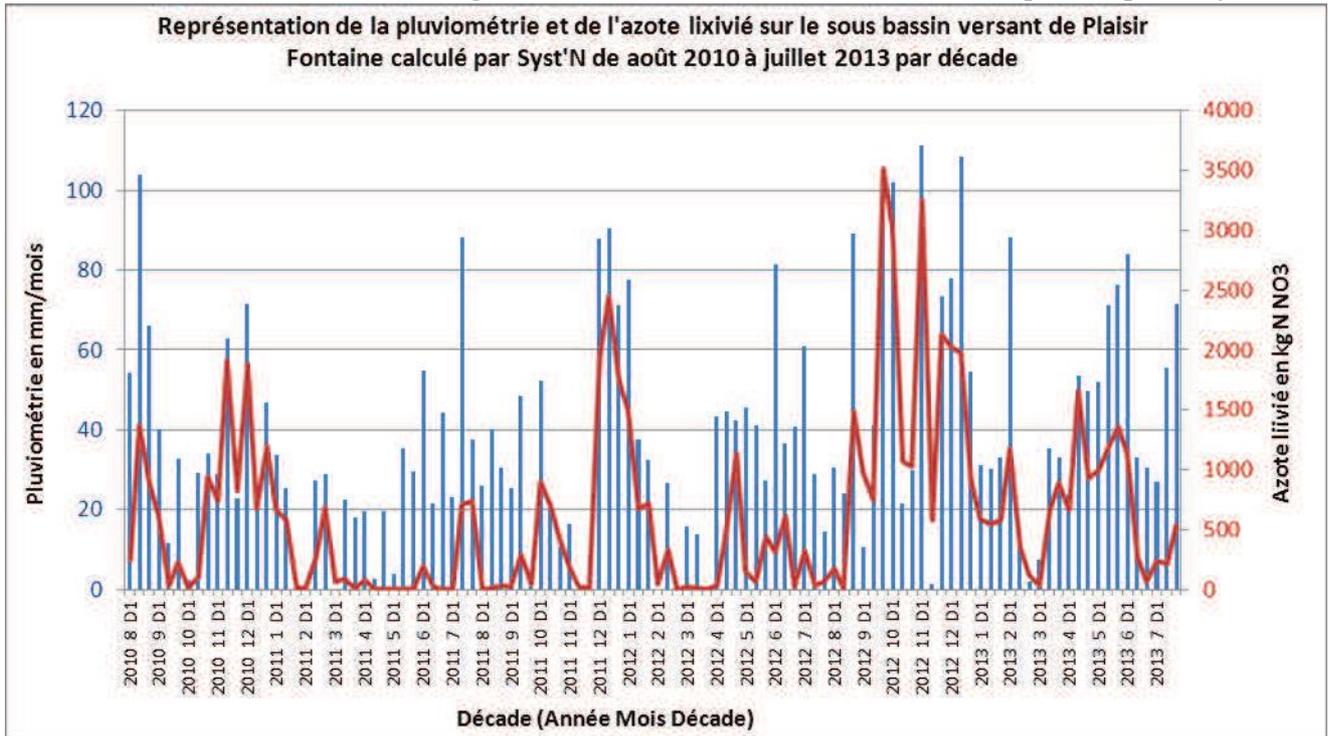


Figure 24 : Représentation de la pluviométrie et de l'azote lixivié sur le sous bassin versant de Plaisir Fontaine calculé par Syst'N d'août 2010 à juillet 2013 par décade

pas de lixiviation malgré des apports azotés en raison de l'absorption par les couverts. La figure 25 présente les apports d'azote minéral et organique disponibles exprimés en kg par décade d'août 2010 à juillet 2013. En comparaison avec le graphique x on peut remarquer que la majorité des apports sont effectués au printemps pour l'ensemble des campagnes et qu'il y a un décalage entre les apports et l'azote lixivié.

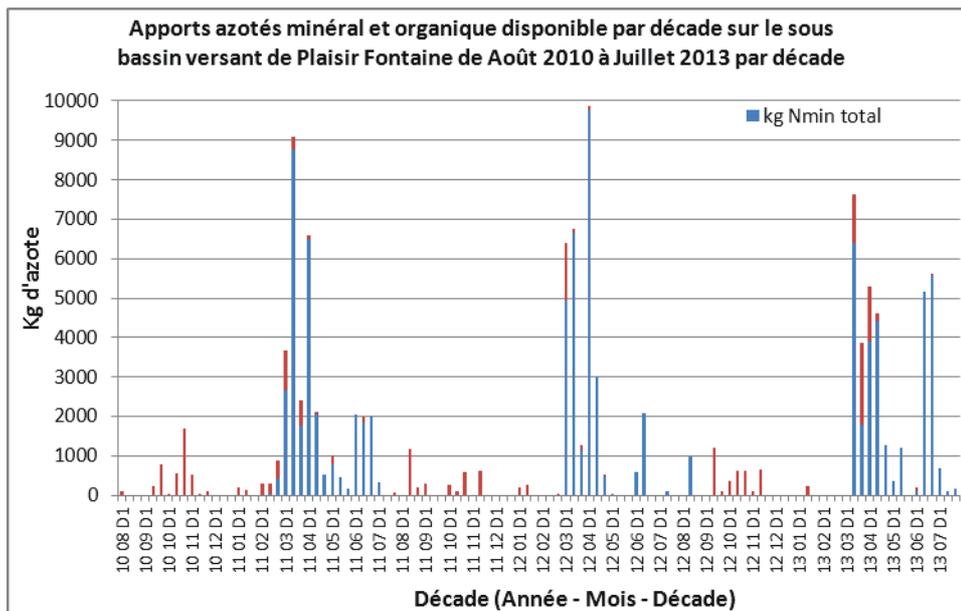


Figure 25 : Représentation des apports azotés minéral et organique disponibles par décade sur le sous bassin versant de Plaisir Fontaine d'août 2010 à juillet 2013 par décade

b) Simulation des 190 parcelles du sous bassin versant de Plaisir Fontaine

Les figures 26, 27 et 28 présentent l'azote lixivié simulé par Syst'N selon le type de culture pour les trois campagnes agricoles. Les valeurs sont présentées en moyenne par campagne et en moyenne + et - deux écarts types afin de cerner la diversité des résultats.

Ces valeurs entre -2 et +2 représentent les résultats d'environ 95 % de cette population. De manière générale pour l'ensemble des campagnes agricoles, les pertes par lixiviation calculée par Syst'N sont plus élevées sous culture d'automne et de printemps que sous prairies. Pour la campagne 2010/2011, en moyenne 38,5 kg d'azote lixivié ont été calculé par Syst'N pour les cultures d'automne, 41,5 kg en 2011/2012 et 85,6 kg en 2012/2013. Pour les prairies permanentes, en 2010/2011, 27 kg d'azote lixivié ont été calculé par Syst'N ont été calculé et 23,9 kg en 2011/2012 et 65,7 kg en 2012/2013.

Figure 26 : Représentation de l'azote lixivié par Syst'N selon le type de culture en kg N - NO₃/ha pour la campagne 2010/2011

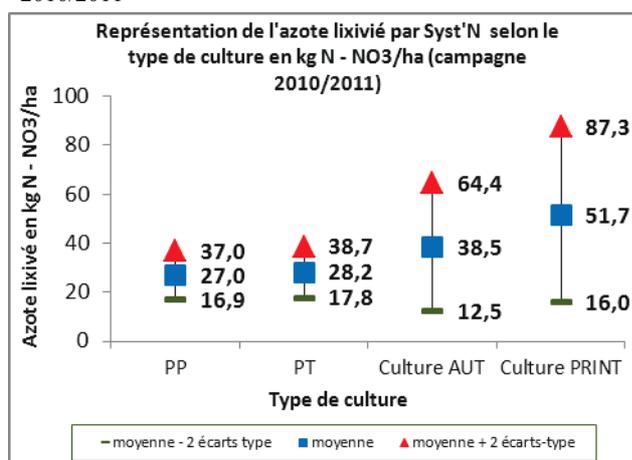


Figure 27 : Représentation de l'azote lixivié par Syst'N selon le type de culture en kg N - NO₃/ha pour la campagne 2011/2012

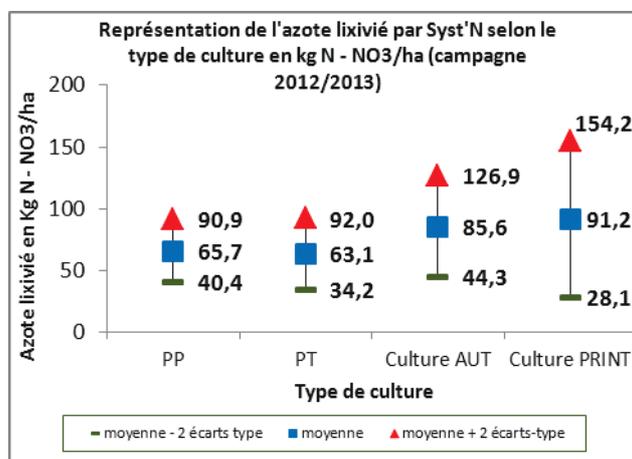
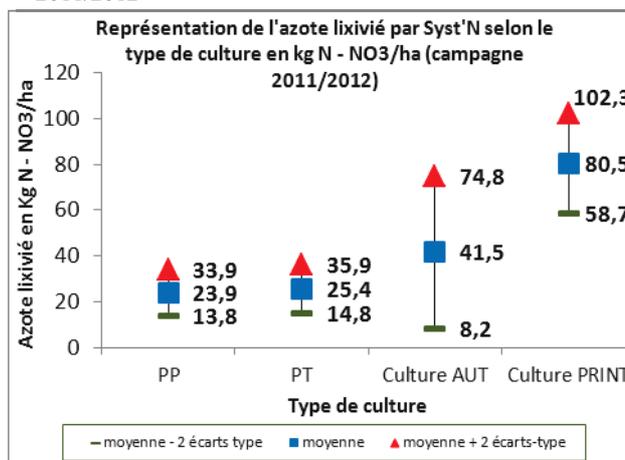


Figure 28 : Représentation de l'azote lixivié par Syst'N selon le type de culture en kg N - NO₃/ha pour la campagne 2012/2013

Pour les prairies, des pertes de l'ordre de 25 à 30 kg/ha d'azote lixivié pour les deux premières campagnes paraissent élevées par rapport aux niveaux de fertilisation pratiqués. De plus, ces résultats paraissent élevés au regard des références bibliographiques énoncées dans les parties précédentes où pour les prairies extensives et mixtes avec des chargements semblables à ceux du bassin versant de la loue, 15 kg/ha/an d'azote sont lixiviés et 5 kg/ha/an pour les prairies de fauches. Les pertes calculées pour la campagne 2012/2013 environ 65 kg N NO₃/ha paraissent nettement surestimées au regard des autres campagnes agricoles. En effet, la moyenne d'azote lixivié sous prairie est triplée entre la campagne 2011/2012 et 2012/2013 (23,9 kg d'azote lixivié en prairie permanente contre 65,7 kg). Tandis que pour les cultures d'automne, les résultats ont doublé (41,5 kg en 2011/2012 et 85,6 kg en 2012/2013).

Cela peut s'expliquer par l'eau drainée qui est nettement plus importante pour cette campagne à hauteur de 1006,6 mm en moyenne contre 481 et 477,9 mm pour 2010/2011 et 2011/2012. Par ailleurs, les valeurs calculées par Syst'N pour les prairies semblent anormalement élevées par rapport aux données mesurées par les reliquats détaillées en tableau 23. Les données des reliquats entrée hiver (REH) et sortie hiver (RSH) azotés disponibles sur une vingtaine de parcelles sur le bassin versant contredisent les résultats de Syst'N.

Tableau 23 : Comparaison des reliquats azotés entrée et sortie d'hiver mesurés sur le terrain et les résultats d'azote lixivié simulés par Syst'N par type de couvert

Type de couvert	Hiver	Nombre de parcelles	REH kg N/ha (NO ₃ +NH ₄)	% NH ₄ EH	% NO ₃ EH	RSH kg N/ha (NO ₃ +NH ₄)	% NH ₄ SH	% NO ₃ SH	REH-RSH kg N/ha (NO ₃ +NH ₄)	Azote lixivié Syst'N entre REH et RSH	Azote lixivié Syst'N sur la campagne
Céréales	2011/2012	8	125	10,70 %	89,30 %	65	23,50 %	76,50 %	60	21,1	39,6
Céréales	2012/2013	8	74	43,50 %	56,50 %	56	45,70 %	53,70 %	18	32,7	46
Céréales	2013/2014	5	85	43,70 %	56,30 %	63	61,40 %	38,60 %	22	-	-
Prairies	2011/2012	12	83	13,10 %	86,90 %	79	23,30 %	76,70 %	4	15,8	24,2
Prairies	2012/2013	17	66	52,50 %	47,50 %	73	68,10 %	31,90 %	-7	22,3	45,5
Prairies	2013/2014	15	67	49,70 %	50,30 %	68	62,40 %	37,60 %	-1	-	-

On peut évoquer comme hypothèse pour la surestimation de l'azote lixivié dans Syst'N, le fait que ce modèle ne détaille pas les deux étapes de la minéralisation de l'azote organique du sol. Selon Syst'N développé essentiellement pour les rotations culturales et des sols pauvres en matière organique, l'azote organique est directement minéralisé en azote nitrique (NO₃) sans passer par la forme ammoniacale (NH₄). Or dans les mesures de reliquats azotés disponibles dans le bassin versant de Plaisir Fontaine ou dans d'autres parcelles (essais CIA 25/90), on observe une part importante de la forme ammoniacale dans les reliquats azotés, en particulier sous prairie ou après un retournement de prairies. Cet azote ammoniacal, non dissous dans la solution du sol n'est pas lixivié dans la lame drainante. Pour la campagne 2011/2012, pour le cas des cultures, on peut remarquer sur le tableau que l'azote lixivié calculé par Syst'N est moins important que les valeurs des reliquats. En effet, pour cette campagne, plusieurs parcelles en cultures ont été choisies pour faire les reliquats après un retournement de prairies. Syst'N a sous-estimé l'impact du retournement de la prairie et sous-estimé la lixiviation.

- c) Des valeurs d'azote lixivié calculées par Syst'N supérieures à 60 kg/ha/an pour les cultures

Les pertes par lixiviation calculées pour les trois campagnes agricoles par Syst'N ont été renseignées dans un fichier cartographique de forme SIG (logiciel MapInfo). Les cartes en (Annexe 22) permettent de localiser les parcelles sur le bassin versant pour chaque année avec des pertes par lixiviation selon différentes classes. On peut remarquer que certaines parcelles ressortent sur plusieurs années avec des pertes comprises entre 60 et 90 kg d'azote lixivié. Pour l'année 2011, 3 parcelles ont des pertes d'azote lixivié supérieures à 60 kg, 9 parcelles en 2012 et 127 en 2013.

Une analyse des pratiques agricoles a été réalisée afin de mettre en évidence les potentielles raisons de résultats élevés. Pour cela, les données renseignées dans Syst'N ont été analysées (type de sol, fertilisation apportée, date d'apport, rotation culturale). L'analyse s'est portée sur les parcelles en cultures relevant de pertes en lixiviation calculées par Syst'N supérieures à 60 kg /N/ha/an pour les trois campagnes agricoles. Pour la majorité des parcelles, les valeurs élevées peuvent s'expliquer par la présence d'un sol superficiel (30 - 25 cm) à très superficiel

(20 cm), l'effet retournement d'une prairie temporaire en fin d'été suivi de l'implantation d'une céréale en automne, un sol nu en hiver avant le semis d'un maïs, une fertilisation élevée par rapport aux doses conseillées par les conseillers agronomes. Sur certaines parcelles, deux paramètres peuvent être liés comme par exemple un sol superficiel et une fertilisation élevée ou un retournement d'une prairie et un sol nu avant un maïs.

D'après le tableau 24, des valeurs supérieures à 60 kg N/ha/an s'observent sur 3 parcelles en 2011, 9 en 2012 et 26 en 2013. Il est essentiel d'évoquer que l'année 2013 a été une année très pluvieuse et caractérisée par beaucoup d'eau drainée ainsi on observe plus de parcelles.

La fertilisation azotée fait partie des raisons qui regroupent le nombre de parcelles le plus important pour des pertes supérieures à 60 kg d'azote lixivié pour les trois années. La fertilisation élevée concerne 1 parcelle en 2011, 4 en 2012 et 4 en 2013 avec une moyenne d'azote lixivié de l'ordre de 72,44 kg pour 2011, 71,77 kg en 2012 et 90 kg en 2013. L'effet retournement de prairie est observable sur 2 parcelles en 2011 et 6 en 2013.

Un sol superficiel et une fertilisation élevée impliquent des valeurs supérieures à 60 kg sur 7 parcelles en 2013 à hauteur de 79,41 kg en moyenne d'azote lixivié.

D'après la carte, 7 parcelles en culture ressortent avec des pertes supérieures à 60 kg d'azote lixivié pour les années 2012 et 2013. Il faut rappeler qu'une des finalités de ce travail est de sensibiliser les agriculteurs afin d'améliorer les pratiques en matière de fertilisation. Ainsi les résultats et les cartes permettent de localiser les parcelles et pratiques à risques.

Tableau 24 : Classification des parcelles en cultures relevant de pertes en lixiviation calculées par Syst'N supérieures à 60 kg N/ha/an selon des potentielles raisons pour les trois campagnes agricoles

	2011		2012		2013	
	Nbr de parcelles	Moyenne d'azote lixivié en kg N/ha/an	Nbr de parcelles	Moyenne d'azote lixivié en kg N/ha/an	Nbr de parcelles	Moyenne d'azote lixivié en kg N/ha/an
Retournement de prairie	2	82,2	0	-	6	77,02
Fertilisation azotée élevée	1	72,44	4	71,77	4	90
Sols superficiels	0	-	5	83,81	2	91,16
Sols superficiels et fertilisation azotée élevée	0	-	0	-	7	79,41
Sol nu avant semis d'un maïs	0	-	0	-	6	89,61
Année n Retournement de prairie + Année n+1 sol nu avant semis d'un maïs	0	-	0	-	1	74,19

d) Simulation des types de sol sur prairie permanente et culture

L'objectif est d'appréhender la sensibilité du modèle en fonction du type de sol et ainsi de comparer les pertes par lixiviation simulées par Syst'N sur une parcelle en culture et une parcelle en prairie permanente. Le modèle Syst'N a été lancé sur quatre campagnes agricoles : 2009/2010, 2010/2011, 2011/2012 et 2012/2013. Les résultats se réfèrent à la moyenne des quatre campagnes agricoles.

Les données météorologiques correspondent aux années 2009/2010/2011/2012 et 2013. Il est essentiel de dire que l'année 2013 est une année particulièrement pluvieuse par rapport aux autres années.

Le tableau 25 présentent les six sols de texture argilo limoneuse et limon argileuse qui ont été simulés dans Syst'N. L'ensemble des caractéristiques des sols sont présentées en (*Annexe 20*).

Tableau 25 : Caractéristiques principales des six sols simulés dans Syst’N

Code sol	Type de sol	Epaisseur (cm)	Texture 1 ^{er} horizon (%Ar ; %Li ; % S)	Densité apparente prairie 1 ^{er} horizon	Densité apparente culture 1 ^{er} horizon	% N organique	% MO prairie	% MO culture	C/N prairie	C/N culture	pH
A	Limons argileux profonds colluviosols	100	20 cm (25,9 – 68,7 – 5,4)	1,2	1,35	0,1	4	3	7,5	7	6,4
A bis	Limons argileux profonds colluviosols	60	20 cm (25,9 – 68,7 – 5,4)	1,2	1,35	0,1	4	3	7,5	7	6,4
C	Argilo limoneux superficiel brunisol non calcaire	30	20 cm (34,9 – 59 – 6,1)	1,2	1,35	0,1	6	4	7,5	7	6,3
B	Limons argileux superficiels calcaires rendosols calcaires	25	8 cm (28,5 – 58,4 – 13,1)	1,2	1,35	0,1	7	5	7,5	7	7,6
D	Limons argileux très superficiels calcaires rendosols calcaires	20	8 cm (28,9 – 58,4 – 13,1)	1,2	1,35	0,1	7	5	7,5	7	7,6
E	Argilo limoneux très superficiel brunisol non calcaire	20	20 cm (34,9 – 59 – 6,1)	1,2	1,35	0,1	7	5	7,5	7	6,3

Les deux parcelles choisies correspondent à deux parcelles du sous bassin versant de Plaisir Fontaine. Ainsi les pratiques agricoles correspondent à des pratiques réalisées par les agriculteurs. La parcelle en culture correspond à une rotation céréalière (blé, orge, colza, blé) et la parcelle en prairie est une prairie permanente fauchée et pâturée. Les itinéraires techniques sont détaillés en (Annexe 23).

D’après les figures 29 et 30, on peut remarquer que les pertes par lixiviation sont supérieures pour un sol donné sous couvert de culture que sous prairie (sol Abis, 61,4 kg de N lixivié sous culture contre 36,8 kg en prairie).

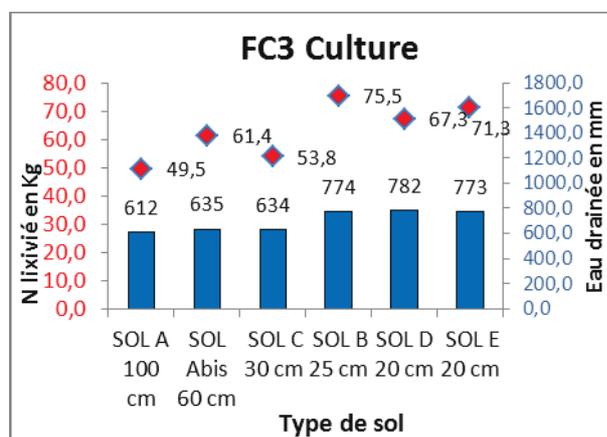


Figure 29 : Représentation de l’azote lixivié en kg N – NO₃/ha et de l’eau drainée en mm par Syst’N selon le type de sols en pour une parcelle en culture

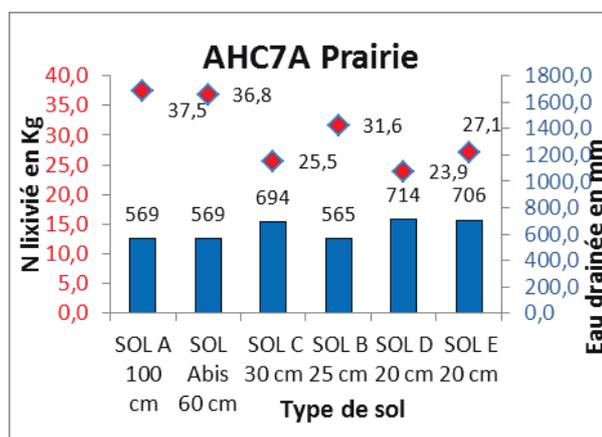


Figure 30 : Représentation de l’azote lixivié en kg N – NO₃/ha et de l’eau drainée en mm par Syst’N selon le type de sols en pour une parcelle en prairie permanente

La figure 29 présente les pertes par lixiviation ainsi que l’eau drainée selon le type de sol pour une parcelle en culture. On peut observer que les pertes sont plus importantes sous des sols superficiels avec une profondeur de 25 – 20 et 20 cm (sol B, D, E). En effet, ces sols sont plus souvent saturés en eau avec une faible réserve utile. De plus la lame drainante est plus importante donc les pertes par NO₃ sont plus importantes.

Les sols profonds (sol A et Abis) quant à eux présentent des pertes en N lixivié inférieures aux sols superficiels. Le sol C ne présente pas des pertes supérieures aux sols profonds, cela peut s'expliquer par une texture du sol différente.

La figure 30 présente les pertes par lixiviation ainsi que l'eau drainée selon le type de sol pour une parcelle en prairie permanente. On peut observer que les pertes en N lixivié sont plus importantes pour les sols profonds que superficiels contrairement à la parcelle en culture. Cette lixiviation plus importante pourrait s'expliquer par un niveau de minéralisation du sol plus important et ou par une absorption de l'azote par le végétal plafonné par le modèle interne à Syst'N. En effet, selon les résultats calculés par le modèle, les sols profonds A et Abis ont une valeur de minéralisation de l'ordre de 59 kg N/ha/an contrairement aux autres sols (C : 46 kg N, B : 24 kg, D : 23 kg et E : 41 kg).

e) Simulation de la date d'épandage d'effluents organiques sur prairie permanente

Un des points intéressants du modèle Syst'N est de pouvoir tester différents scénarios. Ainsi l'objectif ici est d'appréhender la sensibilité du modèle à la date de fertilisation et au type de fertilisant. Différentes hypothèses ont été testées à partir du modèle Syst'N. Elles portent sur l'estimation des pertes nitriques pour une prairie permanente uniquement fauchée avec une fauche en foin début juin puis fauche des regains mi-juillet.

Ce mode d'exploitation a été simulé avec l'épandage de quatre effluents d'élevage différents : fumier de bovin, purin de bovin, lisier de bovin et lisier de porc. Les simulations fumier et purin ont été testées avec un apport d'engrais minéraux mi-mars à 30 unités d'azote. Les quantités apportées sont représentatives des pratiques agricoles locales. Les teneurs des effluents correspondent aux référentiels départementaux et régionaux (tableau 26).

Tableau 26 : Teneurs des effluents organiques

	N total en % de la matière brute	N NH4 en % de la matière brute	MS
Fumier de bovins	0,52	0,046	20
Purin de bovins	0,1	0,055	1,2
Lisier de bovins	0,25	0,087	6
Lisier de porc	0,27	0,16	2

Les épandages ont été simulés à 6 dates espacées d'un mois de septembre à février, 15/09, 15/10, 15/11, 15/12, 15/01 et 15/02.

Tableau 27 : Données paramétrées dans le modèle Syst'N

	Dose	Unité	Dose N total organique	Coefficient de disponibilité	N total disponible (référence CIA 25/90)	Complément azoté minéral	Date d'apport
Fumier de bovins	15	Tonnes	78	0,35	27,3	30	15/03
Purin de bovins	40	m3	40	0,5	20	30	15/03
Lisier de bovins	30	m3	75	0,5	37,5	0	-
Lisier de porc	30	m3	81	0,6	48,6	0	-

Tout d'abord afin de comparer les pratiques entre elles, et étant donné la faible quantité d'azote apporté et la faible part d'azote disponible pour les modalités fumier et du purin un complément d'azote minéral a été rajouté afin de ne pas pénaliser la croissance de l'herbe et avoir une fertilisation comparable (tableau 27).

Les simulations ont été réalisées avec les données météorologiques utilisées pour la simulation des 190 parcelles ainsi qu'avec le sol Argilo limoneux très superficiel brunisol non calcaire, détaillé dans le tableau 28.

Tableau 28 : Caractéristiques du sol Argilo limoneux très superficiel brunisol non calcaire

Type de sol	Profondeur (cm)	Texture (%Ar ; %Li ; % S)	Densité apparente	% N organique	% MO	C/N	CacO3	pH	Profondeur obstacle à l'enracinement en cm
Argilo limoneux très superficiel brunisol non calcaire	20	(34,9 – 59 – 6,1)	1,2	0,1	7	7,5	0	6,3	20

Les simulations ont été réalisées sur quatre campagnes agricoles (2009/2010 – 2010/2011-2011/2012 – 2012/2013). Les résultats présentent la moyenne de ces quatre campagnes en pourcentage du témoin. Une simulation sans apports dite simulation témoin a été réalisée afin de pouvoir comparer avec les autres simulations. Le témoin sans apports représente 33, 105 kg d'azote lixivié. Les résultats sont présentés en pourcentage du témoin. Le témoin est représenté par les 100 %.

Les quatre figures ci-dessous présentent les résultats obtenus pour les simulations fumier + minéral, purin + minéral, lisier de bovin et lisier de porc.

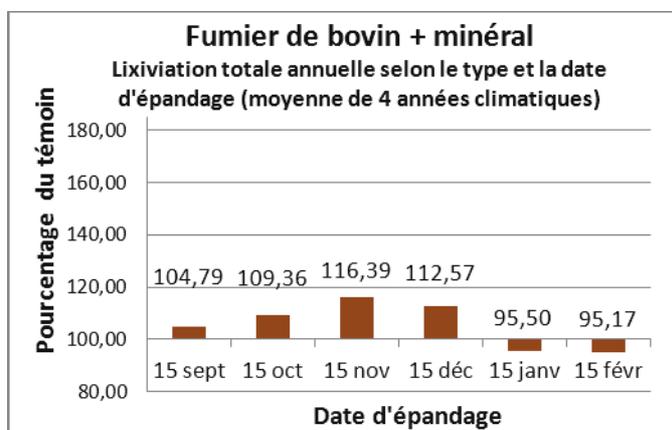
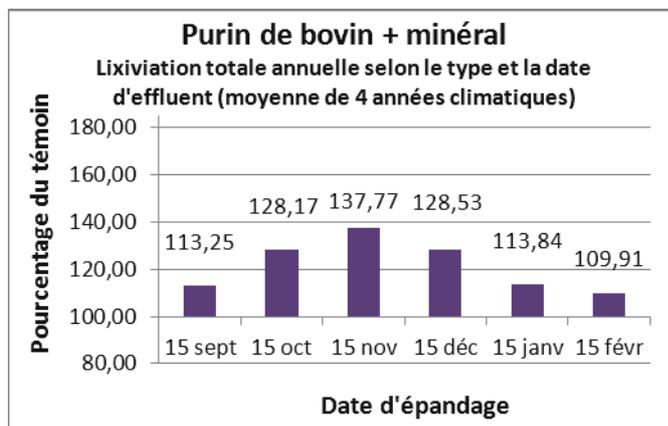


Figure 31 : Représentation de la lixiviation totale annuelle pour une parcelle en prairie avec du fumier de bovin et minéral selon la date d'épandage en pourcentage du témoin

La figure 32 montre que pour le cas de la simulation purin de bovin complété avec 30 kg d'azote minéral au printemps avec un apport en minéral, les pertes maximales (apport au 15/11) sont légèrement plus importantes à hauteur de 137,77 % comparées au fumier avec apport minéral (116,39 %).

Figure 32 : Représentation de la lixiviation totale annuelle pour une parcelle en prairie avec du purin de bovin et du minéral selon la date d'épandage en pourcentage du témoin

Les résultats de la figure 31 montrent que dans le cas du fumier de bovin avec un 30 kg d'azote minéral au printemps, les pertes présentent peu de variabilité selon les dates d'épandage. Cependant les épandages de mi-novembre à mi-décembre présentent une période un peu plus à risque en termes de lixiviation. Les apports de janvier et février montrent des valeurs inférieures au témoin sans apports.



Les épandages d'hiver (de mi-octobre à mi-décembre) présentent une période à risque en termes de lixiviation d'azote.

D'après les figures 33 et 34, le lisier de porc donne une réponse identique au lisier de bovin mais avec une quantité de pertes nitriques plus important. En effet, la composition ammoniacale est plus importante dans les lisiers de porcs.

Selon les simulations de Syst'N, le fumier de bovin même épandu en période de drainage génère moins de pertes nitriques comparé au purin, lisier de bovin ou encore lisier de porc. Cependant le lisier de porc est l'effluent qui présente le plus de pertes nitriques comparé aux autres simulations et au témoin. La période déconseillée à l'épandage sur prairie fauchée pour les effluents d'élevage semble se dérouler de mi-novembre à mi-décembre. En revanche, les épandages réalisés en janvier et février semblent avoir moins d'impact sur la lixiviation.

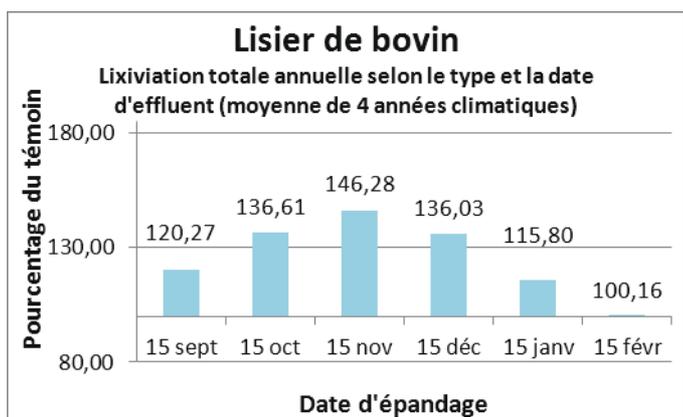


Figure 33 : Représentation de la lixiviation totale annuelle pour une parcelle en prairie avec du lisier de bovin selon la date d'épandage en pourcentage du témoin

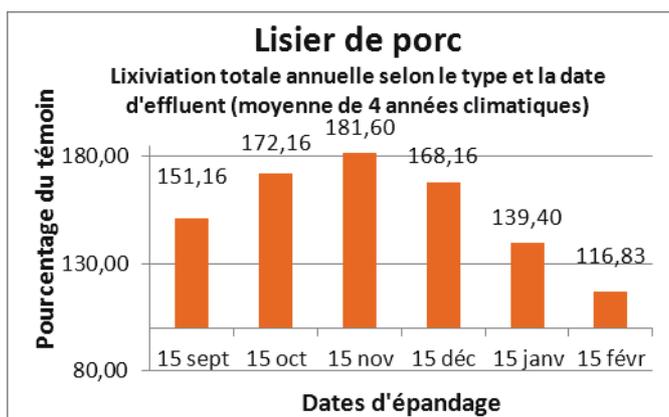


Figure 34 : Représentation de la lixiviation totale annuelle pour une parcelle en prairie avec du lisier de porc selon la date d'épandage en pourcentage du témoin

3.5) Discussion

a) Discussion du modèle employé

Syst'N est un modèle permettant de contribuer à la connaissance des pertes d'azote pour un ensemble de parcelles conduites avec des systèmes de culture différents, comme dans leur dynamique temporelle en relation avec la succession des cultures, les itinéraires techniques et les données climatiques. Il permet également de tester différents scénarios ou encore d'analyser la sensibilité des pertes d'azote à des variations de la date d'apport, du produit utilisé et de la dose apportée.

Syst'N est en phase de développement et en phase de test avec des partenaires du domaine agricole et de la gestion de l'eau. Ce travail met en évidence certains points nécessitant des modifications de paramétrage du modèle. Le modèle Syst'N est un modèle scientifique complexe avec un grand nombre de paramètres. Le paramétrage du modèle est une phase primordiale. Ainsi il est primordial de mieux expliciter les modules de Syst'N. Une documentation sur les différents onglets, formules employées, unités employées serait appréciable pour faciliter la compréhension du modèle.

De plus, ce modèle est essentiellement développé pour les parcelles de cultures. En effet, certains modules ne sont pas encore totalement paramétrés comme les prairies ou encore l'avoine, le seigle ou les associations de légumineuses. Il serait intéressant de lancer une nouvelle étude sur l'estimation des pertes d'azote après modification de certains paramètres. De nombreux échanges ont été réalisés avec les développeurs de l'INRA de Rennes afin qu'ils suivent parallèlement ce projet et soient informés des résultats obtenus. Leur collaboration pour l'implémentation des simulations reste très utile et indispensable.

Ce projet représente donc un test intéressant pour la validation du modèle étant donné que les systèmes de prairies sont omniprésents à l'échelle de la zone d'étude. Ce présent travail a permis de tester les prairies avec Syst'N et permis de remarquer la surestimation des résultats pour celles-ci.

Pour la caractérisation des sols, le modèle ne prend pas en compte les dolines, une des caractéristiques géologiques très représentées sur le département du Doubs. Pourtant ces dépressions sont des zones préférentielles d'infiltration des eaux superficielles et donc sensibles aux pollutions. Le modèle Syst'N se limite aux interactions avec le sol dans la zone sous-racinaire (prenant en compte une profondeur maximale moyenne de 1 mètre), ne prenant donc pas en compte les relations avec l'hydrosystème. Ainsi, les concentrations retrouvées dans la zone sous-racinaire sont définies comme directement lixiviables. Dans le cas présent d'un bassin versant karstique où les transferts sont jugés extrêmement rapides et sans interactions directes des composés azotés, il est possible de relier les concentrations sous-racinaires aux concentrations retrouvées dans le réseau hydrographique sans trop d'erreurs. Un facteur de délais pour le temps de concentration serait toutefois meilleur à intégrer. Cependant, compte tenu de la complexité du fonctionnement d'un bassin karstique, il apparaît difficile d'obtenir des informations fiables. Pour preuve, la détermination des écoulements souterrains et la délimitation des sous-bassins versants sont encore aujourd'hui un réel problème sur le territoire de la Loue.

Durant le stage, le modèle scientifique a été mis à jour par les concepteurs. En effet suite à différents problèmes observés et à l'amélioration constante, une nouvelle version a été mise en ligne. Les modifications opérées ont portées sur le simulateur :

- la modification du calcul des jours normalisés qui prenaient mal en compte l'humidité du sol qui joue un rôle sur la minéralisation du sol.
- la modification des coefficients d'enfouissement des outils d'apport (pendillards, injecteur d'engrais) qui impacte les résultats de volatilisation.
- la modification d'un coefficient lié aux racines du maïs.

et également sur les données de sortie comme le calcul de la concentration moyenne annuelle sur la rotation étant donné une erreur dans le calcul.

Etant donné, cette mise à jour tardive dans le déroulement du stage et des problèmes de connexions avec cette nouvelle version et des simulations déjà lancées, la nouvelle version n'a pas été utilisée.

b) Pistes d'évolution

- **Piste d'évolution du modèle**

Afin de pouvoir utiliser ce modèle dans le département du Doubs, il serait pertinent d'adapter les paramètres de Syst'N pour pouvoir appréhender des sols riches en matière organique. De plus, pour obtenir des résultats plus fiables une modification de la prise en compte de la minéralisation par Syst'N serait appréciable. Pour finir, le paramétrage des modules prairies sont essentiels pour pouvoir utiliser Syst'N dans le département du Doubs.

- **Pistes d'évolution du stage**

De manière générale, suite à une mise à jour du modèle par les concepteurs, il est essentiel de relancer les simulations des 190 parcelles avec la nouvelle version et observer les potentiels changements.

D'un point de vue du déroulement du stage, il est important pour la suite des avancées de la Chambre d'Agriculture avec Syst'N de privilégier d'avantage de temps et plus amont pour la partie paramétrage du modèle, l'analyse des résultats et le test de scénarios de changements de pratiques.

Afin de paramétrer au mieux les sols du sous bassin versant de Plaisir Fontaine, il faut notamment collecter au niveau départemental des données bibliographiques sur l'azote organique des différents types de sols. Il sera essentiel pour la suite du travail avec Syst'N de déterminer précisément cet azote organique du sol et de relancer les simulations avec le modèle.

Dans un objectif de validation du modèle, il serait intéressant d'équiper des parcelles témoins du sous bassin versant de Plaisir Fontaine en lysimètres ou bougies poreuses afin d'obtenir des mesures de terrain. De plus, l'installation d'une sonde de mesures en continue dans la source de Plaisir Fontaine permettrait également d'obtenir des références et les utiliser pour caler le modèle. Ces recommandations sont actuellement en réflexion auprès des financeurs du projet.

La surestimation des résultats obtenus par Syst'N pour les prairies permet de montrer qu'un choix d'un modèle spécifiquement orienté vers les prairies pourrait donc s'avérer judicieux afin d'obtenir des résultats plus précis sur ces surfaces. Plusieurs échanges ont déjà été réalisés avec l'équipe de l'INRA de Clermont Ferrand travaillant sur le modèle PASim. Il serait intéressant de continuer ces échanges et de travailler plus longuement avec ce modèle.

Il faut également garder de vue qu'une fois le modèle Syst'N calé, il faudra extrapoler les résultats à l'ensemble du bassin versant de la Loue.

IV. BILAN PERSONNEL

Le stage au sein de la Chambre Interdépartementale d'Agriculture du Doubs et Territoire de Belfort m'a permis de renforcer mes connaissances en agronomie et en gestion de l'azote. En effet, tout au long de sa réalisation, il a été un réel enrichissement professionnel tant sur le plan humain que technique de part la diversité des missions et son contenu. En effet, j'ai pu appréhender autant la phase terrain avec la réalisation d'enquête que la phase d'analyse avec la planification du modèle scientifique. Pour le plan humain, je remercie Didier Tourenne et Nicolas Lecatre pour la bonne ambiance dans le bureau durant le stage et plus particulièrement mon maître de stage Didier Tourenne pour sa transmission de connaissances et ces multiples explications.

Ce stage m'a conduit à améliorer mes connaissances dans la gestion de projets et les éléments principaux à prendre en compte pour planifier le travail dans le temps. J'ai pu développer mon sens de l'autonomie, de la réflexion et de la résolution des problèmes et ainsi de bien attribuer les différentes phases de la réalisation au cours du temps. En effet, dans un temps imparti et avec une prise en main longue du modèle et les différentes modifications, j'ai dû redoubler d'efforts pour rendre des résultats cohérents.

Ce projet m'a également permis d'appréhender la planification d'un modèle scientifique. J'ai en effet pu découvrir la complexité d'un modèle et renforcé mon point de vue sur la nécessité de valider les résultats obtenus avec des données mesurées sur le terrain.

J'ai également pu participer aux autres activités et prestations avec les conseillers Agro environnement de la Chambre d'Agriculture tels que les essais en grandes cultures et prairie, la réalisation des plans d'épandage, le concours des prairies fleuries. De plus, j'ai également participé aux différentes réunions d'informations sur les problématiques de la Loue. J'ai pu ainsi rencontrer l'ensemble des acteurs du bassin versant de la Loue et la multiplicité des activités de leurs structures.

Durant ce stage, la principale difficulté a été dans un premier temps, la compréhension du contexte départemental des problèmes de qualité de l'eau sur le bassin versant de la Loue ainsi que la réglementation liée à la gestion des effluents d'élevage. En effet, la multitude des acteurs sont essentiels à connaître et à bien comprendre leurs rôles.

La seconde difficulté a été la prise en main du modèle scientifique Syst'N. En effet, même si l'interface du modèle est assez ergonomique, j'ai été confronté à de nombreuses interrogations durant le paramétrage. Ces interrogations ont pu être abordé avec les concepteurs du modèle Syst'N qui m'ont répondu dans de court délai. Le nombre important de parcelles à paramétrer et le manque d'informations pour certains modules de Syst'N m'ont pris beaucoup de temps. En effet, durant ce stage, mes missions de stage ont été réparties en différentes périodes de travail : la réalisation des enquêtes agricoles (10 %), la création de la note de risques (10 %), le renseignement des bases de données (10 %), la création des différentes cartes (5 %), le paramétrage du modèle (45 %), et l'analyse des données (20 %).

Ainsi j'aurais préféré accorder plus de temps à la phase d'analyse des résultats et également la phase de création et de test de différents scénarios de changements de pratiques avec Syst'N.

J'ai été amené au cours du stage à modifier après discussion avec les concepteurs du modèle certains paramètres afin d'obtenir des résultats cohérents qui m'ont amené à modifier mes simulations à plusieurs reprises. Cette étape a été particulièrement longue et fastidieuse.

Après un retour sur le stage, il aurait été préférable d'organiser au mieux le temps de travail et commencer la phase de paramétrage du modèle plus en amont du stage, ce qui laisserait plus de temps pour l'analyse des données et les simulations de scénarios de changements de pratiques. La réunion avec les utilisateurs et concepteurs de Syst'N réalisée en février a été un réel apport d'informations cependant elle aurait été encore plus bénéfique à la compréhension du modèle si elle aurait été réalisée après la phase bibliographique du stage. En effet, n'ayant encore pas découvert en détail le modèle, il a été difficile de suivre toutes les informations évoquées. Cependant, il est intéressant de connaître les objectifs et différentes étapes des projets de chaque structure. Il est également important de connaître la méthodologie employée sur leurs territoires.

Ce stage a donc été un moyen de mettre à profit mes premières expériences de stage et surtout de pouvoir acquérir de nombreuses autres bases qui me paraissent importantes dans l'optique d'un futur emploi. En effet, l'immersion dans le monde professionnel reste un élément majeur afin de cerner les enjeux de celui-ci.

CONCLUSION

Les objectifs de de cette étude étaient de recenser les pratiques agricoles, d'identifier les pratiques à risques en matière de fertilisation minérale et organique, et de simuler à l'aide du modèle scientifique Syst'N les flux d'azote à l'échelle du sous bassin versant de Plaisir Fontaine. Pour répondre à cette demande des enquêtes agricoles ont été réalisés dans le sous bassin versant de Plaisir Fontaine. Les données recueillies auprès des agriculteurs ont permis de mieux cerner les pratiques de fertilisation azotée des exploitations et de chiffrer précisément les quantités en jeu de façon dynamique pour la campagne agricole 2012/2013. Les données obtenues permettent d'abonder la base de données sur le sous bassin versant et d'obtenir des références locales.

Ensuite une méthode d'évaluation des risques de pollution des eaux par les nitrates d'origine agricole, adaptée au contexte spécifique du bassin versant de la Loue a été réalisée. Le principe de cette méthodologie repose sur la combinaison de trois notes, aboutissant à une note globale, évaluant la gestion des effluents, le raisonnement de la fertilisation azotée et l'occupation du sol. La note de risque à la parcelle mise en place en 2011 puis améliorée en 2013 permet de visualiser sur le bassin versant les zones présentant un risque de lessivage de nitrates. Les résultats de cette évaluation ont permis de mettre en avant les pratiques les plus à risque. On peut citer les épandages d'effluent sur des zones inappropriées et à des périodes non poussante (pour les effluents liquides), les dépôts de fumier sur des sols peu profonds, la surfertilisation dans des cas précis, le retournement des prairies, etc. Généralement il s'agit de la mauvaise prise en compte de l'azote apporté par un effluent d'élevage au moment de la détermination par l'agriculteur de la dose d'azote minéral complémentaire à apporter. Ainsi des conseils adaptés vont pouvoir être apportés à l'ensemble des agriculteurs du bassin versant et permettre d'améliorer leurs pratiques en matière de fertilisation. Ces enseignements vont permettre également d'optimiser la communication réalisée auprès des agriculteurs du département, en particulier dans les bulletins d'information des opérations collectives.

Afin de quantifier les flux d'azote sur le sous bassin versant de Plaisir Fontaine, dans un premier temps, l'ensemble des parcelles ont été simulées avec le modèle scientifique Syst'N. Les simulations ont permises de remarquer le lien étroit entre l'eau drainée et l'azote lixivié simulé par le modèle. Les résultats ont permis de constater que la majorité du drainage se produit en automne/hiver mais que le drainage et la lixiviation peut également se produire ponctuellement au printemps et en été lors de fortes pluviométries et avec des sols saturés en eau.

Selon les données résultantes de la modélisation de Syst'N, des pertes d'azote par lixiviation de l'ordre de 38 à 85 kg /ha ont été calculées pour les cultures d'automne et de 51 à 91 kg/ha pour les cultures de printemps. Pour les prairies, des pertes de l'ordre de 25 à 30 kg/ha ont été calculées pour les campagnes agricoles 2010/2011 et 2011/2012 et des pertes de 65 kg/ha pour la campagne 2012/2013. Ces résultats paraissent élevées au regard des données bibliographiques. De plus, l'analyse des pratiques agricoles sur des parcelles en cultures ayant des valeurs élevées en matière de pertes d'azote permet de mettre en évidence la sensibilité des sols superficiels et très superficiels à la lixiviation, l'effet d'un retournement de prairie temporaire, un sol nu en hiver avant l'implantation d'un maïs ou encore une fertilisation azotée élevée.

Ces premières simulations de pertes d'azote ne permettent pas encore d'évaluer les impacts potentiels de scénarios de modifications de pratiques en vue de proposer des mesures concrètes

d'optimisation des pratiques agricoles dans une démarche de communication en direction des partenaires du monde agricole et des agriculteurs. Cependant différentes simulations avec Syst'N ont été également réalisées afin d'appréhender la sensibilité du modèle à certains paramètres comme le type de sol ou encore la date de la fertilisation et le type d'effluent organique. Ce modèle scientifique essentiellement développé pour les cultures, permet de quantifier les pertes d'azote sur l'ensemble de parcelles. Il reste toutefois essentiel de comparer les données calculées par le modèle à des mesures relevées sur le terrain. Sur le sous bassin versant, les résultats ont pu être comparés aux données des reliquats azotés. Il serait encore mieux de pouvoir caler le modèle avec des résultats obtenus par lysimètres ou bougies poreuses installés sur des parcelles témoins. De plus, l'installation prochaine d'une sonde de mesure en continue à la source de Plaisir Fontaine permettra également d'obtenir des mesures journalières.

Ce présent travail a permis de tester les prairies avec Syst'N et permis de remarquer la surestimation des résultats pour celles-ci. Plusieurs échanges ont déjà réalisé avec l'équipe de l'INRA de Clermont Ferrand travaillant sur le modèle PASim (modèle scientifique spécifique aux prairies). Un travail a commencé sur une parcelle en prairie afin de comparer les résultats Syst'N avec les résultats de PASim. Il serait donc intéressant de continuer ces échanges et de travailler plus longuement avec ce modèle.

Cette étude est néanmoins une première étape cruciale dans l'identification et la détermination de l'impact agricole sur le sous bassin versant de Plaisir Fontaine. Si le présent travail permet de tirer des tendances générales et des premières interprétations générales, il ne semble toutefois pas suffisamment fiable et précis pour répondre de manière sûre à l'objectif de quantification des rejets d'azote du sous bassin versant. Ce travail nécessite d'être poursuivi afin d'affiner les résultats et de les rendre plus fiable pour l'interprétation. Les bases sont désormais posées et la collaboration engagée avec les chercheurs de l'INRA travaillant sur des modèles de simulation.

BIBLIOGRAPHIE

Adam O., 2008. Impact des produits de traitement du bois sur les amphipodes *Gammarus pulex* (L.) et *Gammarus fossarum* (K.): approches chimique, hydro-écologique et écotoxicologique. Thèse de Doctorat de l'Université de Franche-Comté, spécialité Sciences de la vie, pp 238

Benoit M., 1994. Risques de pollution des eaux sous prairies et sous culture. Influence des pratiques d'apport d'engrais de ferme", *Fourrages*, 140, 407-420.

Besnard A., Laurent F., Hanocq D., Vertes F., Nicolardot B., Mary B., 2007. Effect of timing of grassland destruction on nitrogen mineralization kinetics. In *Grassland Science in Europe*, vol. 12 : 335-338.

Bockstaller C.; Girardin P.; van der Werf H.M.G., 1997. Use of agro-ecological indicators for the evaluation of farming systems. *European Journal of Agronomy*, 7 (1-3): 261-270.

Bockstaller C., Girardin P., 2006. Evaluation agri-environnementale des systèmes de culture : la méthode INDIGO®. *Oléoscope*, 85: 4-6.

Bockstaller C.; Guichard L.; Keichinger O.; Girardin P.; Galan M.B.; Gaillard G., 2009. Comparison of methods to assess the sustainability of agricultural systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 29 (1): 223-235.

Brisson N.; Gary C.; Justes E.; Roche R.; Mary B.; Ripoche D.; Zimmer D.; Sierra J.; Bertuzzi P.; Burger P., 2003. An overview of the crop model STICS. *European Journal of Agronomy*, 18: 309-332.

Bruckler L., De Cockborne A.M., Renault P., Claudot B., 1997. Spatial and temporal variability of nitrate in irrigated salad crop. *Irrig. Sci.* 17 : 53-61.

Cannavo P.; Recous S.; Parnaudeau V.; Reau R., 2008. Modeling N dynamics to assess environmental impacts of cropped soils. *Advances in Agronomy*, 97: 131-174.

Cariolle M., 2001. DEAC-Azote : un outil pour diagnostiquer le lessivage de l'azote à l'échelle de l'exploitation agricole de polyculture. *Proceedings of the 64th IIRB Congress*, Bruges, Belgique

Citepa. 2011. Rapport, format Secten, Paris: Citepa pp 328

Decau M.L.; Delaby L.; Roche B., 1997. AzoPat : une description quantifiée des flux annuels d'azote en prairie pâturée par les vaches laitières. II-Les flux du système sol -plante. *Fourrages*, 151: 313-330.

Dubrulle P.; Machet J.M.; Damay N., 2004. Azofert: a new decision support tool for fertiliser N recommendations. Controlling nitrogen flows and losses. 12th Nitrogen Workshop. University of Exeter, UK, 21-24 September 2003. Wageningen Academic Publishers, 500-501

Farrugia A., Le Gall A., Legarto J., Le Meur D., Cabaret M.M., 1998. Risques de lessivage de nitrates sous prairies pâturées. Renc. Rech. Ruminants, 5, 224.

Gaury F., 1992. Systèmes de culture et teneurs en nitrates des eaux souterraines. Thèse de Docteur-Ingénieur, ENSA Rennes, pp 229

Génermont S., Cellier P., 1997. A mechanistic model for estimating ammonia volatilization from slurry applied to bare soil. Agricultural and Forest Meteorology 88, 145-167.

Hansen E.M., Djurhuus J., 1996. Nitrate leaching as affected by long term N fertilization on a coarse sand. Soil use and Management, 12 : 199-204.

Hénault C., Bizouard F., Laville P., Gabrielle B., Nicoullaud B., Germon J.C., Cellier P., 2005. Predicting in situ soil N₂O emission using NOE algorithm and soil database. Global Change Biology 11, 115-127

Institut de l'Elevage., 1998. Prairies et risques de lessivage. Essais suivis par l'Institut de l'élevage, Doc. interne, pp 18.

Jeuffroy M.H., Recous S., 1999. Azodyn: a simple model simulating the date of nitrogen deficiency for decision support in wheat fertilization. European Journal of Agronomy 10, 129-144.

Laurent F., Kerveillant P., Vertès F., Cazes J.P., 1995. Pertes en azote sous prairie : impact des modes de gestion, Gestion de l'azote dans les systèmes d'élevage, Colloque APEX, le Robillard, 7 avril 1995, pp 14.

Laurent F., 1999. Fertilisation azotée : points de repère en matière d'environnement. Perspectives Agricoles, 244 : 85-87

Laurent F., Farrugia A., Vertès F., Kerveillant P., 1999. Effets des modes de conduite de la prairie sur les pertes d'azote par lessivage : propositions pour une maîtrise du risque à la parcelle. In « Fertilisation azotée des prairies dans l'ouest », Journée technique 25 février 1999, recueil des communications, 113-132

Laurent F., Vertès F., Farrugia A., Kerveillant P., 2000. Effets de la conduite de la prairie pâturée sur la lixiviation du nitrate. Propositions pour la maîtrise du risque à l'échelle de la parcelle. In Fourrages, 164. p 397-420

Le Gall A., 2000. Excédents d'azote dans les systèmes laitiers et modalités de réduction des flux d'azote à l'échelle de l'exploitation, pp 28.

Long F.N. J., Gracey H.I., 1990. Effect of fertilizer nitrogen source and cattle slurry on herbage production and nitrogen utilization. Grass and Forage Sci. 45, 431-442.

Mayer B., Boyer E.W., Godale C., Jaworski N.A., van Breemen N., Howarth R.W., Seitzinger S., Billen G., Lajtha K., Nadelhoffer K., van Dam D., Hetling L.J., Nosal M. & Paustian K., 2002. Sources of Nitrate in Rivers Draining Sixteen Watersheds in the Northeastern US: Isotopic Constraints. Biogeochemistry. 57 : 171-197.

Nicolardot B., Mary B., Houot S., Recous S., 1997. La dynamique de l'azote dans les sols cultivés. Maitrise de l'azote dans les agrosystèmes. Reims 19-20 novembre 1996. INRA Edition Les colloques n°83, 87-103.

Parnaudeau V., Reau R., Dubrulle P., 2012. Un outil d'évaluation des fuites d'azote vers l'environnement à l'échelle du système de culture: le logiciel Syst'N. *Innovations Agronomiques*, 21 (2012), 59-70.

Rapport d'activités de la Chambre d'Agriculture du Doubs, 2012. Document interne, n°10, pp 18.

Ryden J.C., Ball P.R., Garwood E.A., 1984. Nitrate leaching from grasslands ", *Nature*, 311, 5981, 50-53.

Sandoz M., 2009. Fonctionnement et impacts des déversoirs d'orage sur le milieu naturel. Mémoire de Master II « Qualité et traitement des eaux et des bassins versants, option procédés de traitement et de dépollution », Université de Franche-Comté, pp 65.

Schvartz C., Muller J-C., Decroux J., 2005. Guide la fertilisation raisonnée, Edition France Agricole, Paris, pp 414.

Simon J.C., Le Corre L., 1992. Fertilisation des cultures annuelles et lessivage de l'azote nitrique. *Fourrages*, 129 : 3-10.

Simon J.C., 1995. Lessivage de l'azote nitrique et des cations accompagnateurs. Une situation de référence : le climat atlantique très pluvieux, *C.R. Acad. Fr.*, 81, n°4, 55-70.

Simon J.C., Le Corre L., 1996. Recueil des données, site de Kerfily ", Un point sur ... 30 ans de lysimétrie en France, C. Müller ed., INRA Editions, Comifer, 205-228.

Simon J.C., Vertes F., Decau M.L., Le Corre L., 1997. Les flux d'azote au pâturage. I- Bilans à l'exploitation et lessivage du nitrate sous prairies. In *Fourrages*, 151. p 249-262

Simon J.C., 1999. La pollution nitrique des eaux. In l'eau : usage et polluants, Grosclaude G (cord), INRA éditions, 95-115.

Vertès F., Journet M., Alard V., Etesse A., 2002. Les systèmes de production. Le pâturage et les pertes d'azote", A la recherche d'une agriculture durable. Etude de systèmes Herbagers économes en Bretagne, V. Alard, C. Béranger et M. Journet eds., INRA Editions, Paris, 115-144.

Vertes F., Benoit M., Dorioz J.M., 2010. Couverts herbacés pérennes et enjeux environnementaux (en particulier eutrophisation) : atouts et limites. In *Fourrages*, 202. p 83-94

Vuichard, N.; Soussana, J.F.; Ciais, P.; Viovy, N.; Ammann, C.; Calanca, P.; Clifton-Brown, J.; Fuhrer, J.; Jones, M.; Martin, C., 2007. Estimating the greenhouse gas fluxes of European grasslands with a process-based model: 1. Model evaluation from in situ measurements. *Global Biogeochemical Cycles*, 21 (1): pp 14.

Wachendorf M., Fricke T., Himstedt M., 2004. Determining the contribution of legumes in legumes grass mixtures using digital image analysis. Vol 49, 1910-1916.

Site Web :

Agence de l'eau, Bassin Rhône-Méditerranée-Corse Guide Technique N° 3 connaissance et gestion des ressources en eaux souterraines dans les régions, 1999, Disponible sur internet : <http://sierm.eaurmc.fr/sdage/documents/guide-tech-3.pdf>. Visité le 12 février 2014

Agro-Transfert Bretagne, Territ'eau MODULE 4 : Calcul d'une note « NITRATE » par sous bassin versant. Disponible sur internet: http://agro-transfert-bretagne.univ-rennes1.fr/Territ_Eau/DIAGNOSTIC/Nitrates/. Visité le 28 février 2014

Chambres d'Agriculture, 2013. Revu n°1023. Disponible sur internet : http://www.chambres-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/Revue/Article/Revue_1023/1023-Dossier.pdf. Visité le 21 mars 2014

Chambre d'Agriculture de Bretagne, 2012. Azote 30 ans de référence, pp Disponible sur internet : http://agro-transfert-bretagne.univ-rennes1.fr/Territ_Eau/Images_et_sons/Tir_part_Azote.pdf. Visité le 25 mars 2014

Chambre d'Agriculture du Bas Rhin, 2011. Le guide des fertilisants azotés utilisables en bio. Disponible sur internet : http://www.bas-rhin.chambagri.fr/fileadmin/documents/Environnement-Innovation/AB/Guide_des_fertilisants_azotes_bio_CA67.pdf. Visité le 28 février 2014

Chambre d'Agriculture du Doubs, L'agriculture du Doubs. Disponible sur internet : <http://www.agridoubs.com/>. Visité le 21 mars 2014

CIVAM, 2010. Synthèse bibliographique : Pourquoi comment réduire les risques azote liés au retournement des prairies ? Disponible sur internet : http://www.civam.org/images/actus/RAD2010_fichesynteses.pdf. Visité le 25 mars 2014

Comité Interprofessionnel du Gruyère de Comté, Cahier des charges du Comté 2008. Disponible sur internet : <http://www.comte.com/le-comte-1er-fromage-aop-de-france-reglementation-fromage,51,0,71,1,1,379.html>. Visité le 5 février 2014

Ministère de l'agriculture, de l'alimentation, de la pêche, de la ruralité et de l'aménagement du territoire, 2011. Circulaire PDRH 2011 -2013 « mesures agroenvironnementales ». Disponible sur internet : <http://agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/DGPAATC20113030Z.pdf>. Visité le 5 février 2014

ONEMA, 2012. Rapport d'expertise sur les mortalités de poissons et les efflorescences de cyanobactéries de la Loue. Disponible sur internet : <http://www.onema.fr/IMG/pdf/expertiseLoue.pdf>. Visité le 12 février 2014

GLOSSAIRE

- **Définitions** :

Doline : Dépression dans le paysage, formée de manière naturelle par l'érosion chimique ou mécanique de la roche.

Zones de contact marno-calcaire : Zones préférentielles d'infiltration des eaux superficielles, l'écoulement passant d'une surface imperméable à une surface perméable. Les dolines suivent la ligne de contact.

Azote minéral (N min) : quantité d'azote provenant des engrais minéraux de synthèse (ammonitrate, engrais binaires ou ternaires,...) généralement exprimé en kg N/ha.

Azote organique (N org) : quantité d'azote provenant des effluents d'élevage (fumier, lisier, purin) ou importés (boues de station d'épuration) exprimé en kg N/ha. Les agriculteurs ont communiqué les tonnages épandus par hectare, ce qui a permis de calculer les quantités d'azote organique correspondant. La plupart des effluents ont été analysés sinon, une teneur moyenne a été utilisée. On distingue dans l'azote organique deux fractions :

+ l'*azote organique disponible* qui correspond à la part de l'azote organique assimilable l'année de l'apport par les cultures (correspondant à de l'azote sous forme ammoniacal et à de l'azote organique facilement minéralisé). Dans les calculs, la disponibilité (effet direct année 1) suivante pour l'azote organique a été retenue : 15 % les fumiers de bovins, 40 % pour les effluents liquides et les boues de STEP, 60 % pour les lisiers de porcs.

+ et l'*azote organique non disponible*, correspondant à de l'azote fixé dans les micro-organismes ou dans la matière organique (obtenu par différence entre l'azote total organique et l'azote organique disponible).

Remarque : l'azote organique est appelé ainsi en raison de son origine (effluents, sous-produits organiques,...) alors qu'il faudrait parler d'azote « des effluents agricoles ou non agricoles ». En matière d'analyse d'eau, on distingue l'azote ammoniacal (N-NH₄), l'azote sous forme de nitrates (N-NO₃) qui sont des formes minérales et l'azote Kjeldahl qui correspond à l'azote présent sous les formes organiques et ammoniacales.

Phosphore (P₂O₅) et potasse minéral (K₂O) : quantité de phosphore et de potasse provenant des engrais minéraux de synthèse exprimés conventionnellement en agriculture sous forme oxydée soit en kg P₂O₅/ha et en K₂O kg /ha

Phosphore (P₂O₅) et potasse organique (K₂O) : quantité de phosphore et de potasse provenant des effluents d'élevage ou d'autres produits organiques (boues de station d'épuration) également exprimés sous forme oxyde. Contrairement à l'azote, pour le phosphore et la potasse, on a considéré que l'ensemble des éléments fertilisants étaient disponibles dès la première année.

- **Acronymes** :

AOC : Appellation d'Origine Contrôlée

AOP : Appellation d'Origine Protégée

APCA : Assemblée Permanente des Chambres d'Agriculture

CA : Chambre d'Agriculture

CIA : Chambre Interdépartementale d'Agriculture

CASDAR : Compte d'Affectation Spéciale pour le Développement Agricole et Rural

CEC : Capacité d'Echange Cationique
CIPAN : Couverture des Sols en Période de Risque de Lessivage
CITEPA : Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique
CIVAM : Centre d'Initiatives pour Valoriser l'Agriculture et le Milieu Rural
CO₂ : Gaz Carbonique
DCE : Directive Cadre Eau
DREAL : Direction Régionale de l'Environnement de l'Aménagement et du Logement
EARL : Exploitation Agricole à Responsabilité Limitée
GAEC : Groupement Agricole d'Exploitation en Commun
GRAPE : Groupe Régional Agronomie Pédologie Environnement
ICPE : Installation Classée pour la Protection de l'Environnement
INRA : Institut National de la Recherche Agronomique
MO : Matière Organique
MS : Matière sèche
N : Azote
N₂ : Diazote
N₂O : Protoxyde d'Azote
NH₃ : Ammoniac
NH₄ : Ammonium
NO₃⁻ : Nitrate
OC : Opération Collective
ONEMA : Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques
OTEX : Orientation Technico-Economique
PHAE : Prime Herbagère Agro-Environnementale
PMBE : Programme de Modernisation des Bâtiments d'Elevage
PMPLEE : Plan de maîtrise des pollutions liées aux effluents d'élevages
PMPOA : Programme de Maîtrise des Pollutions d'Origine Agricole
PRO: Produits Résiduaire Organiques
REH : Reliquat Entrée Hiver
RSH : Reliquat Sortie Hiver
RSD : Règlement Sanitaire Départemental
RU : Réserve Utile
SAGE : Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux
SAU : Surface Agricole Utile
SEQ EAU : Système d'Evaluation de la Qualité de l'eau
SIG : Système d'Information Géographique
STEP : Station d'Épuration
UGB : Unité Gros Bétail
UGB/JPE : Unité de Gros Bétail en Jours de Pâturage
UTH : Unité de Travail Humain

TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Logo de la CIA 25/90.....	1
Figure 2 : Zonage géographique du Doubs. Jeunes agriculteurs.....	2
Figure 3 : Truite commune atteinte par la saprolegnia parasitica (Loue, 2010).....	4
Figure 4 : Représentation des exploitations agricoles aux normes PMBE de 2000 à 2020, CIA 25/90, 2013.....	5
Figure 5 : Représentation schématique des types d'infiltration dans un milieu karstique, Agence de l'eau, 1999.....	6
Figure 6 : Evolution des teneurs en nitrate à la source de Plaisir Fontaine de mars à août 2011. Eaux continentales, 2011.....	10
Figure 7 : Concentration moyenne en nitrates dans les nappes phréatiques en 2011. Agence de l'eau, Office de l'eau – BRGM, banque de données ADES, 2012.....	10
Figure 8 : Schématisation de l'importance des conditions pédoclimatiques et géologiques pour la lixiviation d'azote.....	14
Figure 9 : D'après la Synthèse d'essais de fuites d'azote mesurées sous prairies fauchées et pâturées selon la fertilisation azotée apportée. D'après Vertès et al., 2010, d'après Werther 1989, Jarvis (1993), Simon (1997), Laurent (1999), Le Gall (2000), Wachendorf (2004)....	15
Figure 10 : Influence du niveau de fertilisation azotée sur les pertes d'azote nitrique par lessivage. Comparaison de la prairie fauchée et de la prairie pâturée en kg d'azote/ha/an, Simon et al., 1997.....	16
Figure 11 : Relation entre le nombre de journées de pâturage équivalent UGB et la quantité d'azote lixivié. Simon et al., 1997, Laurent et al., 2000, Vertès et al., 2002, Benoit et al., 1995.....	16
Figure 12 : Effet du niveau de fertilisation azotée sur les pertes d'azote nitrique en prairie fauchée. Simon, 1999.....	17
Figure 13 : Cinétiques de minéralisation nette de l'azote due à un retournement de prairie. Terra n° 327, Chambre d'Agriculture de Bretagne, Arvalis, Institut du végétal, Inra Agrocampus, 01/06/12.....	18
Figure 14 : Comparaison des données simulées par Syst'N et les données mesurées par lysimètre sur un même type de sol. Chambre d'Agriculture des Deux Sèvres. Présentation Power point 20 Février 2014.....	21
Figure 15 : Assolement des surfaces enquêtées pour la campagne agricole 2012/2013 exprimé en pourcentage.....	23
Figure 16 : Représentation des volumes d'effluents en pourcentage pour la campagne 2012/2013.....	27
Figure 17 : Représentation des surfaces en hectare recevant de la fertilisation organique selon le type d'effluent pour les trois campagnes.....	27
Figure 18 : Comparaison des apports d'azote minéral sur les trois campagnes agricoles, pour les prairies et les cultures.....	27
Figure 19 : Comparaison des apports d'azote organique disponible sur les trois campagnes agricoles, pour les prairies et les cultures.....	28
Figure 20 : Schématisation des données nécessaire au paramétrage de Syst'N.....	33
Figure 21 : Schématisation des années de simulation du modèle.....	35
Figure 22 : Interface de visualisation des sorties Syst'N.....	37
Figure 23 : Représentation de l'eau drainée et l'azote lixivié sur le sous bassin versant de Plaisir Fontaine calculé par Syst'N d'août 2010 à juillet 2013 par décade.....	38
Figure 24 : Représentation de la pluviométrie et de l'azote lixivié sur le sous bassin versant de Plaisir Fontaine calculé par Syst'N d'août 2010 à juillet 2013 par décade	39

Figure 25 : Représentation des apports azotés minéral et organique disponible par décade sur le sous bassin versant de Plaisir Fontaine d'août 2010 à juillet 2013 par décade.....	39
Figure 26 : Représentation de l'azote lixivié par Syst'N selon le type de culture en kg N – NO ₃ /ha pour la campagne 2010/2011.....	40
Figure 27 : Représentation de l'azote lixivié par Syst'N selon le type de culture en kg N – NO ₃ /ha pour la campagne 2011/2012.....	40
Figure 28 : Représentation de l'azote lixivié par Syst'N selon le type de culture en kg N – NO ₃ /ha pour la campagne 2012/2013.....	40
Figure 29 : Représentation de l'azote lixivié en kg N – NO ₃ /ha et de l'eau drainée en mm par Syst'N selon le type de sols en pour une parcelle en culture.....	43
Figure 30 : Représentation de l'azote lixivié en kg N – NO ₃ /ha et de l'eau drainée en mm par Syst'N selon le type de sols en pour une parcelle en prairie permanente.....	43
Figure 31 : Représentation de la lixiviation totale annuelle pour une parcelle en prairie avec du fumier de bovin et minéral selon la date d'épandage en pourcentage du témoin.....	45
Figure 32 : Représentation de la lixiviation totale annuelle pour une parcelle en prairie avec du purin de bovin et du minéral selon la date d'épandage en pourcentage du témoin.....	45
Figure 33 : Représentation de la lixiviation totale annuelle pour une parcelle en prairie avec du lisier de bovin selon la date d'épandage en pourcentage du témoin.....	46
Figure 34 : Représentation de la lixiviation totale annuelle pour une parcelle en prairie avec du lisier de porc selon la date d'épandage en pourcentage du témoin.....	46

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Extrait du cahier des charges AOP Comté, Cahier des charges AOP Comté (28/01/2008).....	3
Tableau 2 : Restrictions concernant la fertilisation maximale sur chaque parcelle engagée de la PHAE, Circulaire du 22 avril 2011.....	3
Tableau 3 : Comparatif des référentiels de mesure des taux de nitrates (NO ₃) dans l'eau.....	11
Tableau 4 : Exemples de lixiviation de référence du module N de Territ'Eau. De la parcelle à la succession de cultures et au territoire : exemple de l'outil Territ'eau (module azote) Vertès F., Guiet., S, Morvan T., Gascuel-Odoux C, 2012.....	18
Tableau 5 : Répartition des surfaces enquêtées par type de culture pour les années 2011-2012-2013 exprimé en hectare.....	24
Tableau 6 : Doses moyennes en azote, phosphore et potasse minéral et organique en kg/ha par type de couvert pour les trois campagnes agricoles.....	25
Tableau 7 : Apports totaux en azote, phosphore et potasse minéral et organique en kg par type de couvert pour les trois campagnes agricoles.....	25
Tableau 8 : Teneurs départementales des effluents d'élevage.....	25
Tableau 9 : Dose moyenne en azote (en kg), Surface épandue (en ha) et quantité totale (en tonne ou m ³) par catégorie d'effluent organique pour les trois campagnes agricoles.....	26
Tableau 10 : Volumes des effluents organiques en tonne ou m ³ par type de couvert pour les trois campagnes agricoles.....	26
Tableau 11 : Note Epandage obtenus sur le bassin versant Plaisir Fontaine en 2011.....	30
Tableau 12 : Note Epandage obtenus sur le bassin versant Plaisir Fontaine en 2012.....	30
Tableau 13 : Note Epandage obtenus sur le bassin versant Plaisir Fontaine en 2013.....	30
Tableau 14 : Note Raisonnement azoté obtenue sur le bassin versant Plaisir Fontaine en 2011.....	31
Tableau 15 : Note Raisonnement azoté obtenue sur le bassin versant Plaisir Fontaine en 2012.....	31
Tableau 16 : Note Raisonnement azoté obtenue sur le bassin versant Plaisir Fontaine en 2013.....	31
Tableau 17 : Note Occupation du sol et rotation obtenus sur le bassin versant Plaisir Fontaine en 2011.....	32
Tableau 18 : Note Occupation du sol et rotation obtenus sur le bassin versant Plaisir Fontaine en 2012.....	32
Tableau 19 : Note Occupation du sol et rotation obtenus sur le bassin versant Plaisir Fontaine en 2013.....	32
Tableau 20 : Note de risque globale 2011.....	32
Tableau 21 : Note de risque globale 2012.....	32
Tableau 22 : Note de risque globale 2013.....	32
Tableau 23 : Comparaison des reliquats azotés entrée et sortie d'hiver mesurés sur le terrain et les résultats d'azote lixivié simulés par Syst'N par type de couvert.....	41
Tableau 24 : Classification des parcelles en cultures relevant de pertes en lixiviation calculées par Syst'N supérieures à 60 kg /N/ha/an selon des potentielles raisons pour les trois campagnes agricoles.....	42
Tableau 25 : Caractéristiques principales des six sols simulés dans Syst'N.....	43
Tableau 26 : Teneurs des effluents organiques.....	44
Tableau 27 : Données paramétrées dans le modèle Syst'N.....	44
Tableau 28 : Caractéristiques du sol Argilo limoneux très superficiel brunisol non calcaire	45

TABLE DES ANNEXES

Annexe 1 : Aire géographique des AOC/AOP

Annexe 2 : Zonage géographique des autonomies de stockage recommandées pour les effluents liquides

Annexe 3 : Synthèse des réglementations

Annexe 4 : Découpage du bassin versant de la Loue

Annexe 5 : Localisation du sous bassin versant de Plaisir Fontaine

Annexe 6 : Cartographie de l'aptitude des sols à l'épandage du sous bassin versant de Plaisir Fontaine

Annexe 7 : Questionnaire d'enquête

Annexe 8 : Cartographie des exploitations agricoles du sous bassin versant de Plaisir Fontaine

Annexe 9 : Cartographie de l'occupation du sol du sous bassin versant de Plaisir Fontaine pour l'année 2013

Annexe 10 : Teneurs des effluents organiques des analyses d'effluents

Annexe 11 : Apports agricoles par décade pour les trois campagnes agricoles du sous bassin versant de Plaisir Fontaine

Annexe 12 : Grille d'évaluation des notes de risque

Annexe 13 : Cartographies de la note 1 pour les campagnes 2010/2011 – 2011/2012 – 2012/2013

Annexe 14 : Cartographies de la note 2 pour les campagnes 2010/2011 – 2011/2012 – 2012/2013

Annexe 15 : Cartographies de la note 3 pour les campagnes 2010/2011 – 2011/2012 – 2012/2013

Annexe 16 : Cartographies de la note globale pour les campagnes 2010/2011 – 2011/2012 – 2012/2013

Annexe 17 : Données météorologiques utilisées dans Syst'N

Annexe 18 : Données générales pour les cultures

Annexe 19 : Cartographie des sols du sous bassin versant de Plaisir Fontaine

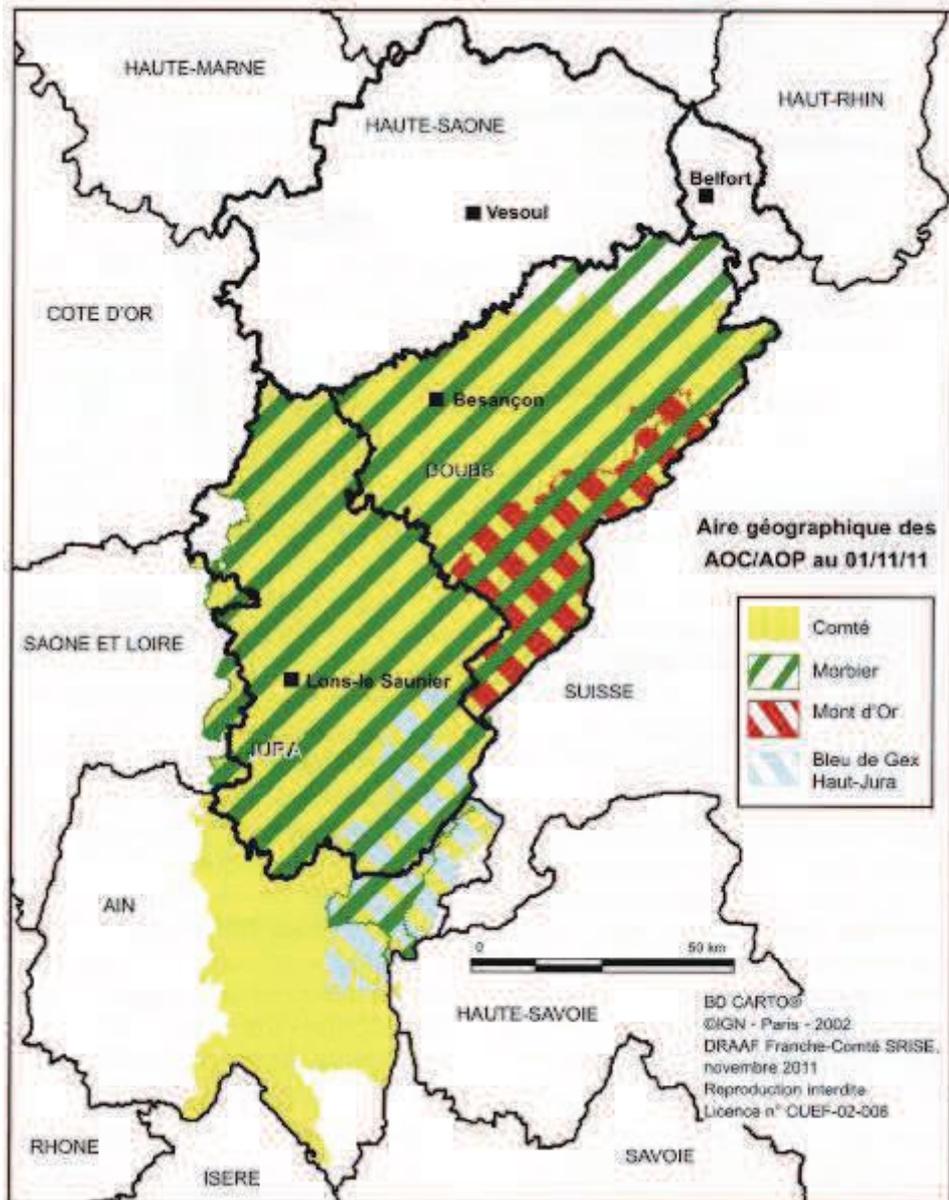
Annexe 20 : Caractéristiques des sols

Annexe 21 : Valeurs des reliquats azotés sur certaines parcelles du sous bassin versant de Plaisir Fontaine pour trois campagnes agricoles renseignées dans Syst'N

Annexe 22 : Cartographies de l'azote lixivié calculé par Syst'N pour les campagnes 2010/2011 – 2011/2012 – 2012/2013

Annexe 23 : Paramétrage du modèle Syst'N pour la parcelle FC3 et AHC7A

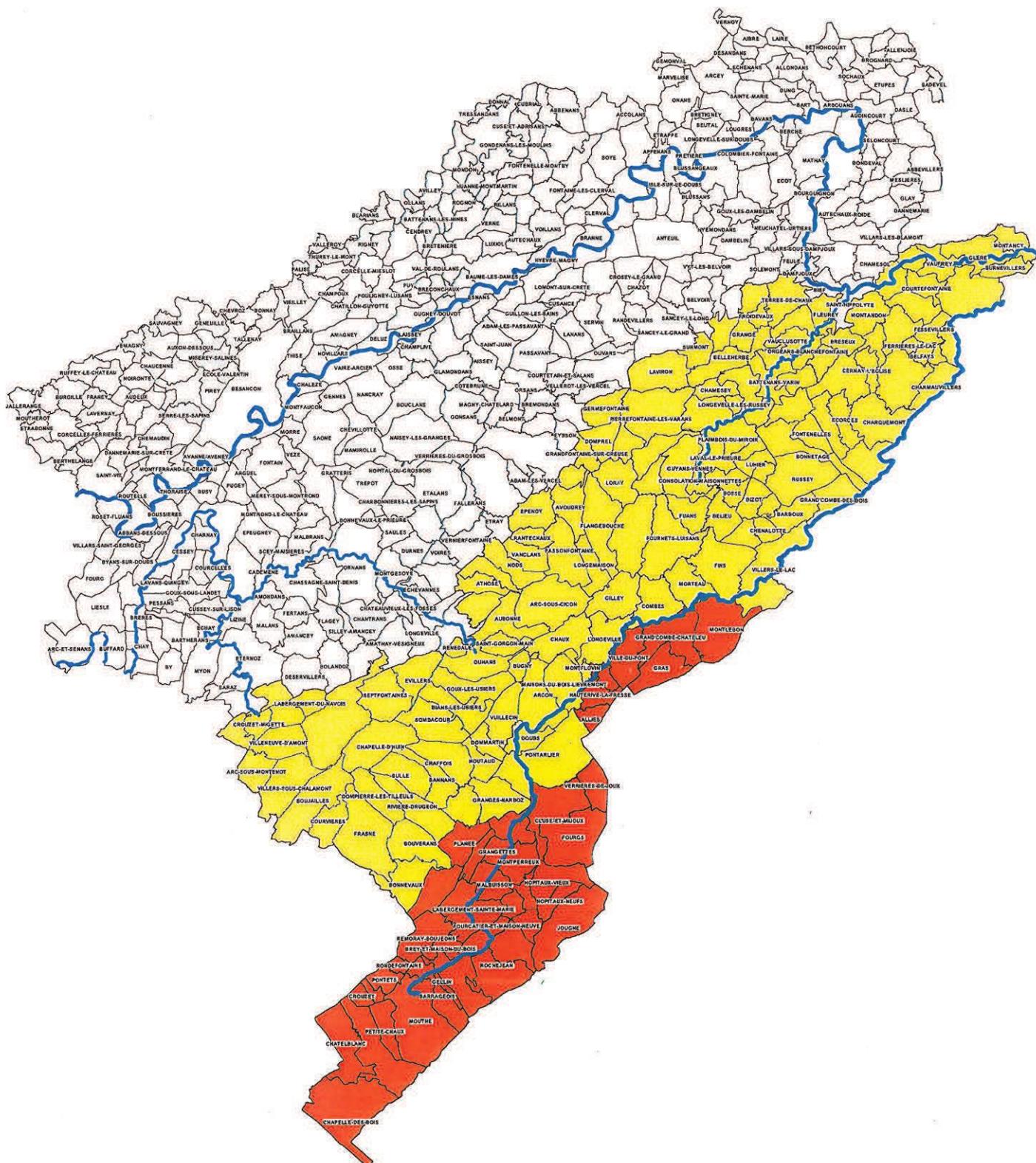
Annexe 1 : Aire géographique des AOC/AOP



Source : INAO

Annexe 2 : Zonage géographique des autonomies de stockage recommandées pour les effluents liquides

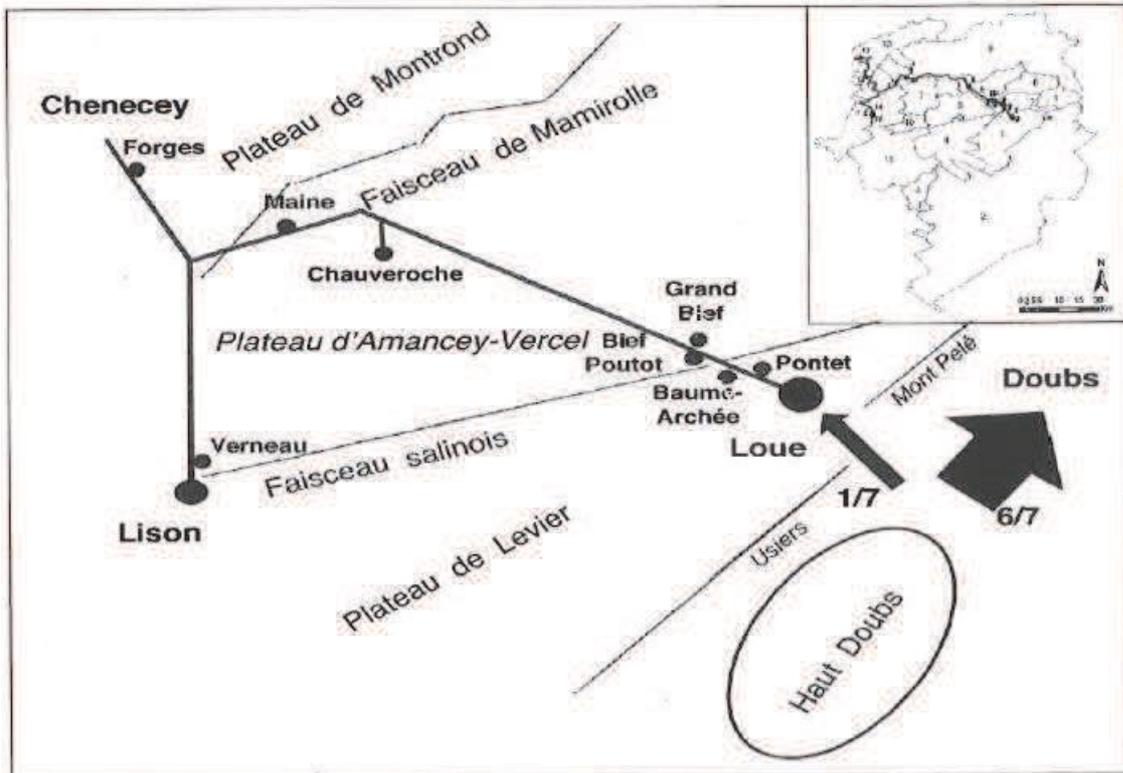
- Autonomie recommandée de 4 mois
- Autonomie recommandée de 5 mois
- Autonomie recommandée de 6 mois



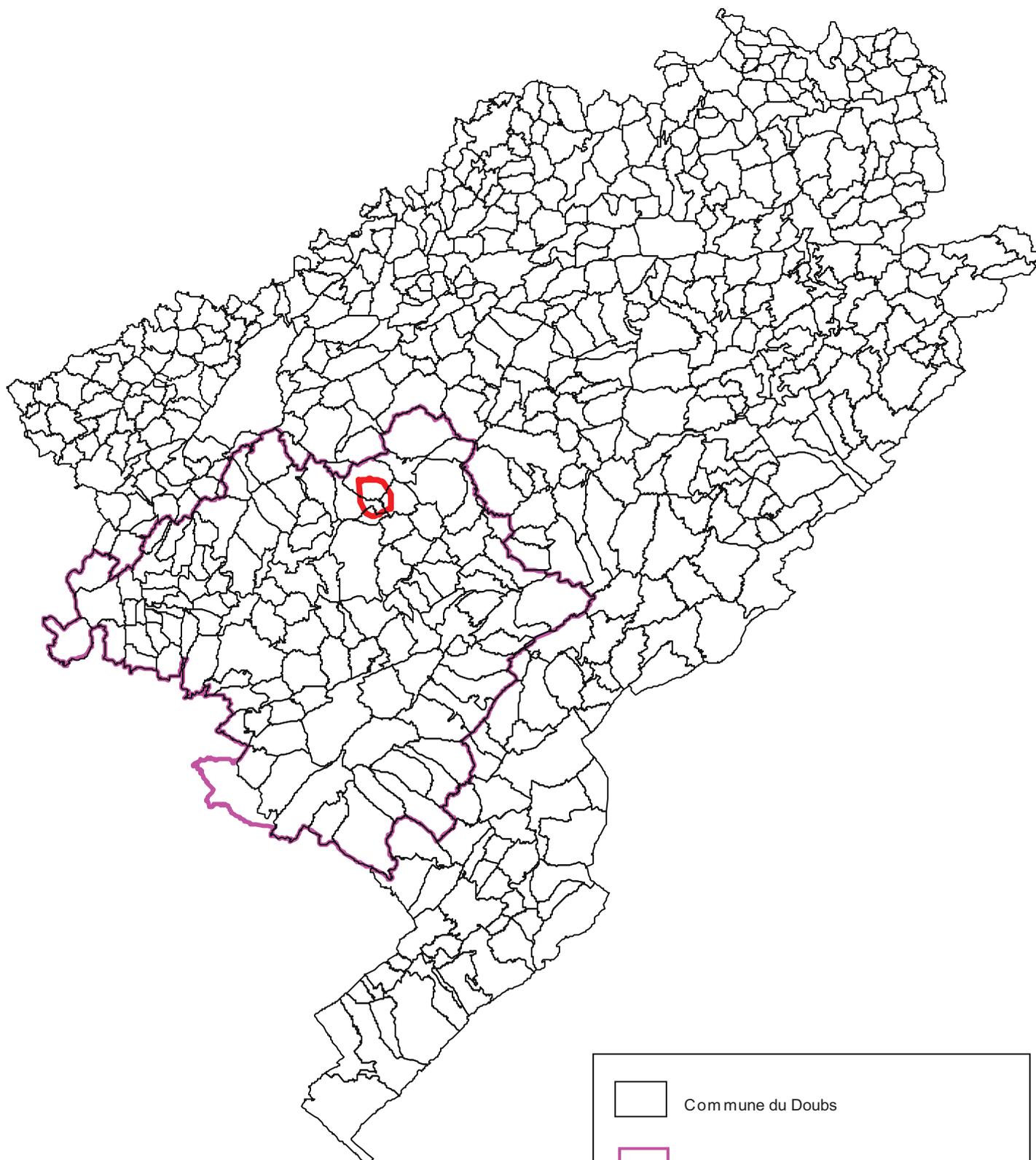
Annexe 3 : Synthèse des réglementations

	Accès aides PMBE	Exploitations soumises à la législation ICPE	Exploitations soumises au RSD	Exploitations soumises au règlement du SAGE haut Doubs/Haute Loue
Portée	National	National	Départemental	Local
Localisation des bâtiments d'élevage par rapport au cours d'eau	-	35 m	35 m pour les porcheries	35 m
Capacités maximales de stockage des effluents	4 – 5 – 6 mois selon les secteurs	4 mois	3 mois	4 – 5 – 6 mois selon les secteurs
Distance minimale d'épandage par rapport à un cours d'eau	-	35 m (ou 10 m si bande enherbée ou boisée pâturée)	30 m	35 (ou 10 m si bande enherbée ou boisée pâturée)
Interdiction d'épandage et conditions climatiques	-	Interdiction sur terrains à forte pente, sols gelés ou enneigés, inondés ou détrempés pendant les périodes de fortes pluviosités, par aéro aspersion	Epandage ne doit pas entrainer de ruissellement ou stagnation	Interdiction sur terrains à forte pente, sols gelés ou enneigés, inondés ou détrempés pendant les périodes de fortes pluviosités, par aéro aspersion, dolines
Plan d'épandage	Obligations d'avoir un plan d'épandage pour obtenir les aides	Obligations d'avoir un plan d'épandage		
Spécificités				<p>Art 7 : EA soumises au RSD devront respecter des prescriptions spécifiques immédiatement et devront disposer dans un délai de 6 ans (2019) de capacités de stockage de 4 – 5 – 6 mois selon les secteurs</p> <p>Art 8 : EA soumises à l'ICPE devront disposer dans un délai de 6 ans (2019) de capacités de stockage de 4 – 5 – 6 mois selon les secteurs</p>

Annexe 4 : Découpage du bassin versant de la Loue



Annexe 5 : Localisation du sous bassin versant de Plaisir Fontaine



Commune du Doubs



Bassin Versant de la Loue



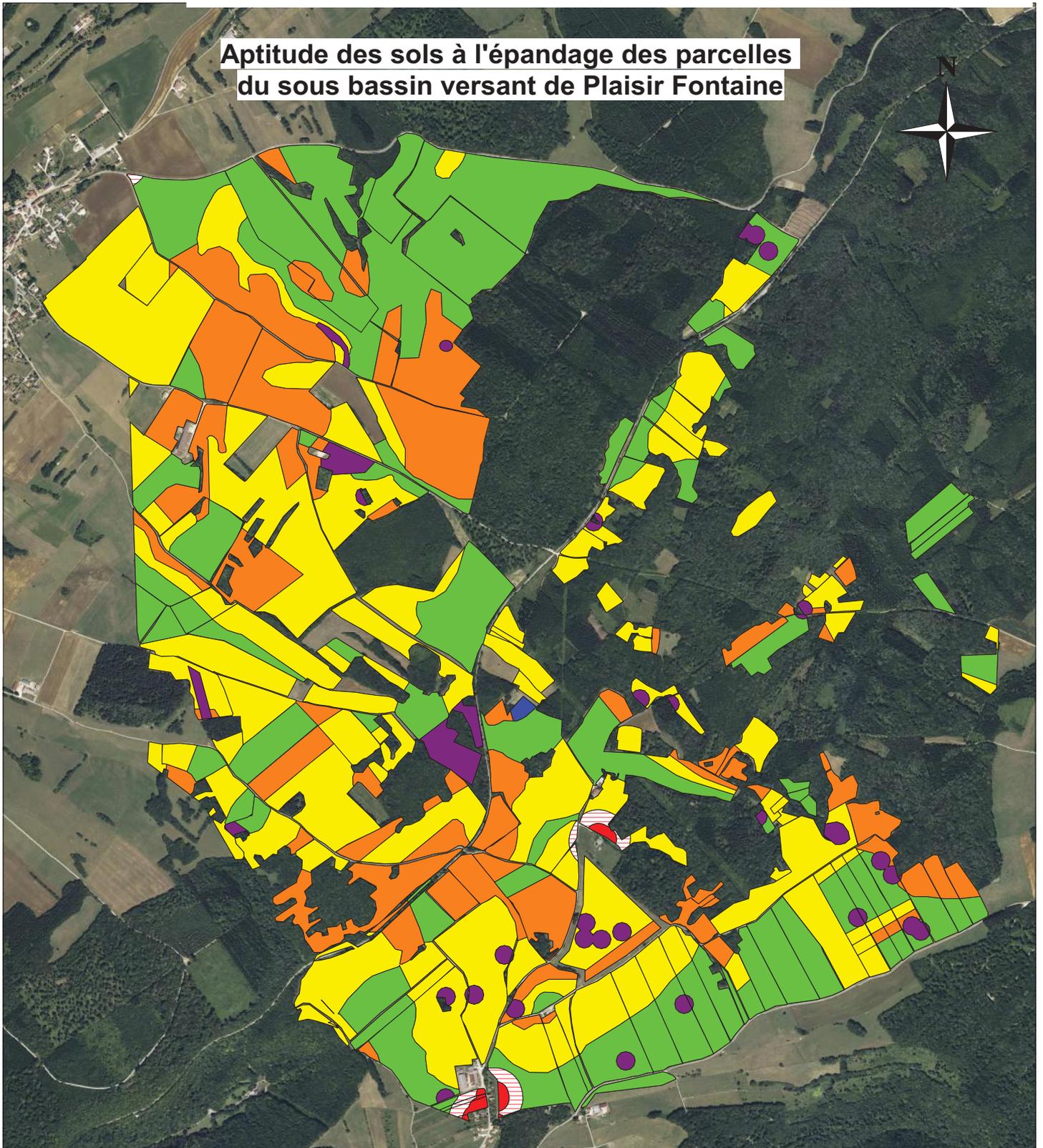
Sous-Bassin Versant de Plaisir Fontaine

Echelle : 1/550.000



IGN - BD ORTHO

Aptitude des sols à l'épandage des parcelles du sous bassin versant de Plaisir Fontaine



-  Exclusion réglementaire de tout épandage (tiers, cours d'eau ...)
-  Exclusion réglementaire d'épandage des effluents liquides, épandage de fumier possible
-  Exclusion pédologique de tout épandage (affleurements rocheux, dolines, sols très superficiels, zones humides ...)
-  Épandage de fumier possible, effluents liquides interdits (sols très superficiels)
-  Épandage de fumier possible, épandage d'effluents liquides possibles en dehors des périodes humides ou de déficit hydrique, sous respect du calendrier d'épandage (sols superficiels)
-  Épandage de fumier et d'effluents liquides possibles sous respect de calendrier d'épandage (sols profonds)
-  Épandage d'effluents liquides et solides possibles sur sol ressuyé et sur couvert végétal sous respect du calendrier d'épandage (sols hydromorphes)

Echelle : 1/20 000

Annexe 7 : Questionnaire d'enquête

Enquête agricole 2012/2013

Nom de l'exploitation :

Nom, Prénom :

Date de l'enquête :

Commune de l'exploitation :

Téléphone :

Doc à demander : Cahier d'épandage

Localisation des parcelles sur cartes

I) Identification de l'exploitation

1) Système de production :

Céréaliier

Mixte (polyculture élevage)

Bovin lait

Bovin viande

Porcin

Volaille

Equin

2) Assolement :

S.A.U totale :

STH : Ha

PT : Ha

> 5ans :

< 5ans :

TL Culture : Ha

- Maïs grain : Ha

- Maïs ensilage : Ha

- Blé : Ha

- OH : Ha

- OP : Ha

Colza : Ha

Triticale : Ha

Avoine : Ha

Autres : Ha

Nombre de parcelles dans le SBV-PF :

SAU dans le SBV-PF :

Votre parcellaire (sur le bassin versant) a-t-il changé depuis l'an dernier sur le bassin versant?
(acquisition, vente, échange) Oui Non

Exploitez-vous des parcelles dans le BV pour le compte d'autres agriculteurs ?

3) Succession culturales de l'exploitation

Type 1 :

C1	C2	C3	C4	C5	C6

Parcelles concernées dans le SBV-PF:

Type 2 :

C1	C2	C3	C4	C5	C6

Parcelles concernées dans le SBVPPF :

Type 3 :

C1	C2	C3	C4	C5	C6

Parcelles concernées dans le SBVPPF :

4) Fertilisation

Avez-vous un plan d'épandage ?

Avez-vous réalisé des analyses de vos effluents récemment?

Non

Oui TypeN.....P.....K

Comment estimez-vous les apports à réaliser ?

Prairies

Cultures

C'est par habitude

Vous adaptez selon le potentiel, l'objectif, ...

Grâce à un conseiller (coopérative, négociant, chambre, ...)

Par méthode raisonnée (logiciel, table, ...)

○ Avec RSH

○ Sans RSH

- Quantité d'azote minéral apporté aux prairies fauchées :u N/ha (1^{ère} coupe)

Avez-vous eu besoin de ressemer une prairie (du bassin versant) ? Oui Non

5) Troupeau

Troupeau	Type	Effectifs	Surface fourragère réservée
Laitier	Vaches laitières		
	Génisses – 1an		
	Génisses 1 à 2 ans		
	Génisses + 2 ans		
Allaitant	Vaches allaitantes		

Référence laitière :L/an(livré)L/an (Quota).....L/an (veaux)

Production par vache : L/VL (gestion) L/VL (contrôle laitier)

Quantité de concentré par litre de lait : g/L

ou quantité de concentré par vacheT/VL

- Utilisation de l'herbe en 1^{ère} coupe : % pâturé
 % fauché

- Rendement moyen annuel des surfaces de fauche : T M.S./ha

6) Conduite du pâturage à l'échelle de l'exploitation

Mode de conduite vache laitière en pâturage (Planning pâturage VL)

- Date mise à l'herbe :

- Date fin pâturage printemps (pâturage après 1^{ère} coupe)

- Date de rentrée hivernale :

- Durée du pâturage :

- Durée moyenne passage sur une parcelle :

- Surface pâturée :

8) Bâtiment d'élevage

Bâtiment Type de logement (<i>aire paillée, logette...</i>)	Animaux	Nombre	Tps bât (mois)	Type effluent – Taille stockage – Volume annuel

Ces bâtiments correspondent-ils à des mises aux normes récentes ? (Année)
(Pas de travaux nécessaires, travaux réalisés, en cours, pas de travaux...)

.....
 La capacité de stockage des effluents est-elle suffisante ?

Projets en cours ou prévus ?

II) Identification des pratiques sur les parcelles du SBVPF

- Identifier les pratiques sur les parcelles (feuille annexe)
- Indiquer les parcelles qui sont très dégradées par le passage des animaux
- Désigner sur la carte les zones de dépôts de fumiers
- Raisons cultures sur certaines parcelles (profondeur sol...)

Pour aller plus loin

- Vis-à-vis des différentes pratiques agricoles, quels sont les changements intervenus au sein de l'exploitation depuis le début des opérations collectives ?

.....
.....

- Que seriez-vous prêts à faire pour protéger l'eau sans hypothéquer sur les résultats de votre exploitation ?

Changement de pratiques culturales : (allongement des rotations avec introduction de légumineuses, luzerne, pois, prairie longue durée, conduite bas intrants, changement date retournement prairie), réaliser de reliquats azotés, réalisation d'essais, modification de systèmes

.....
.....

- Remarques

Nous vous remercions pour le temps que vous nous avez accordé et pour la qualité des renseignements que vous nous avez fournis.

N° de la parcelle :
 Surface :
 Conduite :

Prairie

Fertilisation

Année	Type d'engrais/ effluent	Date/Décade	Surface épandue	Dose kg/an

Mode d'exploitation différente au sein de la parcelle (redécoupage) ?

Dépôt de fumier sur la parcelle ?

Pâturage

	2012	2013
Type animaux		
Nbr animaux		
Date entrée		
Date sortie		
Durée		

Fauche

	Période de fauche		Rendement	
	2012	2013	2012	2013
1ere coupe				
2eme coupe				
3eme coupe				

N° parcelle :

Surface :

Culture

Fertilisation

Année	Type d'engrais/ effluent	Date/Décade	Surface épardue	Dose kg/ha

Année	Culture	Date implantation	Date récolte	Rendem ent	Paille exportée	Travail du sol	Date travail du sol	Profondeur

N° parcelle :

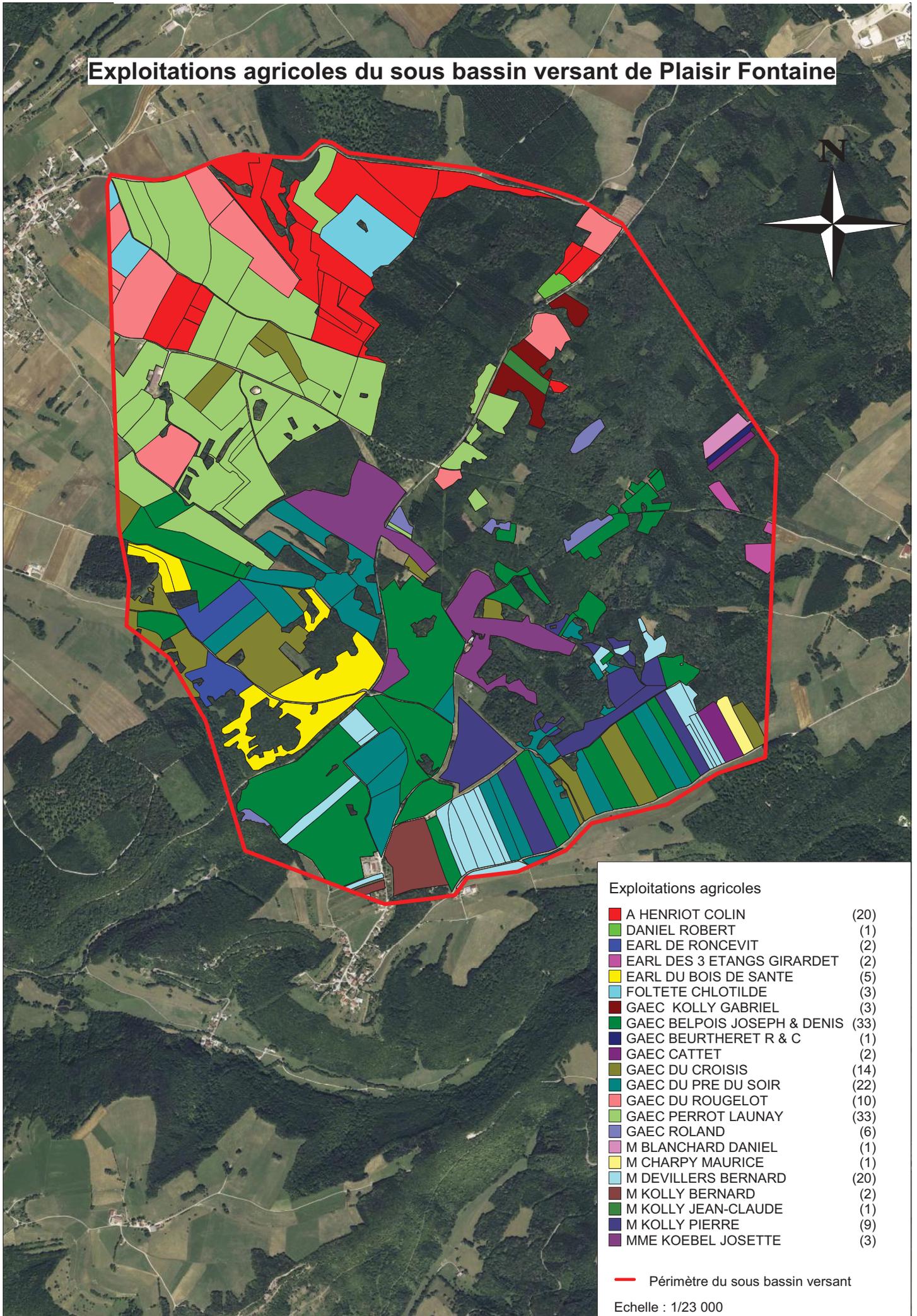
Surface :

Fertilisation

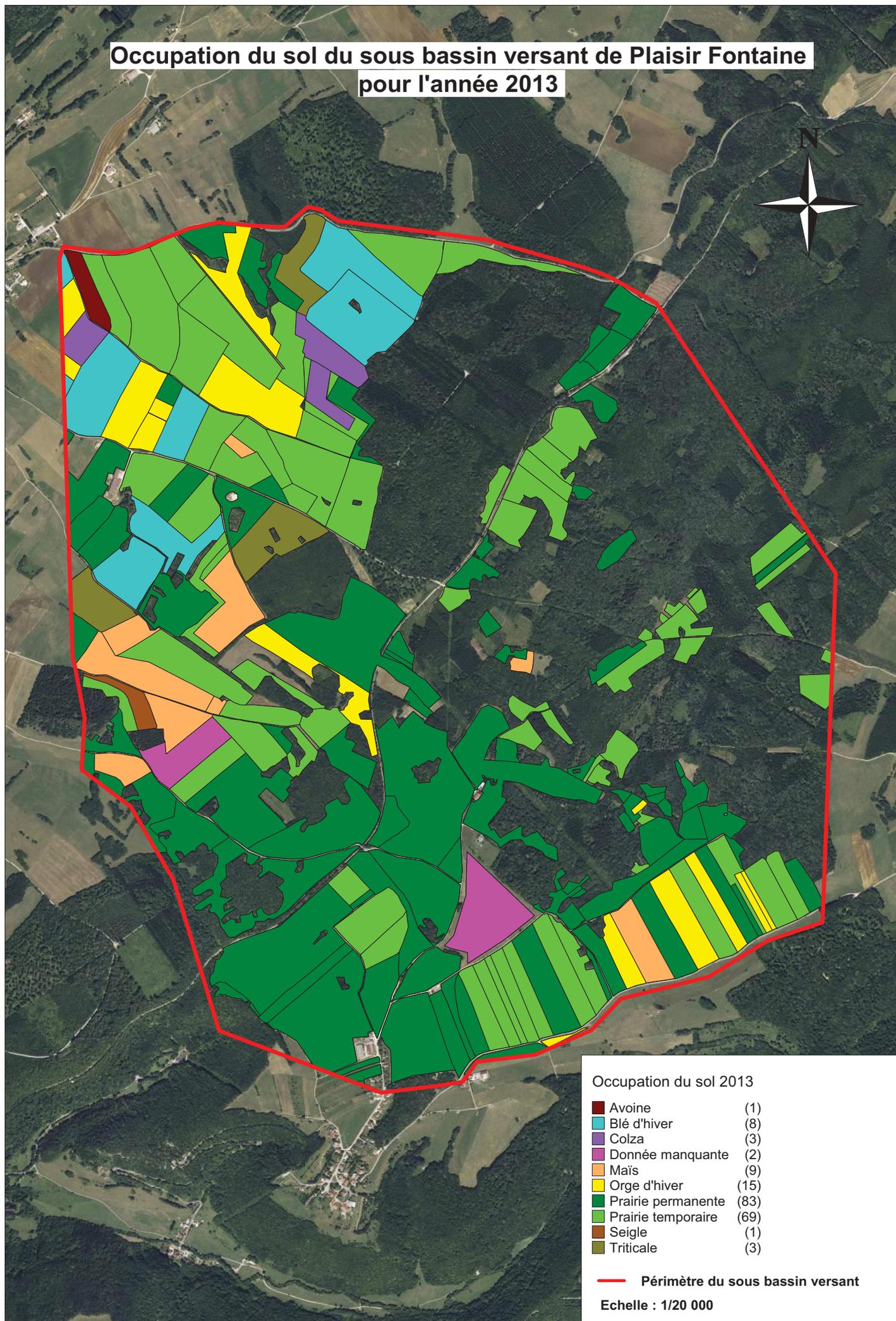
Année	Type d'engrais/ effluent	Date/Décade	Surface épardue	Dose kg/ha

Année	Culture	Date implantation	Date récolte	Rendem ent	Paille exportée	Travail du sol	Date travail du sol	Profondeur

Exploitations agricoles du sous bassin versant de Plaisir Fontaine



Occupation du sol du sous bassin versant de Plaisir Fontaine pour l'année 2013



Exploitation	Type_de_produit	Date_prél	Remarque_produit	Durée stockage	Type_danimaux	Type_bâtiment	Valeurs analyses effluents							Valeurs renseignées dans Syst'N				
							kg/T brut	kg/T brut	kg/T brut	kg/T brut	kg/T brut	kg/T brut		%	%	% de la matière brute	% de la matière brute	%
							N_Tot	N_minéral	P2O5	K2O	CaO	MgO	C/N	MS	MO %MS	N total en % de la matière brute	N NH4 en % de la matière brute	MS
GAEC BEURTHERET	Fumier de bovins	juin-11			VL		5,9	0,72	2,98	6,09	9,43	1,8	12	18,00%	82,80%	0,59	0,072	18
M DEVILLERS BERNARD	Fumier de bovins	mai-11	Fumier	2 mois	Génisses	Etable entravée	6,1	0,26	2,69	9,36	4,86	1,29	14	22,40%	78,40%	0,61	0,026	22,4
GAEC DU PRE DU SOIR	Fumier de bovins	mai-11	Fumier		Génisses	Aire paillée	3,1	0,13	7,08	16	6,42	2,55	32	25,40%	80,40%	0,31	0,013	25,4
M BLANCHARD DANIEL	Fumier de bovins	mai-11	Fumier	3 mois	VL + Génisses	Etable entravée	5,2	0,31	4,94	7,58	6,64	1,93	18	22,70%	83,10%	0,52	0,031	22,7
M BLANCHARD DANIEL	Purin de bovins	mai-11	Purin + EB		VL + Génisses	Etable entravée	0,8	0,51	0,05	2,22	0,15	0,1	2,8	0,88%	51,90%	0,08	0,051	0,88
EARL DES 3 ETANGS GIRARDET	Fumier de bovins	mai-11			VL + Génisses	Etable entravée	7,7	0,12	9,01	13,8	10,2	3,79	12	27,70%	69,70%	0,77	0,012	27,7
GAEC DU CROISIS	Fumier de bovins	mai-11			VL + Génisses		6,5	0,23	5,08	7,21	28,8	3,17	11	25,00%	59,90%	0,65	0,023	25
GAEC DU CROISIS	Lisier de bovins	mai-11			VL + Génisses		1,1	0,66	0,3	4,45	0,67	0,26	5,5	1,84%	66,80%	0,11	0,066	1,84
GAEC ROLAND	Fumier composté de bovins	mai-11	Fumier composté				4,6	0,12	5,16	8,87	11,8	2,35	18	23,80%	70,90%	0,46	0,012	23,8
GAEC ROLAND	Purin de bovins	mai-11			Jeunes Bovins	Fosse sur callebotis	0,6	0,32	0,29	3,38	0,57	0,24	5,3	1,32%	49,70%	0,06	0,032	1,32
GAEC ROLAND	Lisier de bovins	mai-11	Lisier + EB + EV				0,3	0,12	0,14	0,27	0,36	0,06	12	0,93%	45,70%	0,03	0,012	0,93
GAEC DU BOIS DE SANTE	Fumier de bovins	mai-11		9 mois	VL + Génisses	Logette paillée	15,3	0,37	5,4	12,6	14,9	3,85	14	51,70%	84,50%	1,53	0,037	51,7
GAEC DU BOIS DE SANTE	Purin de bovins	mai-11			VL + Génisses	Logette paillée	0,4	0,23	0,17	1,02	0,35	0,13	3,6	0,55%	51,30%	0,04	0,023	0,55
M KOLLY GABRIEL	Fumier de bovins	mai-11			VL	Logette paillée	6,1	0,72	4	9,81	10,5	1,95	15	24,70%	75,70%	0,61	0,072	24,7
GAEC PERROT LAUNAY	Fumier de bovins	décembre-12	Fumière non couverte	1,5 mois	VL	Logette paillée, raclée	3,9	0,48	1,94	3,48	3,99	0,78	18	16,00%	88,10%	0,39	0,048	16
GAEC PERROT LAUNAY	Purin de bovins	mai-11	Purin peu dilué		VL	Logette paillée, raclée	0,7	0,46	0,2	1,96	0,45	0,15	2,4	0,82%	39,60%	0,07	0,03	0,82
GAEC DE ROUGELOT	Fumier de bovins	mai-11		6 mois	Bovins		6,3	0,08	9,36	3	17,5	4,07	21	32,80%	81,90%	0,63	0,008	32,8
MR HENRIOT-COLIN ANTIDE	Fumier de bovins	mai-11					6,5	0,47	3,96	14,3	5,01	1,95	13	21,40%	84,60%	0,65	0,047	21,4
MR HENRIOT-COLIN ANTIDE	Purin de bovins	mai-11					1,6	0,99	0,43	6,15	0,63	0,26	3,2	2,04%	50,80%	0,16	0,099	2,04
GAEC BELPOIS	Fumier composté de bovins	juin-11	Fumier dépôt retourné 1 fois	6 mois	VL		3,8	0,54	1,75	5,35	6,03	0,82	24	21,40%	87,30%	0,38	0,054	21,4
GAEC BELPOIS	Purin de bovins	juin-11					0,9	0,43	0,23	3,79	0,5	0,24	5,2	1,63%	57,40%	0,09	0,043	1,63
EARL DE RONCEVIT	Fumier composté de bovins	mai 2012		2 mois	VL + Génisses	Pente paillée	4,7	0,17	2,78	7,04	7,11	1,32	15	20,00%	72,50%	0,47	0,017	20
GAEC DU PRE DU SOIR	Purin de bovins	mars 2012			VL		1,1	0,64	0,26	3,37	0,6	0,31	4,9	1,58%	71,50%	0,11	0,064	1,58
Gaec du Pré du Soir	Lisier de bovins	mars 2014	Lisier VL fosse sous caillebotis dilué par eaux vertes et blanches		VL	Logettes paillées + box attente caillebotis	1,05	0,31	0,34	1,38	0,84	0,22	17	4,03%	89,00%	0,105	0,031	4,03
Gaec du Rougelot	Lisier de bovins	mars 2014	Lisier VL + Génisses		VL + Génisses	Fosse extérieure ronde ouverte	2,57	0,82	1,27	3,24	1,81	0,52	9,7	5,67%	87,80%	0,257	0,082	5,67
EARL DES 3 ETANGS GIRARDET	Lisier de bovins	mai 2011			VL + Génisses		0,3	0,22	0,11	0,08	0,4	0,02	7,5	0,49%	51,90%	0,03	0,022	0,49
GAEC BEURTHERET	Lisier de bovins	avril 2013	Lisier VL + Génisse dilué par eaux vertes et blanches. Fosse sous caillebotis		VL + Génisses	Logettes raclée + caillebotis	2,8	1,18	0,85	4,53	1,11	0,42	6,9	4,68%	81,80%	0,28	0,118	4,68

Annexe 11 : Apports agricoles par décade pour les trois campagnes agricoles du sous bassin versant de Plaisir Fontaine

Décade (Année Mois Décade N°)	Apports en engrais minéraux de synthèse			Apports par les effluents d'élevage et produits organiques				
	en Kg	N	P2O5	K2O	Ntot	N orga dispo	N orga non dispo	P2O5
10 08 D1	0	215,6	323,41	293,8	102,83	190,97	178,99	646,36
10 08 D2	0	166,34	0	0	0	0	0	0
10 09 D1	0	434,43	651,65	0	0	0	0	0
10 09 D2	0	107,1	160,65	676,58	237,33	439,26	405,88	1022,1
10 09 D3	0	0	0	1533,5	766,73	766,73	892,4	1116,6
10 10 D1	0	1921,4	1861,5	86,4	43,2	43,2	34,56	86,4
10 10 D2	0	961,64	957,63	1082,9	541,45	541,45	416,5	124,95
10 10 D3	0	0	0	4849,2	1697,2	3152	6669,6	14222
10 11 D1	0	0	0	1520	531,99	987,99	967,26	1934,5
10 11 D2	0	0	0	64,167	32,083	32,083	18,333	179,67
10 11 D3	0	0	0	305,8	107,03	198,77	194,6	389,2
11 01 D1	0	0	0	588	205,8	382,2	348,6	876,4
11 01 D2	0	0	0	420	147	273	249	626
11 02 D1	0	0	0	700,78	294,47	406,31	417,68	934,84
11 02 D2	35,48	379,76	209,52	712,4	258,94	453,46	693,46	1827,2
11 02 D3	432,95	305,37	168,48	1227,2	450,53	776,7	662,75	1868,3
11 03 D1	2656,5	2945,8	1738,2	2888,2	1010,9	1877,4	1695,2	5449,2
11 03 D2	8767,4	2032,6	2378,2	925,54	335,86	589,68	891,96	1307
11 03 D3	1759,1	941,55	906,46	1351,9	642,01	709,86	788,63	2451,8
11 04 D1	6492	226,85	327,65	253,48	97,313	156,16	152,77	513,38
11 04 D2	2061,4	81,9	70,2	73,954	36,977	36,977	19,875	284,26
11 04 D3	535,7	0	0	0	0	0	0	0
11 05 D1	781,18	30,75	61,5	364,65	218,79	145,86	232,05	397,8
11 05 D2	452,15	56,52	138,16	0	0	0	0	0
11 05 D3	167,84	24,48	48,96	0	0	0	0	0
11 06 D1	2036,7	1384,9	534,6	0	0	0	0	0
11 06 D2	1859,5	0	0	292,86	109,01	183,85	382,49	294,31
11 06 D3	2010,3	0	91,4	0	0	0	0	0
11 07 D1	339,42	47,1	47,1	0	0	0	0	0
11 07 D3	0	0	0	164,84	57,694	107,15	128,83	182,85
11 08 D2	0	854,40	854,40	2840,82	1161,79	1679	2129,08	2544,19
11 08 D3	0	0	0	533,40	186,69	346,71	316,23	795,02
11 09 D1	0	462,96	0	863,30	302,16	561,15	567,10	1517,18
11 09 D2	0	282,60	0	0	0	0	0	0
11 10 D1	0	1822,29	1822,29	735,00	257,25	477,75	435,75	1095,50
11 10 D2	0	0	0	305,80	107,03	198,77	194,60	389,20
11 10 D3	0	0	273,00	1682,48	588,87	1093,6	1070,67	2141,33
11 11 D2	0	0	0	1790,05	627,36	1162,7	3385,81	7582,64

11 11 D3	0	0	0	0	0	0	0	0
12 01 D1	0	0	0	473,06	195,71	277,35	218,75	968,17
12 01 D2	0	0	0	735,00	257,25	477,75	435,75	1095,50
12 02 D2	0	473,72	261,36	0	0	0	0	0
12 02 D3	0	530,27	292,56	13,28	6,64	6,6375	5,31	13,28
12 03 D1	4938,84	4482,37	2358,12	4178,73	1462,56	2716,2	2616,77	7130,59
12 03 D2	6645,01	306,31	254,09	347,15	121,50	225,65	288,97	489,21
12 03 D3	1145,36	922,20	1080,06	300,63	136,77	163,86	119,30	734,17
12 04 D1	9774,37	427,50	471,40	222,00	111,00	111	166,50	277,50
12 04 D2	2981,96	113,09	167,83	0	0	0	0	0
12 04 D3	492,29	0	0	64,00	32,00	32	48,00	80,00
12 05 D1	13,11	0	0	0	0	0	0	0
12 06 D1	589,94	0	0	0	0	0	0	0
12 06 D2	2095,13	0	0	0	0	0	0	0
12 06 D3	0	26,00	9,00	0	0	0	0	0
12 07 D2	93,80	46,90	93,80	0	0	0	0	0
12 08 D2	987,36	0	0	0	0	0	0	0
12 09 D2	0	202,49	202,49	2495,9	1195,8	1300,1	1024,9	687,94
12 09 D3	0	0	0	232	116	116	69,6	371,2
12 10 D1	0	0	0	993,35	347,67	645,68	598,01	1435,1
12 10 D2	0	4045,5	1434,4	1807,5	632,61	1174,8	4128	9328,8
12 10 D3	0	0	0	576,68	201,87	374,8	366,98	733,95
12 11 D1	0	0	0	305,8	107,03	198,77	194,6	389,2
12 11 D2	0	0	0	1553,8	651,46	902,34	874,86	2473,7
13 01 D2	0	0	0	670,86	245,66	425,21	384,31	980,49
13 03 D2	6394,4	9232,7	6939,2	3489,9	1221,5	2268,4	1353,4	2966,4
13 03 D3	1798,2	0	0	5883,1	2080,1	3803	3240,1	8585
13 04 D1	3898,6	0	0	1809,2	1393,7	415,45	2518,3	6266
13 04 D2	4419,2	51,66	103,32	522,64	192,52	330,12	310,08	660,32
13 04 D3	1285,5	418,51	349,74	0	0	0	0	0
13 05 D1	363,31	0	0	0	0	0	0	0
13 05 D2	1216,5	0	0	0	0	0	0	0
13 06 D1	100,08	37,68	37,68	161,24	96,744	64,496	100,08	111,2
13 06 D2	5172,3	0	0	0	0	0	0	0
13 06 D3	5596,9	1150,5	1150,5	48	24	24	36	60
13 07 D1	683,5	341,75	341,75	0	0	0	0	0
13 07 D2	114,36	20,1	20,1	0	0	0	0	0
13 07 D3	166,52	144,31	55,505	0	0	0	0	0
TOTAL	91354	38660	29248	56011	21986	34024	43639	98638

Annexe 12 : Grille d'évaluation des notes de risque

Note 1 : Gestion des effluents d'élevage**1.1 Note effluents pour les prairies**

Type de culture	Type d'effluents	Période	Exclusions	TS < 20 cm	S 20 à 35 cm	P > 35 cm	Hydom
Prairie	Pas d'effluent	toute l'année	0	0	0	0	0
	Fumier	toute l'année	12	0	0	0	0
	Dépôt de fumier	toute l'année	12	12	6	0	12
	Lisier ou purin	période favorable	12	12	0	0	0
		période non favorable	12	12	9	6	12

Période favorable pour le lisier ou le purin sur prairies

Localisation	Début période favorable	Fin période favorable
1ers plateaux (400 à 700 m)	seuil 200°C - 7 jours (station de Sancey 490 m)	10 novembre
2èmes plateaux (700 à 1000 m)	seuil 200°C - 7 jours (station de Pontarlier 831 m)	1er novembre
montagne (> 1000 m)	seuil 200°C - 10 jours (station de Rochejean 1222 m)	20 octobre

Début de la période favorable pour le lisier ou le purin sur prairies

Année	1er plateaux	2èmes plateaux	montagne
2011	25/02/2011	05/03/2011	15/03/2011
2012	05/03/2012	15/03/2012	21/03/2012
2013	25/03/2013	04/04/2013	19/04/2013
2014	07/02/2014	18/02/2014	22/03/2014

1.2. Note effluents pour les cultures d'automne

Type de culture	Type d'effluents	Période	Exclusions	TS < 20 cm	S 20 à 35 cm	P > 35 cm	Hydom
Culture d'automne	Fumier	toute l'année	12	0	0	0	0
	Lisier ou purin	période favorable	12	12	0	0	0
		période défavorable	12	12	9	6	12

Période favorable pour le lisier ou le purin sur culture d'automne (seuil 200° J - 7 jours)

Localisation	Période favorable (été - automne)	Période défavorable (automne - hiver)	Période favorable (printemps)
1ers plateaux (400 à 700 m)	de la récolte de la culture précédente jusqu'au 1er novembre	du 1er novembre à la reprise au printemps	seuil 200°C - 7 jours (station de Sancey 490 m)
2èmes plateaux (700 à 1000 m)	de la récolte de la culture précédente jusqu'au 20 octobre	du 20 octobre à la reprise au printemps	seuil 200°C - 7 jours (station de Pontarlier 831 m)

1.3. Note effluents pour les cultures de printemps

Type de culture	Type d'effluents	Période	Exclusions	TS < 20 cm	S 20 à 35 cm	P > 35 cm	Hydom
Culture de printemps	Fumier	période favorable	12	0	0	0	0
		période défavorable	12	9	6	6	9
	Lisier ou purin	période favorable	12	12	0	0	0
		période défavorable	12	12	9	6	12

Période favorable pour le fumier sur culture de printemps

Localisation	Période défavorable (été précédent)	Période favorable (automne - hiver)
1ers plateaux (400 à 700 m)	avant le 1er septembre sur sol nu	à partir du 1er septembre et jusqu'au semis (y compris apports éventuels sur la culture de printemps après le semis)
2èmes plateaux (700 à 1000 m)		

Période favorable pour le lisier ou le purin sur culture de printemps

Localisation	Période défavorable (été - automne - hiver)	Période favorable (printemps)
1ers plateaux (400 à 700 m)	de la récolte de la culture précédente jusqu'à la reprise au printemps	à partir du seuil 200°C - 7 jours (station de Sancey 490 m)
2èmes plateaux (700 à 1000 m)	de la récolte de la culture précédente jusqu'à la reprise au printemps	à partir du seuil 200°C - 7 jours (station de Pontarlier 831 m)

Note 2 : Raisonnement de la fertilisation azotée

1 : écart entre l'azote apporté au printemps par rapport à une dose à dire d'experts

2 : prise en compte du fractionnement optimisé ou non (éviter les apports précoces, des doses trop élevées en un seul passage,...)

Fractionnement au printemps	Ecart à la dose conseillée	Note
Optimal	N Agri < Conseil - 25	0
	Conseil - 25 < N Agri < Conseil + 25	0
	Conseil + 25 < N Agri < Conseil + 50	6
	N Agri > Conseil + 50	12
Non optimal	N Agri < Conseil - 25	0
	Conseil - 25 < N Agri < Conseil + 25	3
	Conseil + 25 < N Agri < Conseil + 50	9
	N Agri > Conseil + 50	12

N agri = apport azoté du printemps (N minéral + N organique disponible)

Détermination du fractionnement optimal au printemps

Culture d'automne et prairies

Fractionnement optimal si absence d'un apport d'azote supérieur à 40 kg N/ha (min ou orga dispo) avant le début de la période favorable

Localisation	Début période favorable
1ers plateaux (400 à 700 m)	seuil 200°C - 7 jours (station de Sancey 490 m)
2èmes plateaux (700 à 1000 m)	seuil 200°C - 7 jours (station de Pontarlier 831 m)

Céréales de printemps

Fractionnement optimal si apports à la levée et au-delà pour des semis précoces ou apports au semis et au-delà pour des semis tardifs et si fractionnement (minimum 2 passages) pour des doses totales supérieures à 100 kg N/ha (N min + N orga disponible)

Fractionnement non optimal = si + de 50 % de la dose totale apportée avant le 15 mars

Maïs

Fractionnement optimal si apports à partir du semis et si fractionnement (minimum 2 passages) pour des doses totales supérieures à 100 kg N/ha (N min + N orga disponible)

Fractionnement non optimal = si + de 100 kg N/ha en 1 passage ou si + 50 kg N/ha avant le 15 avril

Doses conseillées (suite note 2)

Type de culture	Caractéristiques	rendement (T M.S. ou qx/ha)	Conseil en kg/ha (Nmin +orga disp)	
Prairie permanente ou temporaire	Pâturage VL	extensive (50 ares /UGB*)	15	
		intermédiaire (40 ares / UGB*)	30	
		intensive (30 ares /UGB*)	60	
	Pâturage Génisses	tout niveau de chargement		15
		<5		15
		5		30
		6		60
7		90		
Blé	Précédent PT	>7	120	
		40	100	
		50	110	
		60	120	
		70	130	
		80	140	
	Précédent Céréale ou Maïs	50	150	
		60	160	
		70	170	
	Précédent Colza	50	130	
		60	140	
		70	150	
Orge H et Triticale	Précédent Céréale ou Maïs	40	120	
		50	130	
		60	140	
		70	150	
	Précédent PT	80	160	
		30	70	
		40	80	
		50	90	
	Précédent Colza	60	100	
		70	110	
		50	110	
		60	120	
Colza	Peu développé	70	130	
		30	140	
	Très développé	>30	180	
Culture printemps (Avoine, Blé, Orge)			30	
			40	
Maïs vert/ens			12	
			14	
Betterave F			8	

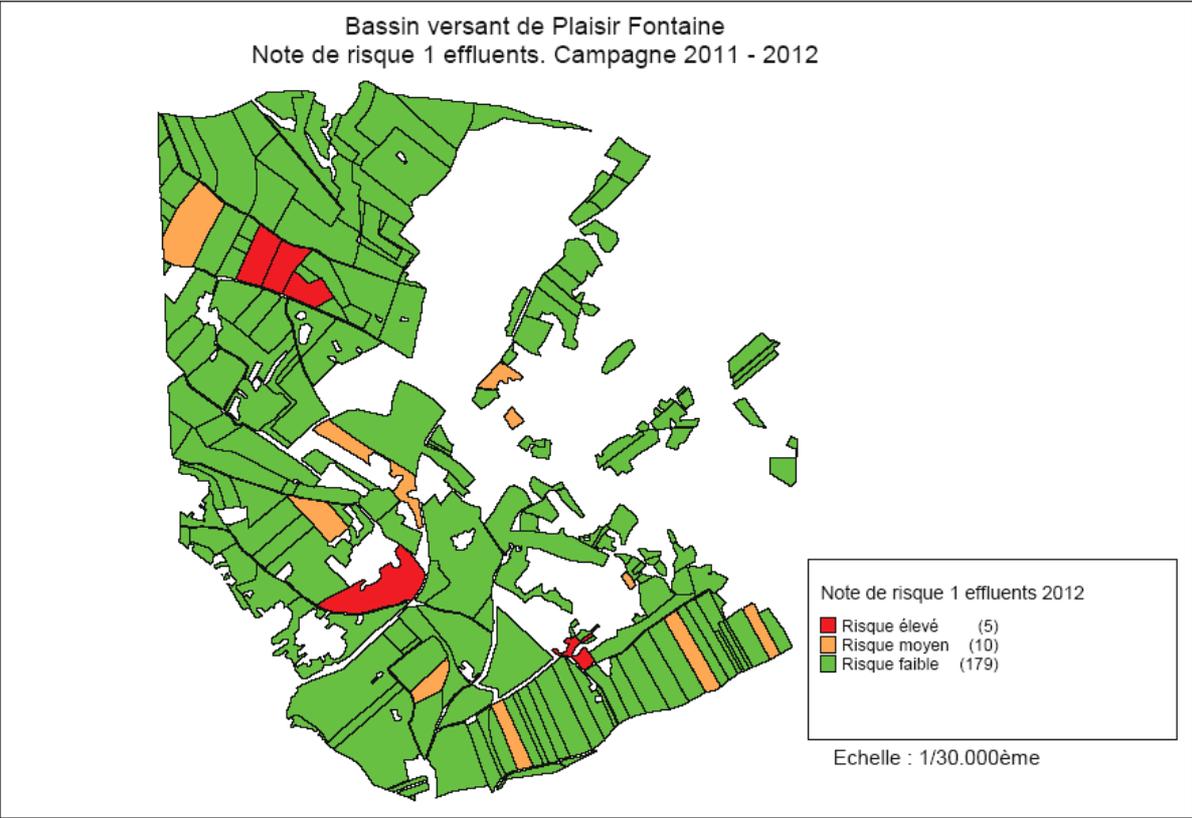
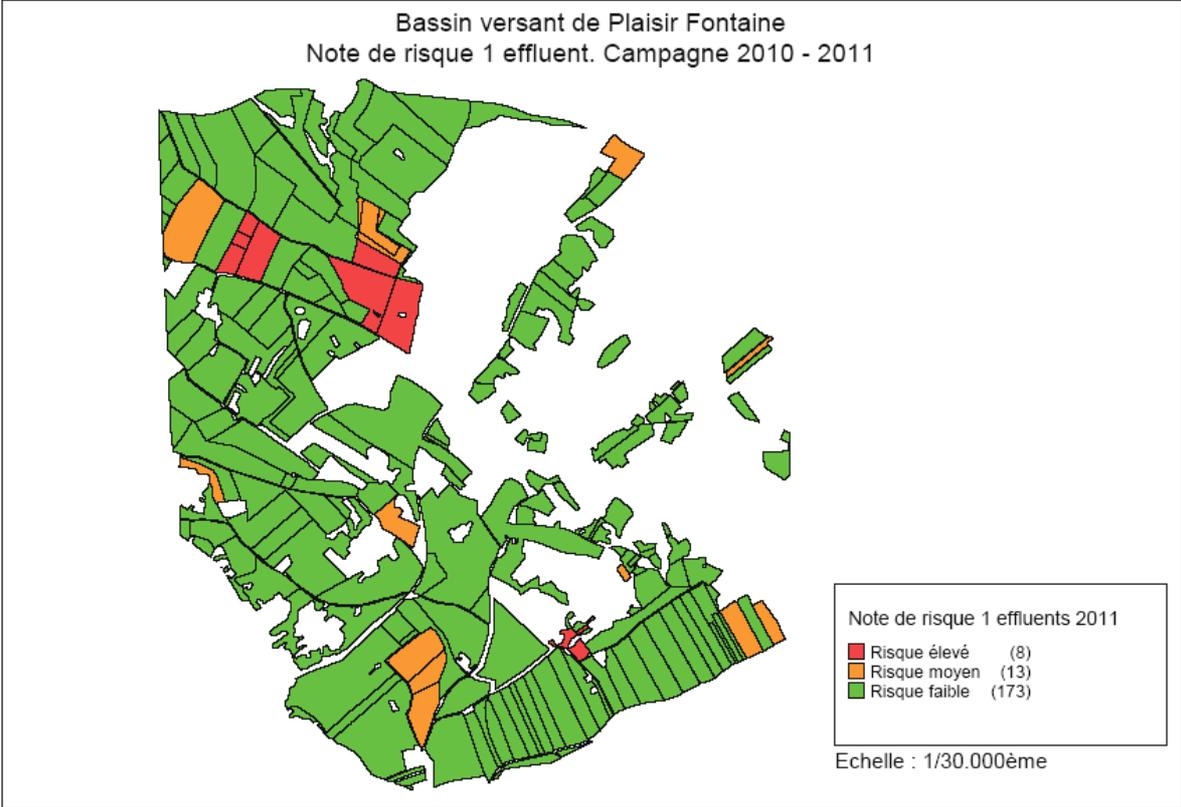
Note 3 : Occupation du sol et rotation

Couvert présent en hiver	Caractéristiques	Note			
		Effet retournement prairie			
		Prairie jamais retournée (PP)	Prairie retournée depuis moins d'un an	Prairie retournée depuis 1 à 3 ans	Prairie retournée depuis plus de 3 ans
Prairie	Fauche	0	6	3	1
	Pâturage Génisse	0	6	3	1
	Pâturage VL extensive (50 ares /UGB*)	1	7	4	2
	Pâturage VL intermédiaire (40 ares / UGB*)	2	8	5	3
	Pâturage VL intensive (30 ares /UGB*)	3	9	6	4
	Mixte	1	7	4	2

Couvert présent en hiver	Caractéristiques	Note			
		Effet retournement prairie			
		Aucune prairie retournée sur la parcelle	Prairie retournée depuis moins d'un an	Prairie retournée depuis 1 à 3 ans	Prairie retournée depuis plus de 3 ans
Colza	Faible développement	3	9	6	4
	Fort développement	0	6	3	1
Céréale d'hiver	Avec interculture avant semis	3	6	3	3
	Sans interculture	6	12	9	7
Interculture avant semis d'une culture de printemps		3	9	6	4
Sol nu avant semis d'une culture de printemps		9	12	12	10

Note globale

Risque	Note (1+2+3)
très faible	[0; 7]
faible]7; 14]
moyen]14; 21]
élevé]21; 28]
très élevé]28 à 36]



Bassin versant de Plaisir Fontaine
Note de risque 1 effluents. Campagne 2012 - 2013

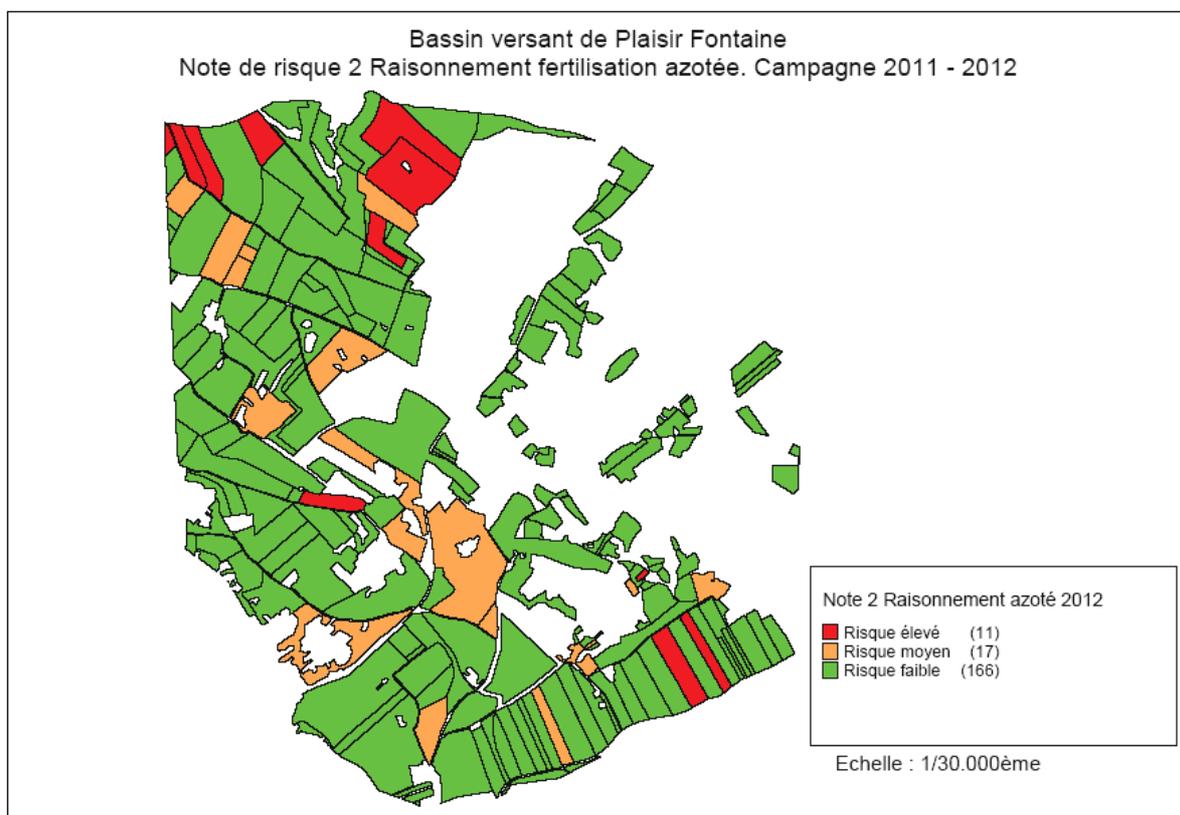
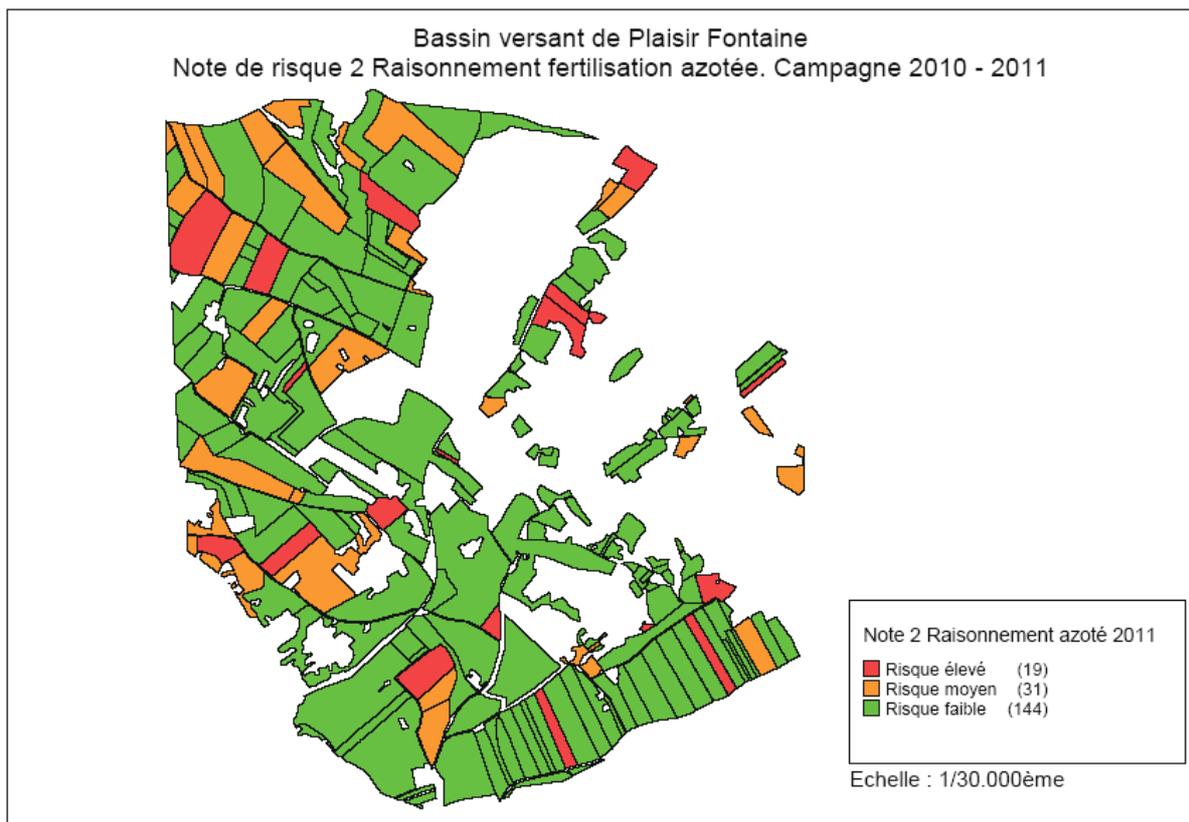


Note de risque 1 effluents 2013

Risque élevé	(2)
Risque modéré	(14)
Risque faible	(169)
non disp	(9)

Echelle : 1/30.000ème

Annexe 14 : Cartographies de la note 2 pour les campagnes 2010/2011 – 2011/2012 – 2012/2013



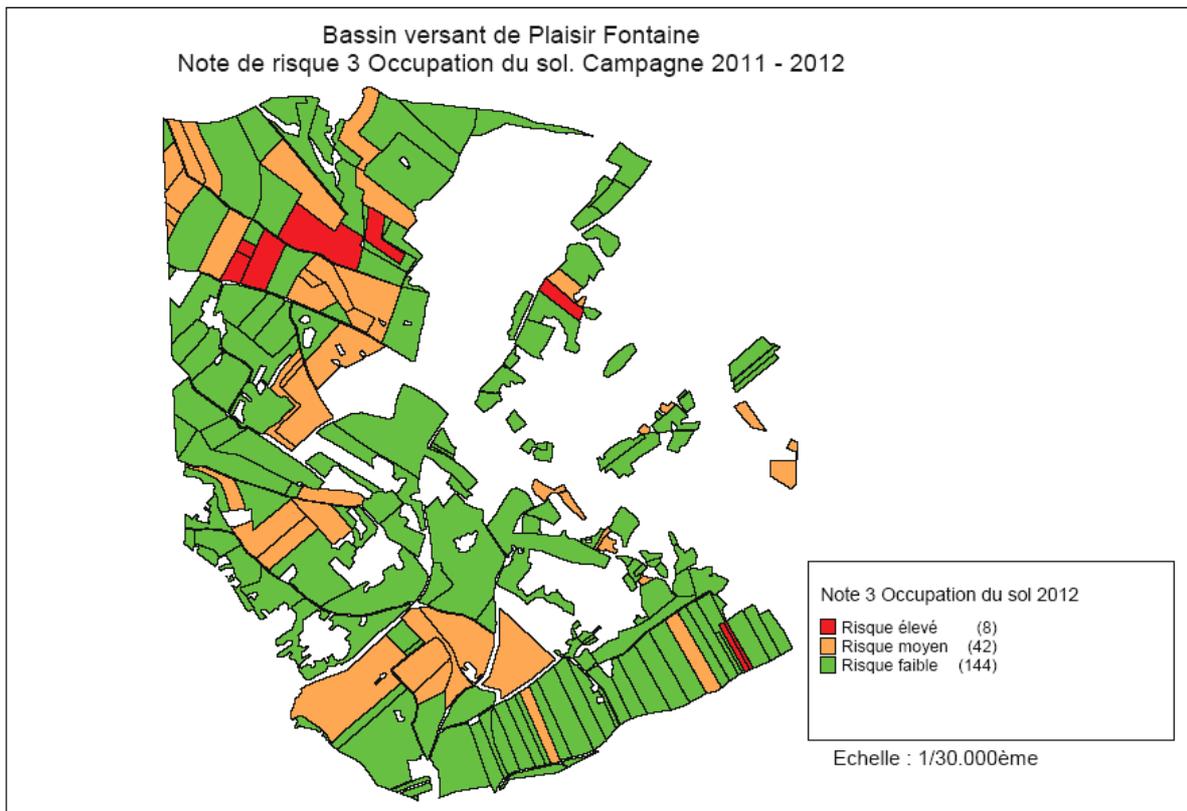
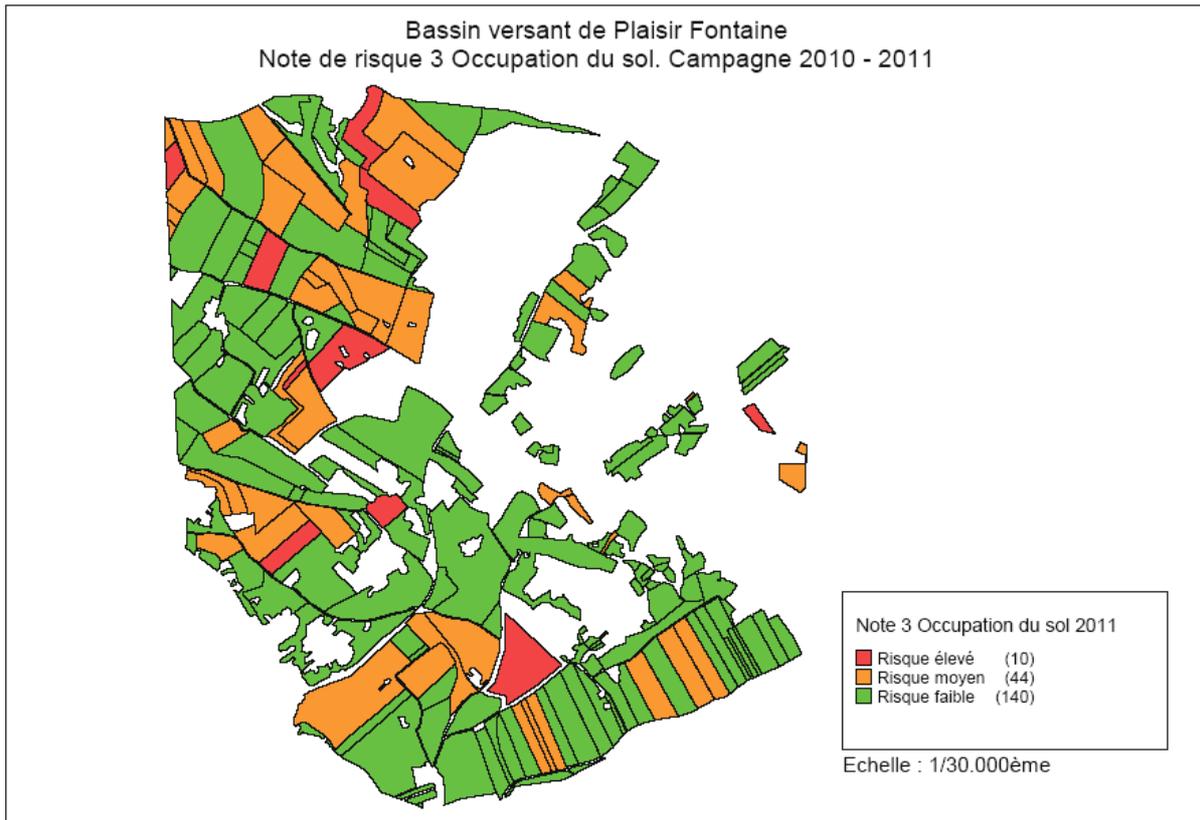
Bassin versant de Plaisir Fontaine
Note de risque 2 Raisonement fertilisation azotée. Campagne 2012 - 2013



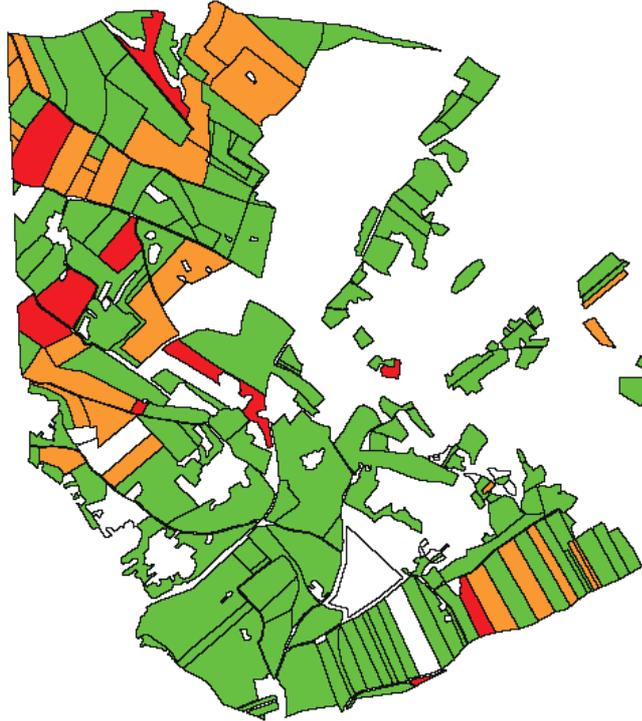
Note 2 Raisonement azoté 2013

■ Risque élevé	(31)
■ Risque moyen	(40)
■ Risque faible	(114)
□ non disp	(9)

Echelle : 1/30.000ème



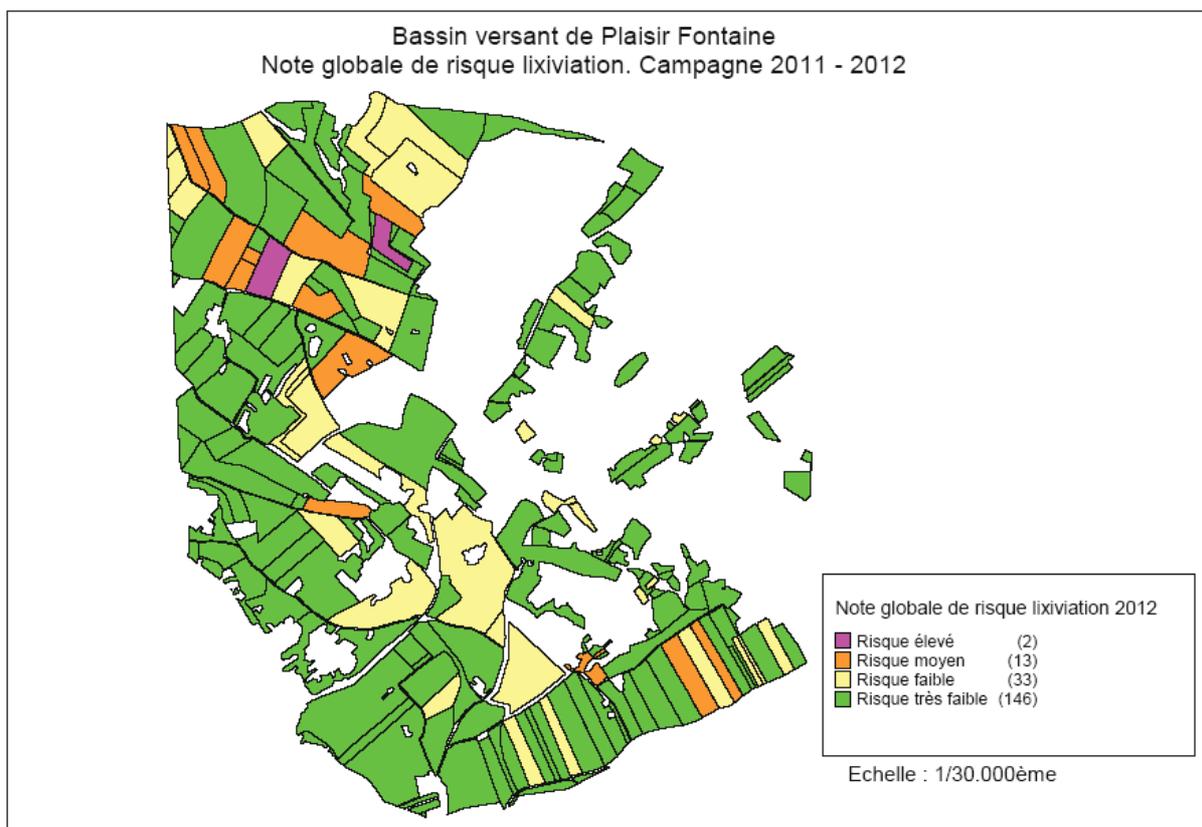
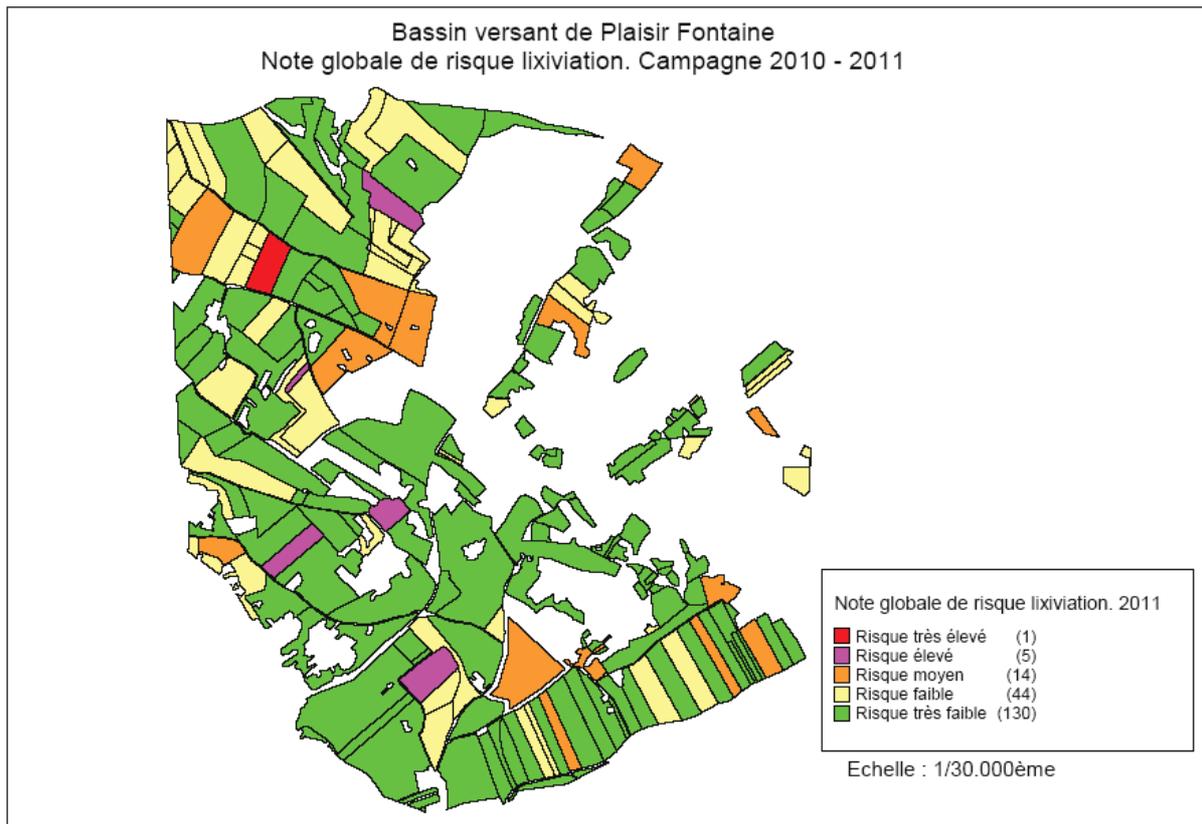
Bassin versant de Plaisir Fontaine
Note de risque 3 Occupation du sol. Campagne 2012 - 2013



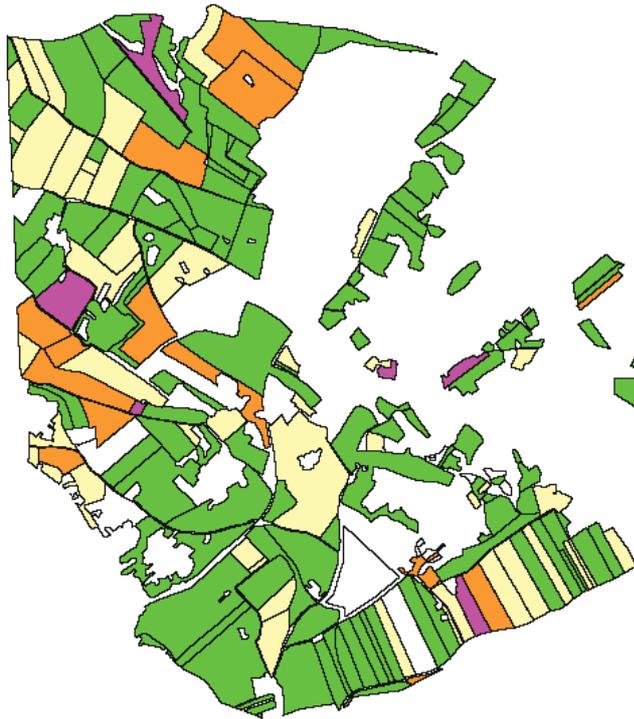
Note 3 Occupation du sol 2013

Risque élevé	(10)
Risque modéré	(30)
Risque faible	(145)
non disp	(9)

Echelle : 1/30.000ème



Bassin versant de Plaisir Fontaine
Note globale de risque lixiviation. Campagne 2012 - 2013



Note globale de risque lixiviation 2013

Risque élevé	(6)
Risque moyen	(14)
Risque faible	(45)
Risque très faible	(120)
non disp	(9)

Echelle : 1/30.000ème

Annexe 17 : Données météorologiques utilisées dans Syst’N

Les données 2010, 2011, 2012 et 2013 sont des données achetées auprès de Météo France. Les données météorologiques utilisées sont issues de stations voisines du sous bassin versant de Plaisir Fontaine (Besançon, Epenoy, Sancey le Grand et Pontarlier). Etant donné le manque de données pour les années précédentes, les années disponibles ont été recopiées suivant ce schéma.

2005 = 2013

2006 = 2010

2007 = 2011

2008 = 2012

2009 = 2013

2010

2011

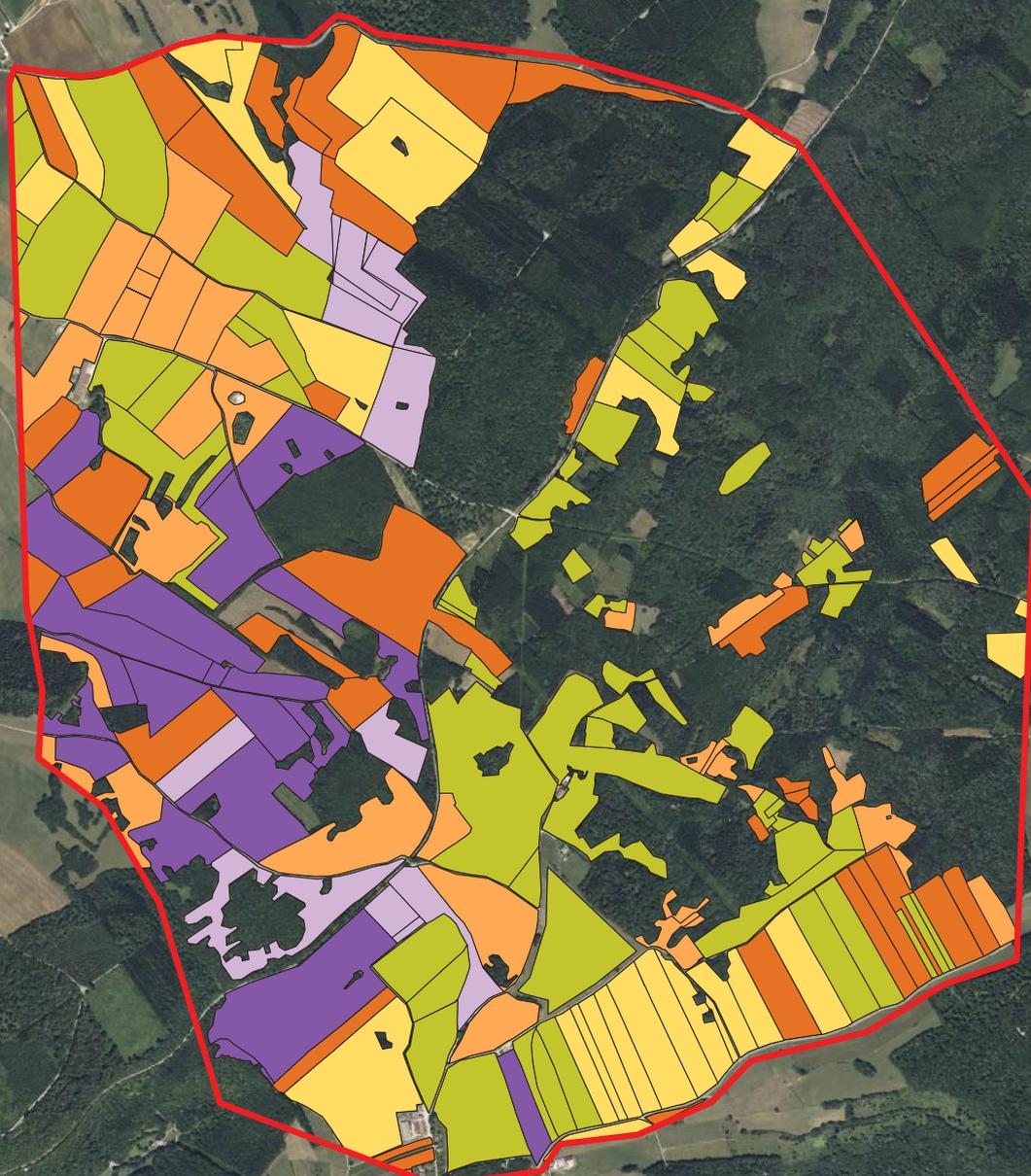
2012

2013

Annexe 18 : Données générales pour les cultures

Type de culture	Date du travail du sol	Date de semis	Date de récolte	Rendement	
				Sol Superficiel	Sol Profond
Maïs ensilage	10-nov	15-mai	25-sept	8 t MS	15 t MS
Triticale	25-sept	05-oct	20-juil	45 qtx	65 qtx
Orge d'hiver	16-sept	26-sept	15-juil	45 qtx	65 qtx
Blé	25-sept	05-oct	10-août	50 qtx	70qtx
Colza	15-août	25-août	01-août	25 qtx	35 qtx
Seigle	25-sept	05-oct	20-août	40 qtx	50qtx
Avoine de printemps	24-mars	31-mars	31-juil	40 qtx	50qtx

Sous bassin versant de Plaisir Fontaine
Cartographie des sols



Types de sols

- Sol limon argileux profond colluviosol 100 cm (38)
- Sol limon argileux profond colluviosol 60 cm (26)
- Sol limon argileux superficiel calcaire rendosol calcaire 25 cm (23)
- Sol argilo limoneux superficiel brunisol non calcaire 30 cm (63)
- Sol limon argileux très superficiel calcaire rendosol calcaire 20 cm (12)
- Sol argilo limoneux très superficiel brunisol non calcaire 20 cm (32)

Périmètre du sous bassin versant

Echelle 1/20 000 eme

- Caractéristiques des sols en prairie

Nom du sol	Type de sol	Profondeur (cm)	Texture (%Ar ; %Li ; % S)	Densité apparente	% N organique	% MO	C/N	CacO3	pH	Profondeur obstacle à l'enracinement en cm
Sol A	Limon argileux profond colluviosol	100	20 cm (25,9 – 68,7 – 5,4)	1,2	0,1	4	7,5	0	6,4	100
			40 cm (31,1 – 67,4 – 3,5)	1,25						
			40 cm (33,4 – 62,1 – 4,5)	1,35						
Sol Abis	Limon argileux profond colluviosol	60	20 cm (25,9 – 68,7 – 5,4)	1,2	0,1	4	7,5	0	6,4	60
			20 cm (31,1 – 67,4 – 3,5)	1,25						
			20 cm (33,4 – 62,1 – 4,5)	1,35						
Sol C	Argilo limoneux superficiel brunisol non calcaire	30	20 cm (34,9 – 59 – 6,1)	1,2	0,1	6	7,5	0	6,3	30
			10 cm (37,6 – 57,5 – 4,9)	1,25						
Sol B	Limon argileux superficiel calcaire rendosol calcaire	25	8 cm (28,5 – 58,4 – 13,1)	1,2	0,1	7	7,5	0	7,6	25
			17 cm (28,8 – 57,7 – 13,5)	1,25						
Sol D	Limon argileux très superficiel calcaire rendosol calcaire	20	8 cm (28,9 – 58,4 – 13,1)	1,2	0,1	7	7,5	0	7,6	20
			12 cm (28,8 – 57,7 – 13,5)	1,25						
Sol E	Argilo limoneux très superficiel brunisol non calcaire	20	(34,9 – 59 – 6,1)	1,2	0,1	7	7,5	0	6,3	20

- Caractéristiques des sols en culture

Nom du sol	Type de sol	Profondeur (cm)	Texture (%Ar ; %Li ; % S)	Densité apparente	% N organique	% MO	C/N	CacO3	pH	Profondeur obstacle à l'enracinement en cm
Sol A	Limon argileux profond colluviosol	100	20 cm (25,9 – 68,7 – 5,4)	1,35	0,1	3	7	0	6,4	100
			40 cm (31,1 – 67,4 – 3,5)	1,35						
			40 cm (33,4 – 62,1 – 4,5)	1,35						
Sol Abis	Limon argileux profond colluviosol	60	20 cm (25,9 – 68,7 – 5,4)	1,35	0,1	3	7	0	6,4	60
			20 cm (31,1 – 67,4 – 3,5)	1,35						
			20 cm (33,4 – 62,1 – 4,5)	1,35						
Sol C	Argilo limoneux superficiel brunisol non calcaire	30	20 cm (34,9 – 59 - 6,1)	1,35	0,1	4	7	0	6,3	30
			10 cm (37,6 – 57,5 – 4,9)	1,35						
Sol B	Limon argileux superficiel calcaire rendosol calcaire	25	8 cm (28,5 – 58,4 – 13,1)	1,35	0,1	5	7	0	7,6	25
			17 cm (28,8 – 57,7 – 13,5)	1,35						
Sol D	Limon argileux très superficiel calcaire rendosol calcaire	20	8 cm (28,9 – 58,4 – 13,1)	1,35	0,1	5	7	0	7,6	20
			12 cm (28,8 – 57,7 – 13,5)	1,35						
Sol E	Argilo limoneux très superficiel brunisol non calcaire	20	(34,9 – 59 – 6,1)	1,35	0,1	5	7	0	6,3	20

Annexe 21 : Valeurs des reliquats azotés sur certaines parcelles du sous bassin versant de Plaisir
Fontaine pour trois campagnes agricoles renseignées dans Syst'N

Reliquats 2011/2012

Parcelle	Type de couvert	REH NH ₄ kg/N/ha	REH NO ₃ kg/N/ha	REH Tot kg/N/ha	RSH NH ₄ kg/N/ha	RSH NO ₃ kg/N/ha	RSH Tot kg/N/ha
GBJD15	Céréale	13,6	76,5	90	13,6	34,9	48
AHC8A	Céréale	3,1	93,5	97	4,2	65,0	69
GBJD2	Céréale	4,8	93,8	99	8,5	37,6	46
GDR26	Céréale	3,5	98,9	102	3,2	58,4	62
GPL20D	Céréale	15,0	93,8	109	5,2	57,4	63
GPL18F	Céréale	20,0	130,2	150	22,8	45,6	68
KJC3	Céréale	18,1	140,6	159	21,8	50,2	72
GDC35	Céréale	29,0	169,0	198	43,0	50,1	93
AHC5H	Prairie	5,0	54,2	59	10,4	42,5	53
GPL18C	Prairie	1,9	60,8	63	12,5	44,4	57
KP4A	Prairie	11,7	53,1	65	19,8	51,3	71
GBJD11	Prairie	2,2	64,4	67	1,8	69,1	71
DB22	Prairie	2,0	66,0	68	2,5	61,9	64
GDC27	Prairie	14,5	63,2	78	23,3	39,5	63
GPS15	Prairie	9,9	78,3	88	43,8	34,9	79
GC10	Prairie	46,2	43,2	89	42,0	31,0	73
KB2	Prairie	9,9	84,6	95	7,2	94,8	102
GDR16	Prairie	8,6	89,2	98	31,4	69,4	101
GBJD7	Prairie	7,6	97,7	105	5,4	83,6	89
GPL1D	Prairie	11,0	111,0	122	19,0	101,3	120
FC3	Colza	14,2	34,0	48	24,6	24,6	49

Reliquats 2012/2013

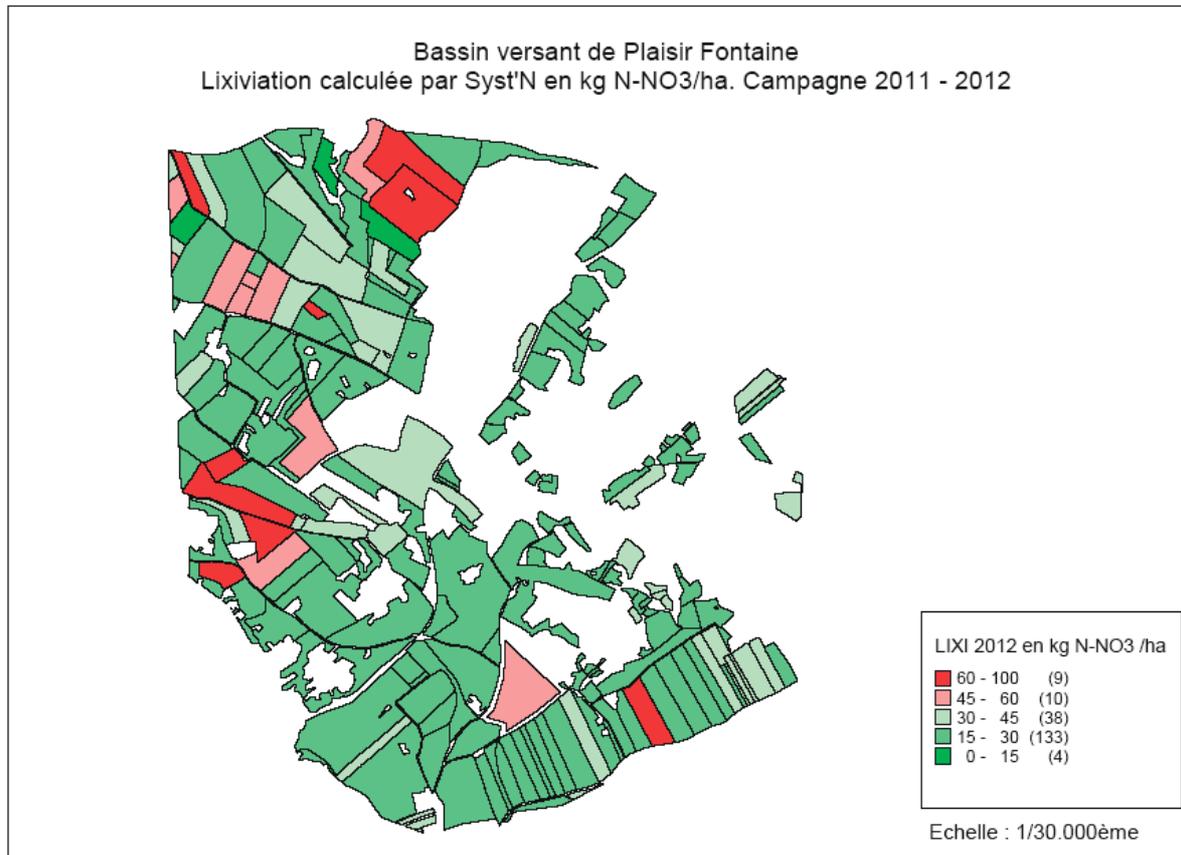
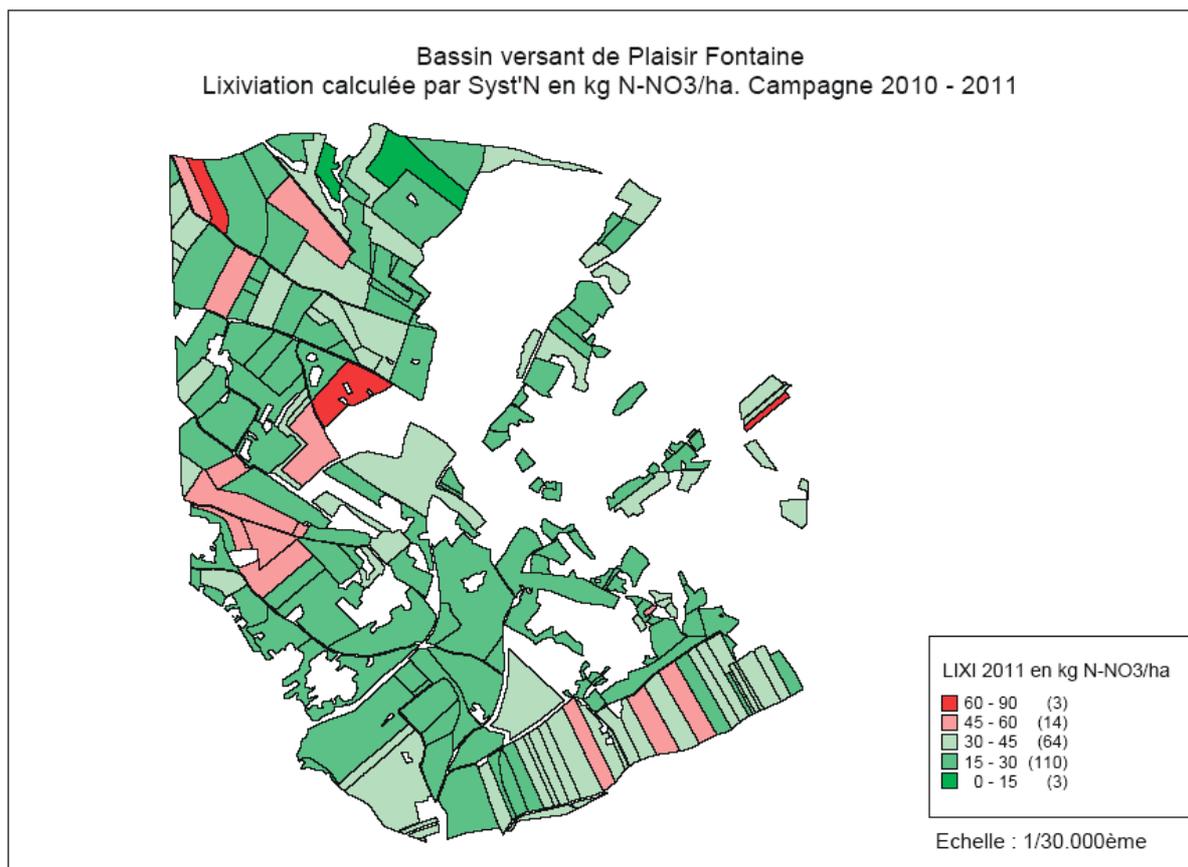
Parcelle	Type de couvert	REH NH ₄ kg/N/ha	REH NO ₃ kg/N/ha	REH Tot kg/N/ha	RSH NH ₄ kg/N/ha	RSH NO ₃ kg/N/ha	RSH Tot kg/N/ha
AHC6A	Céréale	59,6	40,6	100	27,9	33,3	61
AHC8A	Céréale	45,4	4,8	50	39,8	4,2	44
EDR4	Céréale	29,5	6,5	36	20,9	15,3	36
GPS19B	Céréale	37,9	100,7	139	28,0	47,9	76
CM1	Céréale	25,0	58,1	83	14,9	43,9	59
GPL20D	Céréale	36,5	7,3	44	21,6	14,9	37
GLP99	Céréale	58,5	17,6	76	61,6	28,8	90
AHC5H	Prairie	32,1	14,9	47	25,4	28,6	54
GBJD11	Prairie	47,4	16,4	64	27,8	40,4	68
GBJD7	Prairie	51,0	28,4	79	24,2	69,1	93
GBS22	Prairie	52,9	65,1	118	32,1	122,2	154
GC10	Prairie	11,0	48,8	60	15,0	46,1	61
GDC27	Prairie	13,5	37,9	51	9,8	36,6	46
GDC24	Prairie	17,0	34,1	51	18,0	47,7	66
GPS10	Prairie	25,3	9,8	35	18,2	19,0	37
GPS15	Prairie	62,0	32,4	94	20,7	80,2	101
GDR16	Prairie	6,9	46,2	53	7,6	50,2	58
GDR29	Prairie	16,0	66,9	83	19,0	63,0	82
GPL18C	Prairie	24,6	18,0	43	41,9	20,9	63

GPL18F	Prairie	20,0	43,9	64	14,1	30,1	44
GPL1D	Prairie	40,5	40,5	81	32,0	68,9	101
DB22	Prairie	37,9	17,9	56	37,5	23,8	61
KB2	Prairie	51,0	21,9	73	43,3	40,6	84
KP4A	Prairie	21,5	43,7	65	7,1	54,5	62
FC2	Colza	45,6	13,3	59	44,4	19,8	64
GBJD2	Sol nu	23,0	19,0	42	31,2	14,3	45
GLP20AB	Sol nu	52,8	14,1	67	68,6	11,4	80

Reliquats 2013/2014

Parcelle	Type de couvert	REH NH ₄ kg/N/ha	REH NO ₃ kg/N/ha	REH Tot kg/N/ha	RSH NH ₄ kg/N/ha	RSH NO ₃ kg/N/ha	RSH Tot kg/N/ha
AHC6A	Céréale	48,8	28,9	78	15,4	35,3	51
GC10	Céréale	69,2	48,2	117	27,9	65,7	94
GPS18	Céréale	44,8	55,7	101	21,9	51,9	74
GLP20A	Céréale	43,8	42,9	87	26,4	30,2	57
GPL20D	Céréale	33,5	10,4	44	30,7	11,2	42
AHC5H	Prairie	35,8	19,9	56	28,7	31,9	61
GBJD11	Prairie	46,9	19,9	67	25,1	47,5	73
GBJD7	Prairie	36,0	44,1	80	15,2	43,8	59
GBS22	Prairie	72,8	64,9	138	35,0	69,0	104
GDC27	Prairie	17,0	40,2	57	11,7	27,0	39
GDC24	Prairie	18,1	35,2	53	24,3	32,5	57
GPS10	Prairie	29,5	4,2	34	22,3	8,8	31
GPS15	Prairie	51,0	23,3	74	43,3	36,1	79
GDR16	Prairie	14,7	38,4	53	12,4	50,4	63
GDR29	Prairie	23,0	56,9	80	24,0	84,1	108
GPL18C	Prairie	21,2	15,8	37	23,6	28,3	52
GPL18F	Prairie	7,5	45,2	53	29,4	60,7	90
GPL1D	Prairie	48,6	44,6	93	40,1	53,1	93
DB22	Prairie	41,3	9,3	51	27,1	26,3	53
KB2	Prairie	40,1	36,5	77	20,7	35,1	56
AHC8A	Colza	23,7	7,7	31	13,3	11,9	25
GBJD2	Sol nu	25,5	12,4	38	21,2	13,6	35

Annexe 22 : Cartographies de l'azote lixivié calculé par Syst'N pour les campagnes
2010/2011 – 2011/2012 – 2012/2013



Bassin versant de Plaisir Fontaine
Lixiviation calculée par Syst'N en kg N-NO₃/ha. Campagne 2012 - 2013



LIXI 2013 en kg N-NO₃/ha

120 - 155	(5)
90 - 120	(27)
60 - 90	(95)
30 - 60	(65)
0 - 30	(2)

Echelle : 1/30.000ème

Annexe 23 : Paramétrage du modèle Syst'N pour la parcelle FC3 et AHC7A

Itinéraire technique de la parcelle en culture FC3

Type de culture	Date du travail du sol	Date de semis	Date de récolte	Rendement
Blé	26-sept	06-oct	10-août	70
Orge d'hiver	16-sept	26-sept	15-juil	62,5
Colza	16-août	26-août	02-août	35
Blé	25-sept	07-oct	11-août	70

Fertilisation minérale

Type culture	Type fertilisant	Date	Unités N (kg/ha)
Blé 1	Ammo 33,5	22-mars	74
	Ammo 33,5	13-avr	70
	Sulfate d'ammoniaque	17-avr	48
Orge 2	Ammo 33,5	22-mars	74
	Ammo 33,5	13-avr	70
Colza 3	Sulfate d'ammoniaque	22-mars	41
	Ammo 33,5	13-avr	60
Blé 4	Ammo 33,5	22-mars	74
	Ammo 33,5	13-avr	70
	Sulfate d'ammoniaque	17-avr	48

Type travail du sol : Labour
 Précédent : Colza
 Date récolte précédent : 01 août
 Rendement : 35 qtx

Fertilisation organique

Type culture	Type effluent	Date	Dose	Unité	% N total	% NH4	MS
Blé 4	Boue de station d'épuration	12-sept	18	T MS	0,9	0,1	93

Itinéraire technique de la parcelle en culture AHC7A

Type de culture	Date du travail du sol	Date de semis	Date de récolte	Rendement
Prairie permanente	-	01-janv	-	6 t MS
Prairie permanente	-	-	-	-
Prairie permanente	-	-	-	-
Prairie permanente	-	-	31-juil	-

Fertilisation minérale

Type culture	Type fertilisant	Date	Unités N (kg/ha)
Prairie permanente 1	Ammo 33,5	12-mars	36
	Ammo 33,5	12-juin	29
Prairie permanente 2	Ammo 33,5	15-mars	36
	Ammo 33,5	02-juin	29
Prairie permanente 3	Ammo 33,5	21-mars	36
	Ammo 33,5	09-juin	29
Prairie permanente 4	Ammo 33,5	25-mars	36
	Ammo 33,5	12-juin	29

Fertilisation organique

Type culture	Type effluent	Date	Dose	Unité	% N total	% NH4	MS
Prairie permanente 1	Fumier de bovin stocké décomposé	10-mars	15	T MF	0,65	0,047	21,4
Prairie permanente 2	Fumier de bovin stocké décomposé	05-avr	17,5	T MF	0,65	0,047	21,4
Prairie permanente 3	Fumier de bovin stocké décomposé	04-mars	10	T MF	0,65	0,047	21,4
Prairie permanente 4	Fumier de bovin stocké décomposé	10-mars	15	T MF	0,65	0,047	21,4

Fauche

Patûrage

Type culture	Date de fauche	Hauteur restante en cm	Type de culture	Date début	Date Fin	Hauteur restante
Prairie permanente 1	14-juin	16	Prairie permanente 1	01-août	02-août	4
				20-août	22-août	4
	16-juil	20		20-sept	21-sept	4
Prairie permanente 2	03-juin	16	Prairie permanente 2	03-août	04-août	4
	20-juil	20		26-août	27-août	4
				25-sept	26-sept	4
Prairie permanente 3	03-juin	16	Prairie permanente 3	01-sept	02-sept	4
	18-juil	20		15-sept	16-sept	4
Prairie permanente 4	11-juin	16	Prairie permanente 4	01-août	05-août	4
	05-juil	20		26-août	29-août	4

CONVENTION DE STAGE stage effectué dans le cadre de la formation initiale et en France

Vu la loi n°2013-660 du 22 Juillet 2013 relative à l'enseignement supérieur et à la recherche et ses décrets d'application,
Vu la loi n°2011-893 du 28 juillet 2011 relatif au développement de l'alternance et la sécurisation des parcours professionnels et ses décrets d'application
Vu le décret 2013-756 du 19 août 2013 relatif aux dispositions réglementaires des livres VI et VII du code de l'éducation.

La présente convention intervient entre :

l'Université de Picardie Jules Verne, représentée par son président, Monsieur Michel BRAZIER, ci-après désignée « l'université »

et

l'organisme d'accueil Chambre Interdépartementale d'Agriculture du Doubs et du Territoire de Belfort
Adresse : 130 bis rue de Belfort BP 939 25021 BESANÇON CEDEX, FRANCE
représentée par M. Mr Daniel PRIEUR
ci-après désigné(e) « l'organisme d'accueil »

et **Mademoiselle THOUVENIN PAULINE** inscrit(e) en : **MASTER Ecosystèmes, agrosystèmes, Développement durable, Ecologie, Agroécologie, Biodiversité, 2ème année.**
Adresse personnelle : 2 chemin du Breuil 54630 FLAVIGNY-SUR-MOSELLE (54196), FRANCE Mail :
pauline.thouvenin@etud.u-picardie.fr
ci-après désigné(e) « le stagiaire »

Article 1 - PROJET PEDAGOGIQUE ET CONTENU DU STAGE

1.1 Projet, objectifs et finalités du stage

Le stage a pour but de préparer l'étudiant à l'entrée dans la vie active, par une meilleure connaissance de l'organisme d'accueil, et de réduire son temps d'adaptation à l'emploi. Le stage s'inscrit dans le cadre de la formation et du projet personnel et professionnel de l'étudiant, et lui donne la possibilité de se préparer à une ou aux épreuves du diplôme suivi.

Le stage de formation a pour objet d'assurer l'application pratique de l'enseignement donné sans que l'organisme d'accueil puisse retirer aucun profit direct de la présence du stagiaire dans son organisme. Le représentant de l'organisme d'accueil s'engage, en conséquence, à ne faire exécuter par le stagiaire, compte tenu de ses études, que des travaux qui concourent à sa formation professionnelle.

Le programme du stage est établi par le maître de stage dans l'organisme d'accueil en accord avec le responsable pédagogique du stagiaire au sein de l'université et en fonction du programme général suivi par l'étudiant et de sa spécialisation.

1.2 Mission du stage et activités

La mission du stage est la suivante : **Acquisition de données auprès des éleveurs par la réalisation d'enquêtes (pratiques de fertilisation minérales et organiques de la dernière campagne agricole). Élaboration et validation d'indicateurs de risque vis-à-vis de la pollution de l'eau en milieu karstique à l'échelle d'un bassin versant de 520 ha de SAU. -- Élaboration de cartes de risque croisant plusieurs indicateurs à l'échelle de l'exploitation et de la parcelle (occupation du sol, pratiques d'épandage, raisonnement de la fertilisation) et les comparer avec les campagnes précédentes. -- Valorisation des simulations réalisées en 2013 avec l'outil Syst N et possibilité de comparer pour quelques situations types les résultats de Syst N avec ceux de PaSim. --**
Elle est portée à la connaissance du stagiaire qui l'accepte.

Les activités confiées au stagiaire en fonction des objectifs de formations sont définies ci-après : **Les objectifs de ce travail sont de mieux comprendre les phénomènes, d'identifier les pratiques à risques et de mettre en place des actions**

Article 2 - MODALITES DU STAGE

2.1 Statut du stagiaire

Le stagiaire, pendant la durée de son stage dans l'organisme d'accueil, conserve son statut d'étudiant. Il est suivi régulièrement par le responsable pédagogique de l'université. L'organisme d'accueil nomme un maître de stage chargé d'assurer le suivi et d'optimiser les conditions de réalisation du stage.

2.2 Dates et durée

Les dates du stage sont fixées : du **03 février 2014** au **25 juillet 2014**

Nombre de jours de présence effective en cas de stage dans une administration ou établissement public de l'Etat à caractère non industriel ou commercial : **125**

Un avenant à la convention pourra éventuellement être établi en cas de modification des modalités de stage faite à la demande de l'organisme d'accueil et du stagiaire. La durée cumulée des périodes de stages ne peut dépasser six mois par année d'enseignement. La date de fin de stage ne peut être postérieure au 30 septembre de l'année en cours. Si tel était le cas, le stagiaire doit se réinscrire à l'université et une nouvelle convention doit être établie.

2.3 Temps de présence

La durée du stage s'évalue en fonction du temps de présence du stagiaire au sein de l'organisme d'accueil. Elle peut se calculer en mois, semaine, jour.

Présence du stagiaire pendant les jours ouvrés de l'organisme d'accueil: **Horaire 35h : Lundi de 9h-12h et 13h-17h. Mardi à jeudi 8h-12h et 13h-17h. Vendredi 8h-12h.**

(préciser la fréquence -ex : tous les jours, 1 semaine sur 2, tous les lundis, du ... au ... et du ... au ...).

2.4 Lieu de stage

Le stage se déroulera dans les locaux de l'organisme d'accueil à l'adresse suivante **130 bis rue de Belfort BP 939 25021 BESANÇON CEDEX, FRANCE**

2.5 Accueil et encadrement

Le suivi du stage pendant toute sa durée, est :

assuré par **Mlle Prevost Genevieve**, responsable pédagogique du stagiaire, et encadré par **Monsieur TOURENNE Didier**, maître de stage dans l'organisme d'accueil.

2.6 Horaires

La durée hebdomadaire de présence du stagiaire dans l'organisme d'accueil sera de : **35 heures**. (durée maximale s'il s'agit d'une entreprise privée ou publique, d'une association ou d'un EPIC).

Lorsque le stage implique des conditions de travail particulières (travail de nuit, dimanche ou jours fériés, etc...) la nature et la durée de ces obligations doivent être spécifiées précisément ci-dessous :

Sans objet

Article 3 - GRATIFICATION - AVANTAGES EN NATURE - REMBOURSEMENT DE FRAIS

3.1 Lorsque la durée du stage au sein d'une même entreprise, administration publique, assemblée parlementaire, assemblée consultative, association, ou tout autre organisme d'accueil sur le territoire français, est supérieure à deux mois consécutifs, ou, au cours, d'une même année universitaire, à deux mois consécutifs ou non, le stage fait l'objet d'une gratification versée mensuellement.

La gratification est fixée par convention de branche ou accord professionnel, par défaut à 12.5% du plafond horaire de la sécurité sociale défini en application de l'article L241-3 du code de la sécurité sociale pour une durée légale de travail hebdomadaire de 35 heures.

La durée du stage s'apprécie compte-tenu de la présente convention et des éventuels avenants ayant pour effet de la prolonger.

3.2 Lorsque la durée du stage est inférieure ou égale à deux mois, sur le territoire français, le stagiaire peut percevoir une gratification.

3.3 Montant de la gratification **Non renseigné**

3.4 Si le stagiaire bénéficie d'avantages en nature (gratuité des repas par exemple), le montant représentant la valeur de ces avantages sera ajouté au montant de la gratification mensuelle avant comparaison aux 12.5% du plafond horaire de la sécurité sociale pour une durée légale de travail hebdomadaire de 35 heures.

Liste des avantages offerts : **remboursement des frais (déplacements, photocopie, téléphone,?)**.

Le stagiaire accède aux activités sociales et culturelles mentionnées à l'article L2323-83 du code du travail dans les mêmes

conditions que les salariés.

3.5 Les frais de déplacement et d'hébergement engagés par le stagiaire à la demande de l'organisme d'accueil, ainsi que les frais de formation éventuellement nécessités par le stage, seront intégralement pris en charge par l'organisme d'accueil selon les modalités en vigueur au sein de celui-ci.

Article 4 - PROTECTION SOCIALE

Pendant la durée du stage, le stagiaire reste affilié à son système de sécurité sociale antérieur. Tous les stagiaires bénéficient d'une protection contre les risques accidents du travail et maladies professionnelles. Ils sont rattachés au régime général de la Sécurité Sociale.

Le paiement des cotisations accidents du travail et maladies professionnelles auprès de la Caisse Primaire d'Assurance Maladie (CPAM) est assuré obligatoirement par l'Université ou le rectorat de l'académie en l'absence de rémunération ou lorsque la gratification est égale ou inférieure à 12,5% du plafond horaire de la sécurité sociale.

C'est la CPAM du lieu du domicile du stagiaire qui est compétente en matière d'accident du travail.

Les dispositions suivantes sont applicables :

4.1 Gratification inférieure ou égale au produit de 12,5% du plafond horaire de la sécurité sociale par le nombre d'heures de stage effectuées au cours du mois considéré : dans ce cas, conformément à la législation en vigueur, la gratification du stage n'est pas soumise à cotisation sociale.

Le stagiaire continue à bénéficier de la législation sur les accidents de travail au titre de l'article L 412-8-2 du code de la Sécurité Sociale, régime étudiant. En cas d'accident survenant au stagiaire, soit au cours des travaux dans l'organisme d'accueil, soit au cours du trajet, soit sur les lieux rendus utiles pour les besoins de son stage, l'organisme d'accueil envoie la déclaration à la CPAM en mentionnant l'Université de Picardie Jules Verne comme employeur, avec copie à l'université (n° de SIRET de l'Université Picardie Jules Verne : 19801344300017).

4.2 Gratification supérieure au produit de 12,5 % du plafond horaire de la sécurité sociale par le nombre d'heures de stage effectuées au cours du mois considéré : les cotisations sociales sont calculées sur le différentiel entre le montant de la gratification et 12,5 % du plafond horaire de la Sécurité Sociale pour une durée légale de travail hebdomadaire de 35 heures. Le stagiaire bénéficie de la couverture légale en application des dispositions des articles L 411-1 et suivants du code de la Sécurité Sociale. En cas d'accident survenant au stagiaire, soit au cours des travaux dans l'organisme d'accueil, soit au cours du trajet, soit sur des lieux rendus utiles pour les besoins de son stage, l'organisme d'accueil, employeur, effectue toutes les démarches nécessaires auprès de la CPAM et informe l'université dans les meilleurs délais.

La couverture concerne les accidents survenus :

- dans l'enceinte du lieu du stage et aux heures de stage.
- sur le trajet aller-retour habituel entre la résidence du stagiaire pendant le stage et le lieu du stage.
- sur le trajet aller-retour (début et fin de stage) du domicile du stagiaire habituel et le lieu de résidence pendant le stage.
- dans le cadre d'une mission confiée par l'organisme d'accueil et obligatoirement sur ordre de mission.

Dans tous les cas:

- si le stagiaire est victime d'un accident du travail durant le stage, l'organisme d'accueil doit impérativement signaler immédiatement cet accident à l'université.
- si le stagiaire remplit des missions limitées en dehors de l'organisme d'accueil ou en dehors du pays du stage, l'organisme d'accueil doit prendre toutes les dispositions nécessaires pour lui fournir les assurances appropriées.

Article 5 - RESPONSABILITE CIVILE ET ASSURANCES

L'organisme d'accueil et le stagiaire déclarent être garantis au titre de la responsabilité civile.

Compagnie d'assurance du stagiaire : **MAE : mutuelle assurance de l'éducation N° 0007439179**

Quelle que soit la nature du stage, le stagiaire s'engage à se couvrir par un contrat d'assurance individuel accident.

Lorsque l'organisme d'accueil met un véhicule à la disposition du stagiaire, il lui incombe de vérifier préalablement que la police d'assurance du véhicule couvre son utilisation par un stagiaire.

Lorsque dans le cadre de son stage, le stagiaire utilise son propre véhicule ou un véhicule prêté par un tiers, il déclare expressément à l'assureur dudit véhicule cette utilisation et le cas échéant, s'acquitte de la prime afférente.

Article 6 - REGLEMENT INTERIEUR ET DISCIPLINE

Durant son stage, le stagiaire est soumis à la discipline et au règlement intérieur qui doit être porté à sa connaissance,

notamment en ce qui concerne les horaires, et les règles d'hygiène et de sécurité en vigueur dans l'organisme d'accueil. Toute sanction disciplinaire ne peut être décidée que par l'université. L'organisme d'accueil informe l'université des manquements et lui fournit éventuellement les éléments constitutifs. En cas de manquement particulièrement grave à la discipline, l'organisme d'accueil se réserve le droit de mettre fin au stage tout en respectant les dispositions détaillées à l'article 7.

Article 7 - ABSENCE ET INTERRUPTION DU STAGE

Le stagiaire peut bénéficier d'absences sous réserve d'accord de l'organisme d'accueil et que la durée du stage soit respectée.

Le stage peut être suspendu en cas d'absence temporaire justifiée (maladie, maternité ...). Le stagiaire doit avertir le plus rapidement possible l'organisme d'accueil qui le fait connaître au responsable pédagogique de l'université par courrier.

Toute difficulté survenue dans le déroulement du stage devra être portée à la connaissance de tous les intéressés afin d'être résolue au plus vite.

En cas de volonté d'une des trois parties (organisme d'accueil, université, stagiaire) d'interrompre définitivement le stage, celle-ci devra immédiatement en informer les deux autres parties par écrit. Les raisons invoquées seront examinées en étroite concertation. La décision définitive d'interruption du stage ne sera prise qu'à l'issue de cette phase de concertation.

Dans tous les cas, la gratification est calculée prorata temporis.

En aucun cas, le stagiaire ne bénéficie de droit aux congés payés.

Article 8 - DEVOIR DE RESERVE ET CONFIDENTIALITE

Le devoir de réserve est de rigueur absolue. Le stagiaire prend donc l'engagement de n'utiliser en aucun cas les informations recueillies ou obtenues, aux fins de publication ou de communication à des tiers, sans accord préalable de l'organisme d'accueil, y compris le rapport de stage. Cet engagement vaudra non seulement pour la durée du stage mais également après son expiration. Le stagiaire s'engage à ne conserver, emporter, ou prendre copie d'aucun document ou logiciel, de quelque nature que ce soit, appartenant à l'organisme d'accueil, sauf accord de ce dernier.

Dans le cadre de la confidentialité des informations contenues dans le rapport, l'organisme d'accueil peut demander une restriction de la diffusion du rapport, voire le retrait de certains éléments très confidentiels. Les personnes amenées à en connaître sont contraintes, par le secret professionnel, à n'utiliser ni ne divulguer les informations du rapport.

Article 9 - PROPRIETE INTELLECTUELLE

Conformément au code de la propriété intellectuelle, si le travail du stagiaire donne lieu à la création d'une oeuvre protégée par le droit d'auteur ou la propriété industrielle (y compris un logiciel), si l'organisme d'accueil souhaite l'utiliser et que le stagiaire est d'accord, un contrat devra être signé entre le stagiaire (auteur) et l'organisme d'accueil. Devront notamment être précisés l'étendue des droits cédés, l'éventuelle exclusivité, la destination, les supports utilisés et la durée de la cession, ainsi que, le cas échéant, le montant de la rémunération due au stagiaire au titre de la cession.

Cette clause s'applique également dans le cas des stages dans les organismes publics.

Article 10 - RECRUTEMENT

S'il advenait qu'un contrat de travail prenant effet avant la date de fin du stage soit signé avec l'organisme d'accueil, la présente convention deviendrait caduque; le stagiaire ne relèverait plus de la responsabilité de l'université. Cette dernière devrait impérativement en être avertie avant la signature du contrat de travail.

Article 11 - FIN DE STAGE - RAPPORT - EVALUATION

A l'issue du stage, l'organisme d'accueil délivre au stagiaire une attestation de stage. Il remplit une fiche d'évaluation de l'activité du stagiaire qu'il retourne à l'université.

Le stagiaire doit remettre un rapport de stage au responsable pédagogique ainsi qu'à l'organisme d'accueil. Le maître de stage de l'organisme d'accueil ou tout autre membre de cet organisme appelé à se rendre à l'université dans le cadre de la préparation, du déroulement et de la validation du stage, ne peut prétendre à une quelconque prise en charge ou indemnisation de la part de l'université.

L'accueil successif de stagiaires, au titre de conventions de stage différentes, pour effectuer des stages dans un même poste,

n'est possible qu'à l'expiration d'un délai de carence égal au tiers de la durée du stage précédent. Cette disposition n'est pas applicable lorsque ce stage précédent a été interrompu avant son terme à l'initiative du stagiaire.

Article 12 - DROIT APPLICABLE - TRIBUNAUX COMPETENTS

La présente convention est régie exclusivement par le droit français. Tout litige non résolu par voie amiable sera soumis à la compétence de la juridiction française compétente.

Fait à Amiens, le 16 Décembre 2013

Pour l'organisme d'accueil

Chambre Interdépartementale d'Agriculture du Doubs et du Territoire de Belfort

Chambre Interdépartementale d'Agriculture

Doubs-Territoire de Belfort

130 bis rue de Belfort

B.P. 939

25021 BESANÇON Cedex

Tél. 03 81 65 52 52 - Fax 03 81 65 52 78

Le stagiaire

THOUVENIN PAULINE

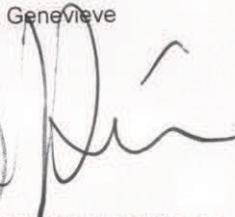


Le responsable de formation

Mlle Prevost Genevieve



Pour l'Université de Picardie Jules Verne
Mr Michel BRAZIER



La Responsable Administrative

Monique POMAGEOT



RESUME

Le contexte départemental du Doubs, situé en grande partie en milieu karstique connaît depuis quelques années des épisodes de pollutions sur ces rivières. En effet, les rivières de la Loue, du Dessoubre, et du Doubs franco-suisse connaissent des états occasionnellement ou régulièrement dégradés : eutrophisation, mortalité piscicole, perte de productivité ou de biodiversité des populations piscicoles. Certaines pratiques agricoles sont régulièrement mises en cause lors d'épisode de mortalités piscicoles en particulier sur la rivière de la Loue classée en haute valeur piscicole. Depuis 2011, la Chambre d'Agriculture du Doubs et Territoire de Belfort recensent les pratiques agricoles sur le sous bassin versant de Plaisir Fontaine à dominante agricole qui sert de bassin test et de référence pour la Loue. A partir des données recueillies auprès des agriculteurs sur les pratiques de fertilisation azotée, une méthode d'évaluation des risques de pollution des eaux par les nitrates, adaptée au contexte spécifique du bassin versant de la Loue a été réalisée. Le principe de cette méthodologie repose sur la combinaison de trois notes évaluant la gestion des effluents, le raisonnement de la fertilisation azotée et l'occupation du sol. Cette méthode permet de mettre en avant les pratiques les plus à risque.

De plus, afin de quantifier les flux d'azote à l'échelle du sous bassin versant de Plaisir Fontaine et de comprendre les phénomènes, les parcelles agricoles ont été simulées avec le modèle scientifique Syst'N.

Cette étude dresse un état des lieux des pratiques agricoles à risques en matière de lixiviation des nitrates. De plus, elle dresse les premiers résultats des pertes d'azote ainsi que les premières interprétations des phénomènes sur le sous bassin versant. Les principaux enseignements de cette étude permettront de proposer des conseils adaptés et d'optimiser la communication et sensibilisation réalisées auprès des agriculteurs du département.

Mots clés : pratiques agricoles, flux d'azote, lixiviation, département du Doubs

ABSTRACT

The departmental context of Doubs, situated largely in karstic environment knows since a few years of the episodes of pollutions on these rivers. Indeed, the rivers of the Loue, of Dessoubre, and the Franco-Swiss Doubs know states occasional or regular degraded eutrophication, fish kills, loss of productivity and biodiversity of fish populations. Certain agricultural practices are regularly accused during episode of fish mortalities in particular on the river Loue classified in high fish value. Since 2011, the Chamber of Agriculture of Doubs and Belfort Territory identify the agricultural practices in the sub-watershed of Plaisir Fontaine predominantly agricultural which serves catchment area test and reference for the Loue. Using data collected from farmers on practices nitrogen fertilization, a method for risk assessment of water pollution by nitrates, adapted to the specific context of the Loue catchment area was realized. The principle of this methodology is based on the combination of three notes estimating effluent management, the reasoning of nitrogen fertilization and land use. This method points out the most risky practices.

Furthermore, to quantify the flows of nitrogen on the scale of the sub-watershed of Plaisir Fontaine and to understand the phenomena, the agricultural practices of land were simulated with the scientific model Syst' N.

This study establishes a picture of agricultural risk practices on nitrate leaching. In addition, it establishes the first results of nitrogen losses and the early interpretations of the phenomena on the sub watershed. The main lessons of this study will provide appropriate advice and optimize the communication and awareness realized with farmers in the department.

Keywords : agricultural practices, flows of nitrogen, nitrate leaching, Doubs department