



Evaluation environnementale d'un système bovin viande et cultures en Agriculture biologique : cas de la ferme expérimentale de Thorigné d'Anjou

Laëtitia Prévost

► To cite this version:

Laëtitia Prévost. Evaluation environnementale d'un système bovin viande et cultures en Agriculture biologique : cas de la ferme expérimentale de Thorigné d'Anjou. Sciences de l'environnement. 2014. hal-01836364

HAL Id: hal-01836364

<https://hal.univ-lorraine.fr/hal-01836364>

Submitted on 12 Jul 2018

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

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



AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-memoires-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>

2013–2014

MASTER FAGE

Biologie et Ecologie pour la Forêt, l'Agronomie et l'Environnement

Spécialité Fonctionnement et Gestion des Ecosystèmes

Option Agro-écologie

**Evaluation environnementale d'un système bovin viande et cultures en
Agriculture biologique :**

Cas de la ferme expérimentale de Thorigné d'Anjou



Laetitia PREVOST

Mémoire de stage, soutenu à Nancy le 2 septembre 2014

Hélène CHAMBAUT, Chef de projet Evaluation Environnementale-Energie

Yves LE ROUX, Professeur des universités, Université de Lorraine-ENSAIA

Institut de l'Elevage, 9 rue André Brouard, 49105 ANGERS



Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier ma maître de stage Hélène Chambaut, pour m'avoir accordé sa confiance afin de mener à bien ce projet, pour tout ce qu'elle m'a appris et pour sa bonne humeur quotidienne. Je la remercie également pour le temps qu'elle a pris pour répondre à mes questions, même pendant ces congés ! Réaliser mon stage de fin d'études auprès d'Hélène a été très agréable et enrichissant, merci beaucoup.

Je remercie également Jean-Paul Coutard, responsable de la ferme expérimentale de Thorigné d'Anjou, pour son accueil à la ferme, le temps qu'il m'a accordé pour mes nombreuses questions sur le fonctionnement de la ferme et pour me transmettre les données nécessaires à l'avancée du stage. Je tiens aussi à remercier Julien Fortin, ingénieur travaillant également sur le site expérimental, pour avoir répondu à mes interrogations toujours avec une grande rapidité.

Je tiens ensuite à remercier toute l'équipe de l'antenne d'Angers de l'Institut de l'Elevage pour leur accueil chaleureux. Leur gentillesse et leur convivialité ont contribué au bon déroulement de ces six mois de stage. Un grand merci à Corinne Maigret et Muriel Reullier pour leur bonne humeur et gaité quotidienne, pour leur présence et leur soutien tout au long de mon séjour à l'Institut. Merci également à Philippe Brunschwig et Patrice Pierre pour les conseils qu'ils m'ont apporté pour ce projet. Merci à Guillaume Jarret, stagiaire également à l'Institut, pour ses conseils et son aide et avec qui j'ai travaillé durant la fin de mon stage sur le projet Cantogether.

Je remercie également les stagiaires précédents Marion Benoît, Francis Bougarel, Mélina Coudert, et Marie Fréville qui ont travaillé sur la même étude et dont les travaux m'ont été très utiles pour réaliser cette cinquième campagne d'évaluation et sa synthèse.

Enfin, merci à toutes les personnes ayant participé à ce projet de près ou de loin.

Table des matières

Partie 1 : Contexte de l'étude	1
I. L'élevage bovin en France et dans les Pays de la Loire	1
II. Impacts environnementaux de l'élevage bovin et leur évaluation basée sur l'ACV	2
III. Les systèmes agricoles innovants	2
Partie 2 : Matériel et Méthodes	3
I. Présentation de la ferme expérimentale de Thorigné d'Anjou	3
a. Contexte général	3
b. Caractéristiques de la ferme	3
II. Evaluation environnementale de la ferme de Thorigné d'Anjou basée sur l'ACV	4
a. Estimation des flux de carbone	4
b. Estimation des flux d'azote et de phosphore	5
c. Destination des flux	6
d. Evaluation des impacts environnementaux.....	7
e. Interprétations	7
III. Estimations des pertes vers l'environnement dans le cadre du projet Cantotogether	7
IV. Simulation des scénarios innovants	7
a. Scénario « sans prairies à flore variée »	8
b. Scénario « sans ensilage céréales-protéagineux »	8
c. Scénario « sans féverole »	8
d. Méthode d'estimation des impacts environnementaux	8
Partie 3 : Résultats et interprétations	8
I. Contexte général et focus sur l'année 2012	8
a. Contexte climatique.....	8
b. Rendements des récoltes.....	9
c. Pousse de l'herbe.....	9
d. Caractéristiques de l'exploitation	9
II. Flux de carbone	10
a. Consommation et production d'énergie	10
b. Emissions de méthane	11
c. Stockage et déstockage de carbone	11
III. Bilan azote et phosphore à l'échelle de l'exploitation, du troupeau et de la parcelle	12

a.	Bilan à l'échelle de l'exploitation	12
b.	Bilan à l'échelle du troupeau	13
c.	Bilan à l'échelle de la parcelle	13
IV.	Flux vers l'environnement	14
a.	Flux d'azote vers l'air	14
b.	Flux d'azote vers l'eau.....	15
c.	Bilan des flux.....	16
d.	Flux de phosphore.....	16
V.	Impacts environnementaux	17
a.	Réchauffement climatique	17
b.	Eutrophisation.....	17
c.	Acidification	17
VI.	Discussion sur le positionnement de la ferme expérimentale de Thorigné d'Anjou par rapport aux fermes des réseaux d'élevages du Grand Ouest de la France	17
VII.	Comparaison des émissions de gaz à effet de serre en 2012 selon la méthode des stations expérimentales et celle proposée pour le projet Cantogether.....	18
a.	Emissions de CH ₄	18
b.	Emissions de N ₂ O	19
c.	Emissions de NH ₃	20
Partie 3 :	Simulation des scénarios innovants.....	20
I.	Scénario « sans prairie à flore variée »	20
a.	Réduction du nombre d'UGB liée à la perte de production fourragère	20
b.	Diminution de la production de fumier	21
c.	Consommation de carburant.....	21
d.	Diminution des émissions de gaz à effet de serre	21
II.	Scénario « sans Ensilage céréales-protéagineux »	21
a.	Diminution du nombre d'UGB liée à la perte de production fourragère.....	21
b.	Diminution de la production de fumier	21
c.	Consommation de carburant pour les travaux des champs.....	21
d.	Diminution des gaz à effet de serre	22
III.	Scénario « sans féverole »	22
a.	Substitution de la féverole et recours à l'achat	22
b.	Consommation de carburant	22
c.	Emissions de gaz à effet de serre	22

IV. Discussion autour de la simulation des scénarios innovants	23
Conclusion	23
Références bibliographiques :	24
Références sitographiques :	25
Outils de calcul :	26

Table des figures :

Figure 1 : Assolement de la ferme expérimentale de Thorigné d'Anjou en 2012	3
Figure 2: Différence entre les précipitations et les valeurs d'ETP, et les températures moyennes de la campagne 2012-2013	9
Figure 3 : Ecart mensuel de pluviométrie entre la campagne 2012-2013 et la moyenne 1995-2011	9
Figure 5: Emissions de gaz à effet de serre par poste kg éq CO2 par hectare de SAU de 2008 à 2012	10
Figure 4: Consommation d'énergie par poste en GJ par hectare de SAU de 2008 à 2012	10
Figure 6: Emissions de méthane par poste et par unité de production de 2008 à 2012	11
Figure 7: Comparaison des entrées et des sorties d'azote à l'échelle de l'exploitation de 2009 à 2012	12
Figure 8: Bilan azote à l'échelle du troupeau des campagnes 2008 à 2012	13
Figure 9: Entrées et sorties d'azote au niveau des parcelles de 2008 à 2012	14
Figure 10: Variation des émissions d'azote vers l'air entre 2008 et 2012	15
Figure 11: Comparaison des quantités d'azote excédentaires au niveau de l'exploitation et des quantités d'azote perdues vers l'environnement de 2009 à 2012	16

Table des tableaux :

Tableau 1: Stockage de carbone à la ferme expérimentale de 2008 à 2012	12
Tableau 2: Consommation alimentaire du troupeau	13
Tableau 3: Conditions climatiques hivernales et pertes d'azote vers l'eau sur les parcelles pilotes de 2009 à 2013	15
Tableau 4: Comparaison des reliquats azotés mesurés en début, milieu, et fin de drainage de 2005 à 2012 sur les parcelles pilotes avec les reliquats de 2012 pondérés par surface	16
Tableau 5: Quantité de fumier (et compost) épandue sur la ferme	20
Tableau 6: Consommation moyenne d'aliments par le troupeau	20
Tableau 7: Production d'herbe fauchée et pâturée, production d'ensilage et différence de production	21
Tableau 8 : Valeurs nutritives de la féverole et de la ration de substitution	22

Liste des abréviations, symboles chimiques et unités

Abréviations:

AB : Agriculture Biologique
ACV : Analyse de Cycle de Vie
ADEME : Agence de l'Environnement de la Maîtrise de l'Energie
Bre : Balle Ronde Enrubannée
CA PDL : Chambre d'Agriculture des Pays de la Loire
CANTOGETHER: Crops and ANimals Together
CITEPA : Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique
CNRS : Centre National de la Recherche Scientifique
CORPEN : Comité d'Orientation pour des Pratiques agricoles respectueuses de l'Environnement
EMEP/EEA : European Monitoring and Evaluation Program/European Environment Agency
ETP : Evapotranspiration potentielle
FE : Facteur d'émission
GES : Gaz à effet de serre
GIEC (IPCC) : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
IDELE : Institut de l'Elevage
INRA : Institut National de Recherche Agronomique
INSEE : Institut National de la statistique et des études économiques
INTERBEV : Interprofession Bétail et Viande
ITAB : Institut Technique de l'Agriculture Biologique
JPP : Jour de Présence au pâturage
MAAPRAT : Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche, De la Ruralité et de l'Aménagement du Territoire
MB : Matière Brute
MS : Matière Sèche
NR : Non Renseigné
PRG : Potentiel de Réchauffement Global
RDD : Reliquat Début Drainage
RFD : Reliquat Fin Drainage
RGA-TB : Ray-grass – Trèfle blanc
RGA-Ti : Ray-grass – Trèfle incarnat
RMD : Reliquat Milieu Drainage
SARL : Société à Responsabilité Limitée
SAU : Surface Agricole Utile
SFP : Surface Fourragère Principales
TAPV : Triticale-Avoine-Pois fourrager-Vesce
UGB : Unité Gros Bovin

Symboles chimiques :

C : Carbone
CH₄ : Méthane
CO₂ : Dioxyde de carbone
N- NO : Azote contenu dans le NO
N : Azote
N₂ : Diazote
N₂O : Protoxyde d'azote
NH₃ : Ammoniac
N-N₂ : Azote contenu dans le N₂
N-N₂O : Azote contenu dans le N₂O
N-NH₃ : Azote contenu dans le NH₃
N-NH₄ : Azote contenu dans le NH₄
N-NO₃ : Azote contenu dans le NH₃
NO : Monoxyde d'azote ou oxyde nitrique
NO₂ : Nitrite
NO₃ : Nitrate
P : Phosphore
PO₄ : Phosphate
SO₂ : Dioxyde de soufre

Unités :

cm : centimètre
éq : Equivalent
GJ : Giga Joules
g : gramme
ha : hectare
j : jour
Kg : Kilogramme
Kgvv : Kilogramme de viande vive
kWh : Kilowatt-heure
L : Litre
MAT : Matière Azotée Totale
mg : milligramme
MJ : Méga Joules
mm : millimètre
PDIE : Protéine Digestibles dans l'Intestin grêle permises par l'Azote
PDIN : Protéines Digestibles dans l'Intestin grêle permises par l'Azote
Qx : quintaux
t : tonne
UEB : Unité d'Encombrement Bovin
UFL : Unité Gros bovin

Introduction

Face à l'augmentation de la population mondiale, l'enjeu est de réussir à nourrir la planète tout en sachant que les ressources se raréfient (terres agricoles, ressources fossiles, etc.). L'agriculture est étroitement liée à l'environnement. Une volonté de se tourner vers une agriculture durable, conciliant à la fois les impératifs économiques, sociaux et environnementaux se manifeste. Il s'agit ainsi de maîtriser le court terme, tout en préservant le long terme, susciter l'intérêt des acteurs du monde agricole tout en répondant aux attentes des citoyens. Les préoccupations environnementales sont donc au cœur des nouveaux défis du secteur agricole. Il s'agit alors d'accompagner les fermes vers davantage de productivité tout en préservant les ressources et l'environnement. Dans cette étude, il se pose alors la question de la durabilité des élevages en France, et plus particulièrement :

Quels sont les impacts sur l'environnement d'un système d'élevage de bovins viande conduit en agriculture biologique, qui a pour principal objectif de rester productif ? Quelles sont les gains environnementaux et économiques liés aux pratiques agricoles innovantes mises en place sur une ferme basée sur la complémentarité culture-élevage ?

Afin de répondre à cette problématique, dans un premier temps, il s'agit de réaliser l'évaluation environnementale de type analyse de cycle de vie de la ferme expérimentale de Thorigné d'Anjou sur la campagne 2012-2013. Elle sera ensuite comparée aux évaluations des campagnes précédentes, puis repositionnée par rapport aux différents systèmes d'élevage de l'ouest de la France. Une seconde méthode d'évaluation sera testée, utilisée dans le cadre du projet européenne Cantogether. Enfin, il s'agira de simuler l'impact environnemental de différentes techniques innovantes mises en œuvre par l'exploitation sur la durabilité du système d'élevage.

Partie 1 : Contexte de l'étude

La lutte contre le réchauffement climatique dû aux émissions de gaz à effet de serre, est un des grands enjeux du XXI^{ème} siècle. L'Europe s'est engagée à réduire ces émissions de 20% d'ici 2020 par rapport à 1990. En France, le secteur agricole représente 18 % des émissions de GES nationales. En 2012, l'agriculture participe respectivement à 88% et 75% des émissions nationales de N₂O et CH₄ (CITEPA, 2014). Les principaux contributeurs à ces émissions sont les élevages de bovins à hauteur de 60 % des GES agricoles, soit 10 % des GES nationaux (Gac et al., 2014).

I. L'élevage bovin en France et dans les Pays de la Loire

En 2012, l'élevage bovin représente 19,1 millions de têtes, (Insee.fr, 2014) faisant de la France le pays premier producteur européen de viande bovine (Interbev, 2013). Le cheptel bovin laitier ne cesse de diminuer depuis 1985 alors que simultanément, le cheptel bovin allaitant augmente (FranceAgriMer, 2013). Au total, près de 3,5 millions de vaches laitières et 4,5 millions de vaches allaitantes composent le cheptel français (annexe 1). Du côté de la filière biologique en fin 2013, la France comptait 101 974 vaches laitières et 94 210 vaches allaitantes, ces dernières étant réparties dans près de 2 656 élevages. Cette filière ne cesse de croître mais se répartit de façon inégale sur le territoire français (annexe 1) (Agence bio, 2014).

Le cheptel des Pays de la Loire compte 2,5 millions de bovins en 2012, dont environ 506 000 vaches laitières et 437 000 allaitantes. La région détient 13 % des effectifs bovins en 2012. Il s'agit de la première région de production bovine. Elle représente près de 18 % des quantités nationales de viande bovine produites en 2012, devant la Bretagne et la Basse-Normandie (Agreste, 2014). Près de 20 500 exploitations bovines sont dénombrées dans la région. 19,8% de ces exploitations sont implantées dans le département du Maine et Loire qui se place en deuxième position derrière la Mayenne (annexe 1) (Agreste, 2014). La production de viande bovine biologique dans les Pays de la Loire a augmenté de 3% en 2013 par rapport à l'année précédentes, et totalise 15 125 vaches

allaitantes, dont 4102 dans le département du Maine et Loire. Les Pays de la Loire détiennent le nombre d'exploitation de bovins allaitants biologiques le plus important du pays, avec 407 exploitations certifiées biologiques sur 2824 (Agence bio, 2014).

La ferme expérimentale de Thorigné d'Anjou se situe donc dans une région fortement productrice de bovins viande biologique. L'élevage de bovin viande est souvent mis en cause dans les problématiques environnementales, quels sont les impacts mis en jeu ?

II. Impacts environnementaux de l'élevage bovin et leur évaluation basée sur l'ACV

L'agriculture contribue de façon significative aux émissions de GES, où la part de l'élevage bovin est prépondérante. Dans cette étude, les flux de carbone, d'azote, de phosphore et d'énergie ainsi que les impacts potentiels sur l'environnement seront étudiés.

Le réchauffement climatique repose sur les émissions de gaz à effet de serre. Ce dernier est responsable de l'augmentation de la température moyenne de l'atmosphère engendrée par la hausse de la libération de certaines substances gazeuses : le dioxyde de carbone (CO_2), le méthane (CH_4) et le protoxyde d'azote (N_2O).

L'eutrophisation est une pollution naturelle du milieu aquatique qui se traduit par une prolifération d'algues (cnrs.fr, 2014). L'apport excessif d'azote et de phosphore entraîne l'asphyxie du milieu et l'accumulation de matière organique.

L'acidification correspond à l'augmentation de l'acidité du sol, d'un cours d'eau ou de l'air. Ce phénomène est responsable des pluies acides (CITEPA.org, 2014).

L'agriculture peut être évaluée à travers son bilan, composé d'une part des produits et services qu'elle rend, et d'autre part des impacts environnementaux conséquents. Le but d'une évaluation environnementale est de comprendre et évaluer l'ampleur des impacts potentiels associés aux émissions de polluants et à l'utilisation des ressources, préalablement inventoriées (Van der Werf et al., 2011). Dans cette étude, il s'agit de l'approche analyse de cycle de vie (ACV) qui sera appliquée. Elle permet « d'évaluer les impacts des pratiques au sein des systèmes de production tout au long du cycle de vie des produits » (Dollé et al., 2013), « du berceau au portail de la ferme » (IDELE, 2012).

III. Les systèmes agricoles innovants

Malgré les impacts environnementaux dus à l'élevage bovin, ces derniers ont un fort potentiel d'atténuation des émissions de gaz à effet de serre, en tenant compte de leviers d'action au niveau des pratiques agricoles, et également au niveau de la capacité à stocker du carbone dans les sols. Le projet européen Cantogether a été initié dans le but de concevoir de nouveaux systèmes agricoles qui associent productions animales et végétales, tout en restant productif et capable de maîtriser les flux d'énergie, de carbone et de nutriments (INRA.fr, 2013).

Ce stage a été réalisé au sein de l'Institut de l'Élevage qui pour principal objectif d'améliorer la compétitivité des élevages herbivores et de leurs filières. Les travaux apportent des solutions techniques aux éleveurs et aux acteurs économiques des différentes filières. Au sein du service environnement-bâtiment, l'étude réalisée ci présente porte principalement sur le thème de l'évaluation environnementale. A l'Institut, de nombreux travaux sont en cours afin de disposer d'outils qui permettent estimer les impacts environnementaux, mais aussi économiques et sociaux de l'activité d'élevage. Ainsi, les acteurs pourront être sensibilisés et une démarche de progrès sera engagée.

Ainsi, l'objectif de cette étude est de réaliser une ACV pour le système bovin viande biologique de la ferme expérimentale de Thorigné d'Anjou. Dans une seconde partie, il s'agit d'évaluer l'impact environnemental des différentes techniques innovantes mises en œuvre au sein de l'exploitation.

Partie 2 : Matériel et Méthodes

I. Présentation de la ferme expérimentale de Thorigné d'Anjou

a. Contexte général

Située à une vingtaine de kilomètres au nord-ouest d'Angers dans le Maine et Loire (49), la ferme expérimentale de Thorigné d'Anjou a été mise en place à l'automne 1998. En 2000, elle est labélisée en agriculture biologique et est actuellement conduite en système polyculture-élevage, système naisseur-engraisseur de bovins limousins.

Cette SARL est gérée par seize organismes (annexe 2) dont l'Institut de l'Élevage. Le gérant de la ferme est Jean-Louis Lardeux et le responsable au sein de station expérimentale est Jean-Paul Coutard, ingénieur Chambre d'Agriculture du Maine et Loire. Un second ingénieur et trois techniciens travaillent à ses côtés.

L'objectif de la ferme est d'assurer l'autonomie alimentaire avec un niveau d'exigence élevé sur les performances zootechniques et la qualité de la finition des animaux (Coutard, 2014).

b. Caractéristiques de la ferme

1. Les sols

Le potentiel agronomique des terres est considéré comme modeste voire faible et constitue la principale contrainte de l'exploitation. La composition générale des sols est sablo-limono-argileuse, hydromorphe l'hiver et séchant l'été. Le sol est peu profond et caillouteux. Pour une grande partie des terres, de l'aliage se forme en profondeur rendant le sol imperméable.

2. L'assolement

La surface totale de la ferme est de 127,4 ha. La majorité de cette surface est située autour de l'exploitation (annexe 2). Chaque année, la surface agricole utile (SAU) varie selon la surface des essais. Elle est de 121,7 ha en 2012. L'assolement est présenté ci-dessous (fig 1).

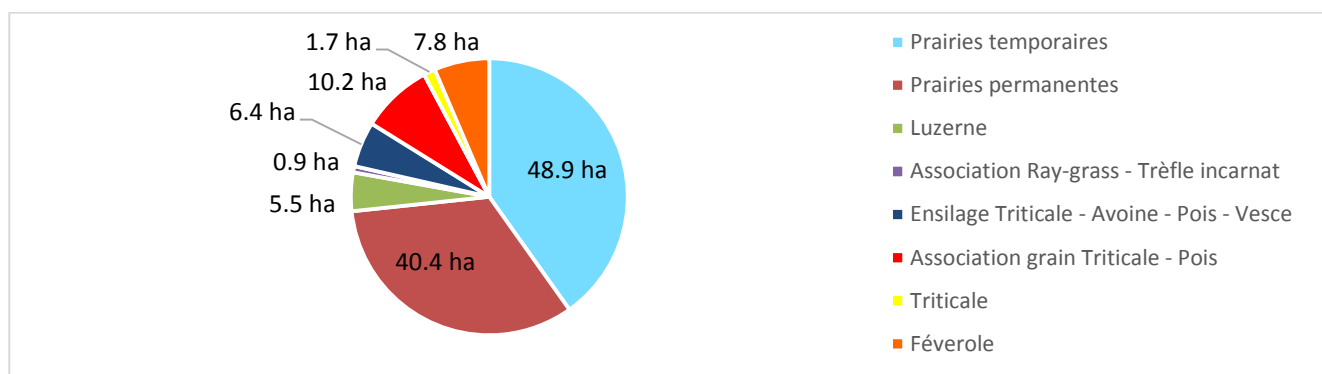


Figure 1 : Assolement de la ferme expérimentale de Thorigné d'Anjou en 2012

Les prairies représentent 72% de la SAU afin d'assurer l'autonomie fourragère du troupeau dans des conditions climatiques moyennes. Ces prairies sont pâturées à hauteur de 74,4 ha. La fauche est réalisée sur 46,4 ha de prairies. Les prairies permanentes comprennent 44,8 % de prairies naturelles et 55,2 % de prairies à flore variée qui n'ont pas été retournées depuis au moins l'installation de la ferme expérimentale. Les prairies temporaires sont, quant à elles, constituées à 93,8 % de prairies à flore variée et 6,2 % de prairies qualifiées de longue durée (à l'origine ray-grass et trèfle blanc). A ceci s'ajoute la luzerne valorisée par la fauche (foin et enrubannage). Il en est de même pour l'association RGA-Ti. L'association composée de triticale-avoine-pois-vesce, est valorisée en ensilage pour remplacer le maïs qui n'est pas une culture adaptée aux conditions pédoclimatiques de Thorigné.

Les cultures représentent 16,1 % de l'assolement total. L'association triticale-pois fourrager récoltée en grain et la féverole sont distribuées comme concentré au troupeau. Le triticale est cultivé pour produire de la semence.

3. Gestion du troupeau

La ferme compte 111,8 UGB pour la campagne 2012-2013 avec au cours de l'année, 70 vaches allaitantes et leur suite. Le chargement moyen est de 1,10 UGB/ ha SFP. Le troupeau fonctionne en deux périodes de vêlage : une première du 5 mars au 17 avril 2012 et une seconde qui a débuté le 30 août pour se terminer le 13 décembre 2012. L'âge au premier vêlage est de 30 mois. Ce choix permet d'améliorer l'efficacité économique du système de production par rapport à un premier vêlage à 3 ans, mais il nécessite une attention particulière durant la croissance et pour l'alimentation des primipares. Il présente moins de risques qu'un vêlage à 2 ans (CA PDL, 2010). Le taux de veaux sevrés par vêlage s'élève à 98,6% avec seulement 3 veaux morts. L'objectif est de garder 14 femelles par période de vêlage pour le renouvellement du troupeau, 6 mâles qui seront vendus en bœufs.

4. Innovations mises en place au sein de la ferme expérimentale

Les pratiques innovantes mises en place au sein de la ferme expérimentale afin d'optimiser la productivité du système sont tout d'abord, les prairies à flore variée composées généralement de 5 à 7 espèces associant graminées et légumineuses. Le choix des espèces est réalisé dans l'objectif d'apporter des fonctions complémentaires à la prairie (Coutard et al., 2012). Une seconde innovation correspond à la production de mélanges céréales-protéagineux. Le premier mélange en grain, triticale-pois fourrager constitue une des principales sources de complémentation énergétique des rations en agriculture biologique et permet de produire un concentré riche en matières azotées (Coutard, 2010). Le second, un mélange de triticale, avoine, pois et vesce est récolté en ensilage. La troisième innovation est la culture de féverole. Cette légumineuse, riche en protéines et en amidon, se révèle être une culture très intéressante pour la nutrition des animaux. De plus, elle constitue un excellent précédent pour les céréales et tolère les sols caillouteux comme à Thorigné (ITAB, 2009).

II. Evaluation environnementale de la ferme de Thorigné d'Anjou basée sur l'ACV

L'évaluation environnementale réalisée pour la ferme expérimentale repose sur l'analyse de cycle de vie. Le protocole pour cette étude a été mis au point par l'Institut de l'Élevage. Il a pour objectif de caractériser la nature et l'importance des impacts environnementaux liés à l'élevage. Il est commun à plusieurs stations expérimentales. A Thorigné, l'évaluation est réalisée depuis 2008. Le champ de l'étude se limite aux flux d'azote, de phosphore et de carbone, et à leurs impacts potentiels sur le réchauffement climatique, l'eutrophisation et l'acidification. Un inventaire des flux entrants et sortants du système est donc réalisé à l'échelle du troupeau, de la parcelle et de l'exploitation.

a. Estimation des flux de carbone

1. Les flux de dioxyde de carbone

Les flux directs de CO₂ sont estimés à partir des consommations d'énergie de la ferme. Ils sont d'abord exprimés en mégajoules, puis convertis en équivalent CO₂ avec les coefficients donnés par le référentiel Dia'terre (ADEME, 2011) (annexe 3). Puisqu'il s'agit d'une ferme expérimentale, l'étude évalue uniquement les impacts de la ferme sans la partie expérimentation. Des flux indirects de CO₂ liés à la fabrication et au transport d'intrants sont comptabilisés. Les facteurs d'émissions appliqués aux différentes matières premières sont issus du référentiel Dia'terre (ADEME, 2011).

2. Les flux de méthane

Les flux de méthane liés à la fermentation entérique se calculent avec un facteur d'émission attribué à chaque catégorie animale (Annexe 3) (De Cara et al., 2008). Pour les flux de méthane provenant des déjections, les facteurs d'émissions sont issus du guide Ges'tim (Ges'tim, 2010), et sont différents selon s'il s'agit de déjection en bâtiment, au pâturage ou au stockage. A la ferme de Thorigné, en bâtiment, la moitié des déjections sont sur aire raclée, le reste sur litière accumulée (Annexe 3). Le fumier est en grande partie composté.

3. Le stockage et déstockage du carbone

La variation annuelle du stock de carbone dans le sol des prairies et des haies est calculé à partir de facteurs d'émission proposés par Arrouays et al., 2002, repris dans Dia'terre (ADEME, 2011). Les surfaces en prairies, cultures et linéaires de haies sont prises en compte, ainsi que le retournement des prairies pour évaluer le déstockage du carbone dans le sol (Annexe 3). Pour les haies, le stockage du carbone dans les parties aériennes est également estimé (ADEME, 2011) (Annexe 3).

b. Estimation des flux d'azote et de phosphore

Les flux d'azote et de phosphore sont estimés à l'échelle du troupeau, des parcelles, et de l'exploitation (annexe 3). Ces bilans permettent de chiffrer l'excédent ou le déficit en minéraux afin de déterminer les pertes potentielles vers l'environnement. Afin d'évaluer ces flux, il est nécessaire de collecter des données précises à la ferme concernant les animaux et leur alimentation, le calendrier de pâturage, les productions végétales, les bâtiments et déjections, ainsi que les divers intrants.

1. Achats et ventes de l'exploitation

Les achats et les ventes interviennent dans le calcul du bilan apparent de l'exploitation. Cette dernière est considérée comme une boîte noire : les flux d'azote et de phosphore au sein de l'exploitation ne sont pris en compte. Les flux à comptabiliser sont donc les achats et ventes d'animaux, d'aliments, de litières et d'engrais. Les teneurs en azote et phosphore de ces éléments proviennent d'analyses réalisées sur la ferme (annexe 3) ou des tables de références (tables INRA, 2007).

2. Ingestion d'aliments, production de viande, et excréments par les animaux

L'ingestion d'aliments (herbe pâturée, fourrages stockés et concentrés) constitue une entrée de minéraux à l'échelle du troupeau et une sortie à l'échelle des parcelles. Les quantités de fourrages stockés et concentrés sont pesées à chaque distribution. Les quantités d'herbes pâturées ne sont pas connues, elles sont donc estimées à l'aide du logiciel INRAtion (INRAtion, 2009). Ce logiciel permet de calculer les besoins énergétiques en unité fourragère lait (UFL) et les capacités d'ingestion en unité d'encombrement bovin (UEB) pour chaque catégorie d'animal nourri à l'herbe. Jean-Paul Coutard conseille de calculer les quantités d'herbe ingérée différemment au printemps et à l'été. Ainsi, les capacités d'ingestion des animaux sont utilisées avant le trou d'été, date à laquelle l'herbe ne pousse quasiment plus, voire plus du tout. Les calculs ensuite se basent sur les besoins énergétiques des animaux. Les teneurs en azote et phosphore de tous les aliments ingérés sont issues des analyses réalisées sur la ferme expérimentale.

Une partie des minéraux consommés par les animaux va être retrouvée dans leurs produits. Le reste sera excrété, ce qui constitue une sortie d'azote et de phosphore à l'échelle du troupeau. Les animaux sont pesés régulièrement à Thorigné, ce qui permet de déterminer leur croissance et d'en déduire la production de viande. Des valeurs de références sont utilisées pour les teneurs d'azote et de phosphore fixées par la viande (annexe 3) (CORPEN, 2001). Pour les quantités d'azote et phosphore excrétées, celles-ci sont calculées par différence entre ce qui est ingéré et fixé par la viande. L'azote excrété via les fèces serait lié à l'ingestion d'aliments à hauteur de 7,2 g d'azote par kg de MS ingérée (Ges'tim, 2010). L'azote urinaire peut ensuite être déduit.

3. Récoltes et fertilisation organique sur les parcelles

Les entrées d'azote et de phosphore à l'échelle de la parcelle se font par la restitution des déjections au pâturage ou par l'épandage. Les quantités excrétées par les animaux au pâturage sont calculées par différence entre l'azote et le phosphore ingérés et fixés par la viande. Pour l'épandage, les quantités de fumier ou compost sont déterminées via la pesée des épandeurs. Des analyses de composition des déjections provenant de la ferme expérimentales permettent d'estimer les quantités de minéraux apportées au sol.

Pour les sorties en azote et en phosphore des parcelles, les quantités exportées proviennent des du pâturage, moissons et fauches. Les rendements et les teneurs en minéraux des végétaux récoltés permettent d'obtenir les quantités exportées.

4. Fixation symbiotique et déposition atmosphérique

Les légumineuses constituent une entrée à l'échelle de la parcelle et de l'exploitation, puisqu'elles fixent de l'azote atmosphérique. La quantité de légumineuses est difficile à estimer car leur développement est variable en fonction des conditions pédoclimatiques. Dans le cas de Thorigné, la proportion de légumineuses est estimée à partir des prélèvements et analyses effectués dans les parcelles d'essais. La quantité d'azote fixée est ensuite estimée à partir du rendement des différentes prairies et cultures comportant des légumineuses, auxquels des coefficients de fixation sont appliqués (annexe 3) (Payraudeau, 2005 ; CANTOGETHER, 2012).

La déposition d'azote atmosphérique est également une entrée d'azote mais elle n'est pas mesurée à Thorigné. Elle a donc été estimée à hauteur de 10 kg N/ha/an. (Brentrup *et al*, 2000)

c. Destination des flux

Le carbone, sous forme de CO₂ ou de CH₄ est émis vers l'air.

Les pertes de phosphore, sous forme de phosphate (PO₄) et sous forme organique se font par ruissellement. Elles sont estimées à partir de la quantité de phosphore apportée au sol par la restitution des déjections au pâturage et par la fertilisation.

L'azote peut être émis sous diverses formes, vers l'air et vers l'eau. Ces émissions gazeuses ont lieu sous forme de NH₃, de N₂O, de NO et de N₂, à partir des déjections au pâturage, au bâtiment et au stockage et lors de l'épandage. Ces pertes ne sont pas mesurées par la ferme expérimentale. Elles sont donc estimées à l'aide de facteurs d'émissions propres à chaque forme d'azote (annexe 3). Ces facteurs sont appliqués aux quantités totales d'azote excrété, stocké ou épandu mesurées. Les pertes de N₂ pour le bâtiment et le stockage se calculent à partir des entrées d'azote en bâtiment sommées, auxquelles les pertes d'azote en bâtiment et stockage sont soustraites (NH₃, NO et N₂O).

Des émissions de N₂O issues du lessivage, de la volatilisation, des résidus de cultures et du retournement de prairies sont estimées. La méthode calcul appliquée est tirée du guide GES'tim.

Le lessivage ou lixiviation des nitrates est la cause principale des problèmes de pollution nitrique des nappes d'eau souterraines. Lorsque la matière organique du sol se minéralise sous l'effet des micro-organismes, du nitrate se forme. A ceci peut s'ajouter un excédent d'azote minéral sur les parcelles. La teneur en nitrate de l'eau ne doit pas dépasser 50 mg/L pour la consommation humaine, sinon elle doit subir un traitement spécifique (cnrs.fr, 2014). La quantité d'azote lessivée sous forme de NO₃ est estimée par le programme Lixim 9.3 (Mary *et al*, 1999). Ce programme simule les variations d'humidité dans le sol à partir de mesures de pluviométrie et de reliquats azotés, ainsi que de la température et de l'évapotranspiration potentielle (ETP). Les mesures de pluviométrie sont réalisées à la ferme expérimentale. Les températures et les mesures d'ETP proviennent de la station météorologique de Beaucouzé (49). Ces données climatiques quotidiennes correspondent à la période de drainage, de début septembre à fin avril. Pour les reliquats azotés, trois campagnes de mesures sont réalisées (autour de décembre, février, avril) sur trois horizons (0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm). La simulation du drainage et du lessivage est basée sur des mesures réelles mais les résultats ne sont toutefois pas à considérer comme absolus. En effet, Lixim est conçu pour les sols nus. Il ne prend donc pas en compte la présence de cultures intermédiaires pendant la période hivernale, ni le pâturage d'animaux. Hors, les sols de la ferme sont toujours couverts et quelques lots d'animaux pâturent pendant l'hiver. De plus, les mesures de reliquats sont faites sur des parcelles pilotes de l'exploitation. Pour les parcelles où aucune mesure n'a été réalisée, le taux d'azote lessivé de la parcelle pilote ayant les caractéristiques les plus proches (pratiques agricoles, rotations et potentiel du sol) lui est attribué.

d. Evaluation des impacts environnementaux

Les estimations de pertes de carbone, azote et phosphore permettent de calculer les impacts potentiels de la ferme sur l'environnement. Les impacts considérés sont les suivants :

1. Réchauffement climatique

L'impact de la ferme sur le réchauffement climatique est évalué à partir des émissions de CO₂, de CH₄, et de N₂O. Ces dernières sont converties en équivalent CO₂ avec un coefficient de pouvoir de réchauffement global (PRG) (annexe 3).

2. Eutrophisation

L'eutrophisation est calculée à partir des pertes de PO₄, les émissions de NH₃, NO, et NO₃. Cet impact est exprimé en équivalent PO₄ (annexe 3).

3. Acidification

L'acidification est estimée à partir des émissions de SO₂, NH₃, et NO, et convertie en équivalent SO₂ (annexe 3).

e. Interprétations

Après avoir appliqué le protocole, les résultats de l'évaluation sont obtenus sous différentes formes : des bilans minéraux à l'échelle du troupeau, parcelle et exploitation ; des flux de carbone, d'azote et de phosphore vers l'air et l'eau ; les impacts potentiels sur l'environnement.

Les cinq campagnes successives d'évaluation depuis 2008 vont être comparées en les replaçant dans leur contexte. Les résultats seront aussi analysés sur la globalité. Cette évaluation sur cinq ans permet de s'affranchir de l'effet année. Les résultats de Thorigné seront ensuite repositionnés par rapport à d'autres exploitations conventionnelles ou biologiques.

La ferme expérimentale étant un système cultures-élevage naisseur-engraisseur de bovins, les résultats seront exprimés par unité de surface (hectare de SAU) et par unité de production (100 kg de viande vive pour la production de viande). Les résultats produits sont cependant à considérer avec précaution, car certains calculs reposent sur des estimations (herbe pâturée, stockage de carbone dans les sols...) et sur des simulations (lessivage).

III. Estimations des pertes vers l'environnement dans le cadre du projet Cantogether

Le projet Cantogether s'appuie sur un réseau de fermes européennes au sein desquelles des innovations portant sur la complémentarité cultures-élevages ont été mises en place. La ferme expérimentale de Thorigné d'Anjou s'inscrit dans cette logique.

Dans cette présente étude, les émissions de gaz à effet de serre sont évaluées selon la méthodologie choisie dans le cadre du projet Cantogether. Les émissions de CH₄ dues à la fermentation entérique, les émissions de CH₄ et de N₂O liées aux déjections en bâtiment, au pâturage, au stockage et en traitement (compost), les émissions directes et indirectes de N₂O issues de la gestion du sol (épandage, déjections au pâturage, résidus de culture, retournement des prairies) sont estimées selon la méthodologie du GIEC. (IPCC Guidelines, 2006). Les émissions de NH₃ provenant des déjections en bâtiment, au pâturage, au stockage des déjections, à l'épandage, sont évaluées selon la méthodologie EMEP/EEA (EEA, 2013).

IV. Simulation des scénarios innovants

Dans le cadre du projet Cantogether, une simulation des impacts environnementaux des innovations mises en œuvre sur la ferme expérimentale est réalisée. Comment serait la ferme sans ces innovations ? Les innovations évaluées sont les prairies à flore variée, le mélange céréales protéagineux valorisé en ensilage et la culture de féverole. Les données utilisées sont communiquées par le responsable de la ferme, et représentent le fonctionnement de la ferme en vitesse de croisière.

a. Scénario « sans prairies à flore variée »

Ce scénario est basé sur la substitution de surfaces en prairies à flore variée par des prairies en association ray-grass anglais-trèfle blanc. Parmi les prairies temporaires à flore variée, il a été choisi de remplacer les 28 ha uniquement pâturés. D'après une publication de J-P Coutard (Coutard et al., 2012), une prairie RGA-TB dans les conditions de Thorigné d'Anjou produit en moyenne 1,5 t MS/ha de moins qu'une prairie à flore variée. A partir cette même publication, des valeurs nutritives moyennes (UFL, MAT, PDIN, PDIE, UEB) pour les prairies à flore variée et les prairies RGA-TB sont calculées (moyenne de 2 essais réalisés sur la ferme pour chaque type de prairie) pour les comparer et déterminer le critère limitant le plus la production.

b. Scénario « sans ensilage céréales-protéagineux »

Ce second scénario consiste à remplacer les 9 ha d'ensilage triticales-avoine-pois-vesce cultivés sur la ferme avec un rendement moyen de 8 t MS/ha, par de la prairie à flore variée en rotation. Sur les surfaces en prairies, 6 ha sont récoltés en enrubannés, 3 ha en foin, puis le tout est pâturé. Les quantités de matière sèche récoltées sont calculées grâce aux rendements moyens du 1^{er} cycle des années 2007-08-12 pour l'enrubannage et le 1^{er} cycle des années 2002 à 2012 pour le foin de flore variée. Les quantités d'herbe produites pour la pâture sont calculées en fonction de la production moyenne par jour, et du nombre d'hectare considéré suivant la période.

c. Scénario « sans féverole »

Sur le site expérimentale, la féverole est cultivée sur 6 ha en moyenne et la consommation hivernale est d'environ 12 t MB au total (Daguené, 2013). Dans ce scénario, il a été choisi de supprimer la féverole des rations pour la remplacer par l'association triticales-pois fourrager et de l'achat de soja. La ration de substitution est équilibrée en fonction des valeurs nutritives de la féverole (annexe 4). Les valeurs nutritives pour la féverole et pour l'association triticales-pois proviennent des analyses de la ferme et celles du soja des tables INRA (INRA, 2007).

d. Méthode d'estimation des impacts environnementaux

Il s'agit ensuite d'évaluer l'impact du changement de pratique sur le nombre d'UGB et leur alimentation, à partir de la différence de productions avant et après la mise en place de l'innovation. La consommation moyenne d'un UGB du troupeau a été communiquée par J-P Coutard. La différence de production de fumier est également calculée à partir des quantités épandues moyenne 2008-2012. La consommation de carburants résultant des changements de pratique est estimée à partir des chiffres du référentiel Dia'terre (ADEME, 2011). Afin de calculer l'impact environnemental de chaque scénario, la méthodologie du projet Cantogether (Partie 1, III) est appliquée aux nouvelles données rassemblées.

Partie 3 : Résultats et interprétations

I. Contexte général et focus sur l'année 2012

L'évaluation environnementale porte sur la campagne 2012-13, du 15 mars 2012 au 15 mars 2013. Cette période choisie couvre la durée totale du pâturage 2012 et de l'hiver 2012-2013 passée en bâtiment. Les récoltes proviennent de l'été 2012.

a. Contexte climatique

L'année 2012 est particulièrement humide puisque sa pluviométrie s'élève à 729,5 mm par rapport à la moyenne depuis 1995 (679.5 mm) (annexe 5). Il s'agit d'une année climatique marquée par une forte pluviométrie durant l'hiver 2012-2013 avec 618 mm tombés. Cette année en suit 3 pénalisées par la sécheresse.

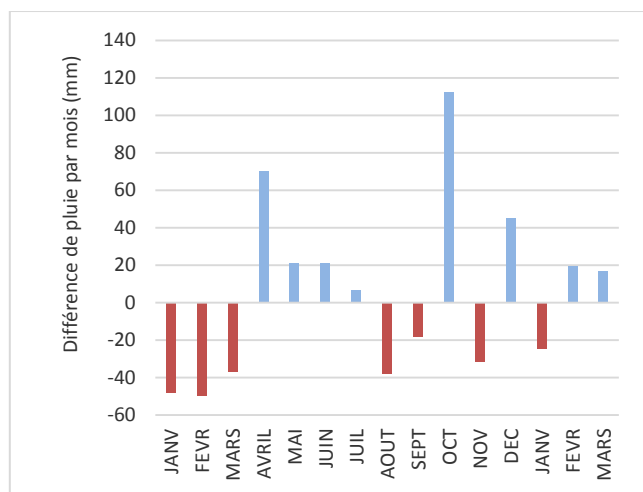


Figure 3 : Ecart mensuel de pluviométrie entre la campagne 2012-2013 et la moyenne 1995-2011

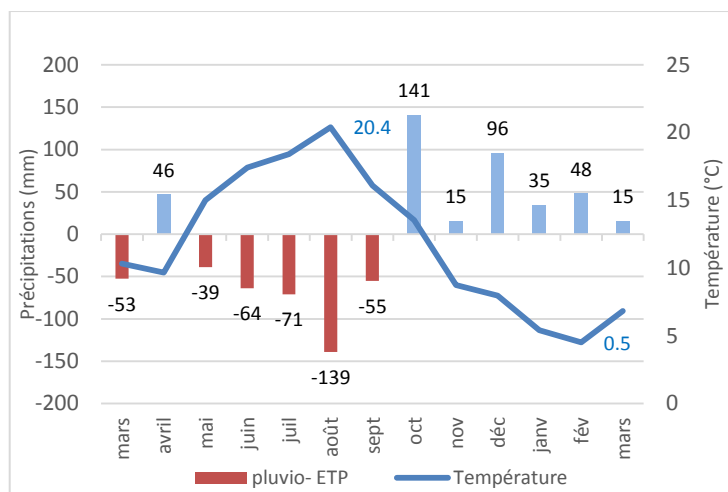


Figure 2: Différence entre les précipitations et les valeurs d'ETP, et les températures moyennes de la campagne 2012-2013

L'écart mensuel de pluviométrie entre la campagne étudiée et la moyenne depuis 1995 est variable selon la période de l'année (fig 2). L'écart négatif de début d'année est contrebalancé par les importantes pluies d'avril (119 mm). Le mois d'août est particulièrement sec (2,5 mm). Les fortes précipitations d'octobre (181,5 mm) compensent le déficit en pluie accumulé (annexe 5).

Le terme d'évapotranspiration potentielle (ETP) est employé lorsque la disponibilité en eau n'est pas limitée. L'évapotranspiration réelle est donc logiquement plus faible que les valeurs d'ETP annoncées. La différence entre la pluviométrie et l'ETP donne une idée du niveau de la réserve utile du sol (fig 3). A Thorigné d'Anjou celle-ci est d'environ 50 mm. L'ETP est plus élevée que les précipitations de mars à septembre (à l'exception du mois d'avril), le sol est donc en déficit d'eau. Ce déficit est comblé par les précipitations du mois d'octobre. Le bilan hydrique reste excédentaire jusqu'à la fin de l'hiver. Le calcul du drainage précis se fera par l'outil de calcul Lixim à partir des données météorologiques journalières dans le bilan à l'échelle de la parcelle.

Les températures moyennes mensuelles de la campagne 2012-2013, présentées en annexe 5 suivent globalement la moyenne 1999-2011. Cependant, les températures du mois de février 2013 sont plus basses que la moyenne. La température maximale atteinte en août 2012 (20,39°C) est plus élevée que la moyenne maximale des années précédentes (19,52°C en juillet).

b. Rendements des récoltes

L'année 2012 est une très bonne année en termes de récoltes. Les résultats sont présentés en annexe 6. En effet, les rendements 2012 sont supérieurs aux rendements moyens des récoltes de 1999 à 2011. Seules les récoltes de féverole et de triticales-pois fourrager ont un rendement un peu plus bas que la moyenne des années précédentes, avec une baisse respective de 30% et 2,3%.

c. Pousse de l'herbe

La pousse de l'herbe de 2012 (annexe 6) est particulièrement bonne avec un pic de 105 kg MS/ha/jour mesuré le 9 mai 2012. Cette croissance a été favorisée par des conditions climatiques adéquates, notamment au cours du deuxième semestre avec une pluviométrie de 246 mm et des températures s'inscrivant dans la moyenne. Le trou d'été se produit début juillet. La complémentation au pâturage est apportée à partir du 5 juillet 2012.

d. Caractéristiques de l'exploitation

La structure générale de l'exploitation de 2008 à 2012 est présentée en annexe 7. Au fil des campagnes, la production de viande vive a augmenté, atteignant 333 kgvv/UGB/an en 2011. Ceci s'explique par l'amélioration de la valeur génétique des animaux au cours des années et la mise en place de production de barons à partir de 2009. Les barons sont des mâles entiers biologiques abattus à 14-15 mois et alimentés de manière intensive. Pour la campagne 2012-2013, une diminution de la production est observée. En effet, depuis 2012, la ferme n'élève plus de baron, s'avérant être une production non rentable dans le système de Thorigné, et avec des difficultés de

débouchés (Daguené, 2013). Cet arrêt de production explique également la diminution de 3% du nombre d'UGB présent sur la ferme par rapport aux années précédentes. La SAU ne varie pas beaucoup depuis 2009, elle est en moyenne de 122,5 ha et la SFP représente 85%.

Concernant la gestion du troupeau, un tableau récapitulatif des ventes, périodes de pâturage, jours de présence au pâturage et alimentation, est donné en annexe 7. Au niveau des ventes d'animaux, la production de barons étant abandonnée, les mâles les plus âgés sont valorisés en bœufs. La ferme vend également selon les possibilités du marché, des broutards en maigre âgés de 8-9 mois, des veaux de lait de 5-6 mois, et des veaux de 3 semaines. Le nombre de vaches réformées varie selon les années, en moyenne 28 réformes sont vendues. La suppression des barons du troupeau entraîne une diminution de la consommation d'aliments, plus particulièrement des concentrés (en moyenne 120 kg MB/UGB en moins par rapport aux années avec des barons). La pousse de l'herbe de l'année 2012 a permis de valoriser le pâturage puisque 2,4 t MS/UGB ont été pâturées contre une moyenne de 2,1 t MS/UGB. La complémentation en fourrages apportée au pâturage de 671 kg MS/UGB est plus faible que la moyenne (861 kg MS/UGB) en raison de la bonne pousse de l'herbe qui n'a pas été impactée par la sécheresse comme les années précédentes. En bâtiment, la consommation d'aliments par UGB reste globalement similaire durant les cinq campagnes avec en moyenne 1,2 t MS/UGB de fourrages stockés et 329 kg MB/UGB de concentrés.

II. Flux de carbone

a. Consommation et production d'énergie

La consommation d'énergie totale en 2012 atteint 4,3 GJ/ha SAU soit 1,6 GJ/100 kgvv. L'énergie directe (produits pétroliers et électricité) représente 85 % de la consommation totale. La consommation d'énergie indirecte comprend uniquement les achats d'aliments avec un total de 80,7 GJ consommés. Au niveau des GES, les émissions totales en 2012 sont de 308 kg Eq CO₂/ha SAU soit 111 kg Eq CO₂/100 kgvv. Ce sont les produits pétroliers qui émettent le plus, à hauteur de 60% des émissions totales (annexe 8).

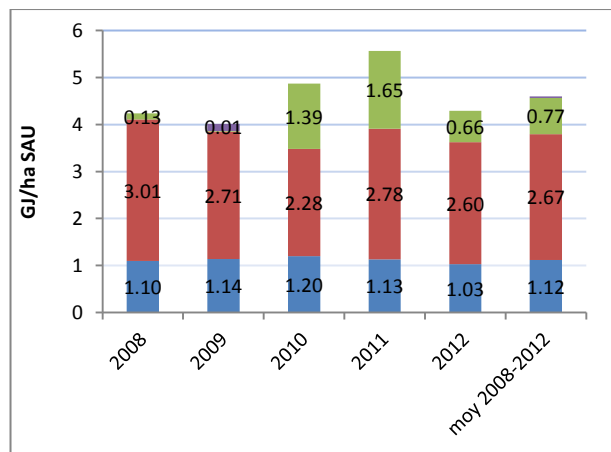


Figure 4: Consommation d'énergie par poste en GJ par hectare de SAU de 2008 à 2012

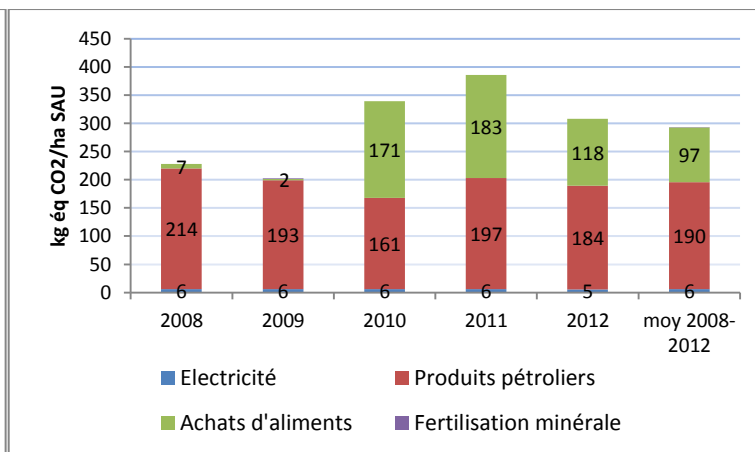


Figure 5: Emissions de gaz à effet de serre par poste en kg éq CO₂ par hectare de SAU de 2008 à 2012

La campagne de 2012 a une consommation d'énergie et des émissions en GES proches de la moyenne des cinq campagnes d'étude (en moyenne 4,6 GJ/ha SAU soit 293 kg Eq CO₂/ha SAU au total) (Fig 4 et 5). La part des émissions provenant des produits pétroliers reste relativement constante au fil des ans. Cette part représente en moyenne 65 % des émissions totales. Ce sont donc principalement les achats d'aliments qui font varier les émissions. En 2010 et 2011, la ferme a eu recours à d'importants achats de fourrages et concentrés à cause des sécheresses. Les émissions dues à la consommation d'énergie atteignent jusqu'à 386 kg Eq CO₂/ha SAU en 2011.

Les 143 m² de panneaux photovoltaïques permettent de produire 17 890 kW/h durant la campagne de 2012. Cette production est proche de la moyenne des années précédentes qui est de 17950 kW/h (2010 et 2011), et elle couvre largement la consommation d'électricité en 2012 puisque celle-ci s'élève à 12032 kW/h.

b. Emissions de méthane

Les émissions de CH₄ totales pour la campagne 2012-13 sont 34 kg CH₄/100 kgvv soit 94 kg CH₄/ha SAU (annexe 8). 79% de ces émissions proviennent de la fermentation entérique, principalement en période de pâturage. En effet, le troupeau passe environ 8 mois à l'extérieur, et certains lots y restent une partie, voir l'hiver entier pour les bœufs âgés de 24-30 mois. Le reste des émissions résultent des déjections, elles sont de 7,2 kg CH₄/100 kgvv. Ce CH₄ est largement émis en bâtiment, l'oxygène y étant moins présent.

Les émissions totales sont légèrement plus faibles que la moyenne, avec 11,4 t de CH₄ émis (soit 286 t éq CO₂) contre 12,1 t de CH₄ (304 t éq CO₂). En effet, en 2012, le nombre d'UGB présents sur la ferme a diminué ce qui explique de plus faibles émissions pour la fermentation entérique (- 6 % par rapport à la moyenne). Lorsque ces émissions sont rapportées à l'unité de production, il y a très peu de différence entre années (34 kg CH₄ en moyenne) (Fig 6).

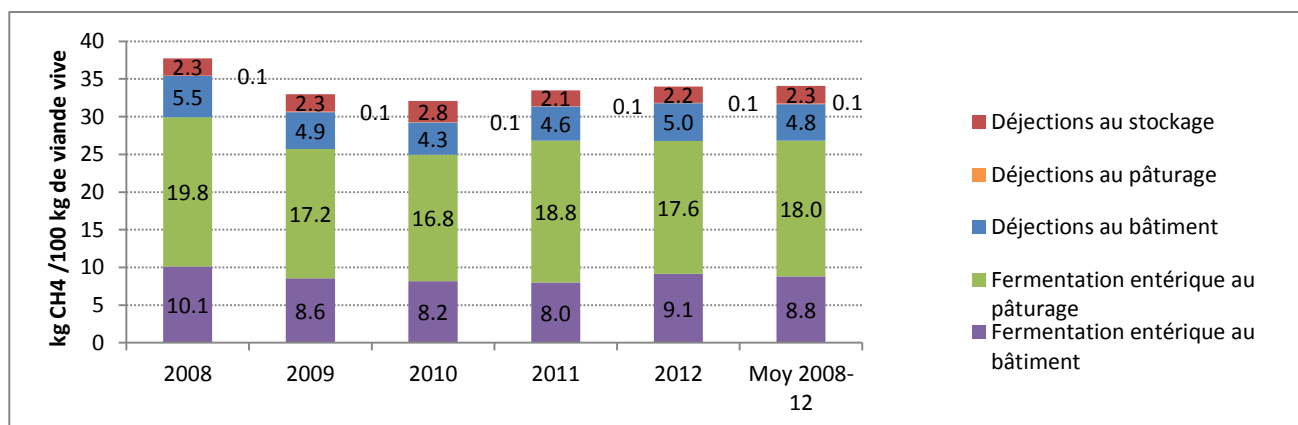


Figure 6: Emissions de méthane par poste et par unité de production de 2008 à 2012

A la ferme de Thorigné d'Anjou, les animaux en bâtiment sont logés sur une surface divisée en une moitié aire raclée, l'autre en aire paillée où la litière s'accumule. Ces deux types de surface sont moins émetteurs qu'un bâtiment avec caillebotis, proscrit dans les exploitations en AB (Commission Européenne, 2008). Les déjections sont produites sous forme de fumier, stocké en tas ou composté. Le fumier est moins émetteur qu'un lisier, ce dernier étant stocké dans une fosse où quasi-exclusivement du CH₄ en émane (Dolle et al., 2006). Le compost émet beaucoup moins de CH₄ que le fumier (IPCC Guidelines, 2006). Hors, dans la méthode appliquée, aucun facteur d'émission pour le compost n'est disponible. Les émissions de CH₄ sont donc calculées comme celles du fumier. Pour les émissions de CH₄ entérique, il est difficile d'envisager une diminution des rejets. Des leviers existent comme la modification des rations des animaux en réduisant la teneur en protéines des rations, mais il faut trouver le bon compromis entre efficacité alimentaire et émissions de CH₄ (Gac et al., 2014).

c. Stockage et déstockage de carbone

A Thorigné, le carbone est stocké grâce aux surfaces de prairies permanentes (18,3 ha) et temporaires (en moyenne 74 ha). Les haies (13,5 km) y contribuent en stockant du carbone dans le sol et dans leurs parties aériennes. Ce sont des haies qualifiées comme mixtes (mélange de haie-taillis et haie-futaie) d'après les définitions du référentiel Dia'terre (ADEME, 2011). Le déstockage du carbone se produit lorsque les prairies sont retournées (en moyenne de 9 ha /an).

En 2012, le stockage de carbone total est inférieur à la moyenne des cinq campagnes (51,3 t C contre 52,9 t C) (tab 1). En effet, une tendance à la diminution du stockage est observée sur les cinq années d'études. Ceci s'explique par les surfaces en prairies retournées un peu plus importantes pour les deux dernières campagnes que les précédentes (15,8 ha en 2011 et 10,4 en 2012). Néanmoins, lorsque ces résultats sont rapportés à l'unité de surface ou de production, ils sont sensiblement les mêmes, avec en moyenne 1574 kg éq CO₂/ ha SAU de carbone stocké soit 545 kg éq CO₂/100 kgvv.

L'alimentation d'un élevage de bovins repose entre 65 et 92 % sur les surfaces prairiales pâturées. Il est donc nécessaire d'intégrer le stockage de carbone dans les bilans environnementaux

(Dollé 2013). Ce stockage dans les sols permet de compenser une partie des GES émis par la consommation d'énergie et de la production de CH₄ de l'exploitation.

Tableau 1: Stockage de carbone à la ferme expérimentale de 2008 à 2012

Stockage de carbone	2008	2009	2010	2011	2012	Moy 2008-2012
Sols prairies (t C/an)	32.7	35.0	33.5	25.4	29.6	31.2
Sols haies (t C/an)	16.6	16.6	16.6	16.6	16.6	16.6
Parties aériennes haies (t C/an)	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1
TOTAL en t C/an	54.4	56.7	55.2	47.1	51.3	52.9
TOTAL en kg C /ha SAU	429.7	456.5	458.8	380.1	421.4	429.3
TOTAL en kg éq. CO₂ /ha SAU	1575.5	1673.9	1682.1	1393.7	1545.0	1574.0
TOTAL en kg éq CO₂ /100kgvv	605.4	583.2	507.0	470.5	559.2	545.1

III. Bilan azote et phosphore à l'échelle de l'exploitation, du troupeau et de la parcelle

a. Bilan à l'échelle de l'exploitation

Un tableau de synthèse des entrées et sorties d'azote et de phosphore au niveau de l'exploitation est présenté en annexe 9. En 2012, les entrées d'azote s'élèvent à 54,8 kg N/ha SAU (soit 20 kg N/100 kgvv). La principale source d'azote provient de la fixation symbiotique par les légumineuses à hauteur de 72%, probablement due à la bonne pousse des prairies cette année. La seconde entrée résulte de la déposition atmosphérique à hauteur de 18%. Ces deux sources d'azote sont des estimations, il faut donc les considérer comme un ordre de grandeur. Le reste de l'azote est apporté par les achats de concentrés, de fourrages et litières ainsi que d'animaux. Au niveau des sorties d'azote, elles sont de 10,6 kg N/ha SAU (soit 3,8 kg N/100 kgvv) dont la majorité est issue de la vente des animaux. Le bilan correspond à la différence entre les entrées et les sorties. En 2012, le bilan est excédentaire avec 44,2 kg N/ha SAU et supérieur à la moyenne (40,8 kg N/ha SAU).

Le bilan sur les cinq campagnes est toujours en excédent mais l'impact de chaque type d'entrées et de sorties varie selon l'année (fig 7). Par exemple, lors des années de sécheresse, la part d'achats d'aliments et litières représente jusqu'à 37% (2010) des entrées d'azote dans le système. Pour les sorties d'azote, selon l'année, des ventes de culture sont réalisées. C'est le cas en 2009, où les ventes ont contribué à 31 % des sorties d'azote de l'exploitation. L'année 2012 représente le cas contraire, où aucune vente n'a été effectuée. Sachant que les entrées par la fixation symbiotique et la déposition atmosphérique sont des estimations, il est intéressant de noter que sans ces deux sources, le bilan en azote de la ferme est aussi excédentaire, avec une valeur de 20 kg N/ha SAU.

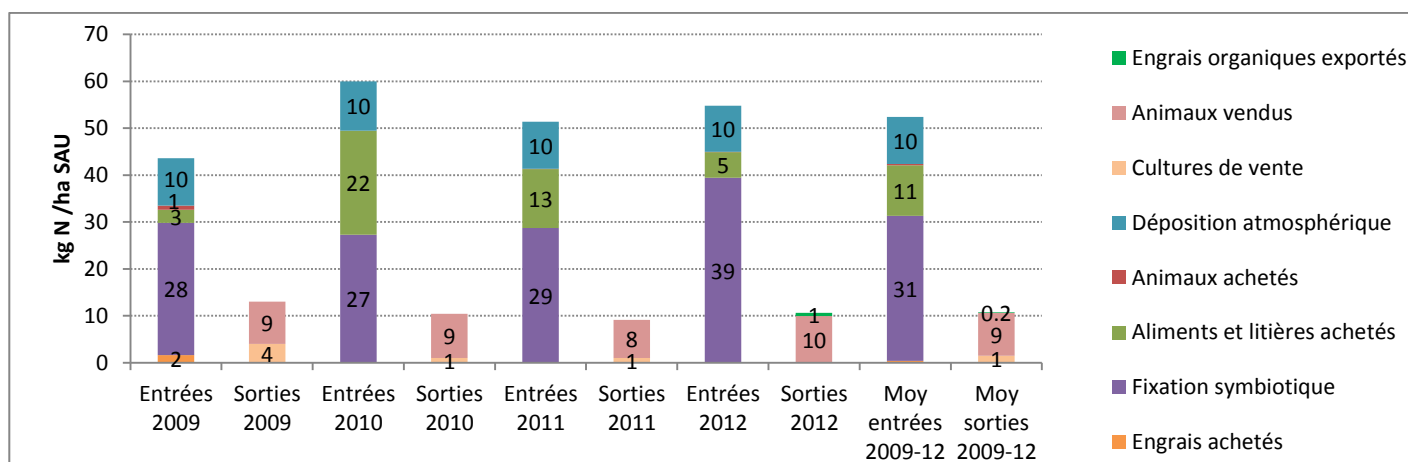


Figure 7: Comparaison des entrées et des sorties d'azote à l'échelle de l'exploitation de 2009 à 2012

Pour le phosphore (annexe 9), les résultats sont faibles par rapport à ceux de l'azote et peu variables d'une année sur l'autre. En 2012, le bilan est légèrement déficitaire avec -1,5 kg P/ha SAU. Sur les cinq campagnes, le bilan est considéré à l'équilibre avec -0,6 kg P/ha SAU.

b. Bilan à l'échelle du troupeau

1. Consommation du troupeau

Les consommations en bâtiment et au pâturage du troupeau en 2012 sont résumées dans le tableau 2. Un UGB en bâtiment consomme en moyenne 12,7 kg MS. Au pâturage, il consomme 13,1 kg MS. Le recours aux fourrages stockés en complémentarité représente 21% de l'alimentation totale au pâturage. L'année précédente qui a connu une sécheresse, le recours aux fourrages stockés au pâturage était de 34%. Grâce à la bonne pousse de l'herbe, les stocks ont été moins impactés en 2012. Durant les cinq campagnes étudiées, les consommations au pâturage (annexe 10) varient donc en fonction des besoins de complémentarité résultant des conditions climatiques. Pour les consommations d'aliments par UGB en bâtiment, elles ne varient pas significativement entre les années, elles sont en moyenne de 1,2 t MS de fourrages stockés et 330 kg MB de concentrés.

Tableau 2: Consommation alimentaire du troupeau pour la campagne 2012-2013

Campagne 2012-2013	Pâturage	Bâtiment
Fourrages stockés (t MS)	75.0	149.5
Herbe pâturée (t MS)	272.2	-
Concentrés (t MB)	7.5	33.1
Alimentation totale (t MS)	353.6	177.6
Ration moy/UGB/j (kg MS)	13.1	12.7
Jours de présence/an	262	103

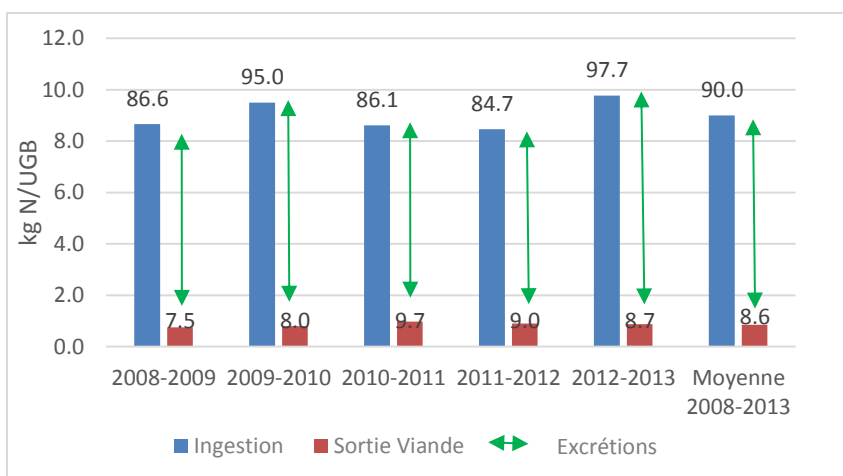


Figure 8: Bilan azote à l'échelle du troupeau des campagnes 2008 à 2012

2. Bilan au niveau du troupeau

Les entrées d'azote et de phosphore proviennent des quantités présentes dans les aliments ingérés par les animaux. Les sorties correspondent aux quantités d'azote et de phosphore fixées par la viande et celles rejetées dans les déjections. L'ingestion d'azote par UGB est plus élevée pour la campagne 2012-13 que pour les campagnes précédentes, avec 97,7 kg N/UGB (soit 89,8 kg N/ha SAU ou 32,5 kg N/100 kgvv). Ceci s'explique par une quantité d'herbe pâturée en 2012 plus importante et de bonne qualité avec 23,6 g N/ kg MS d'herbe pâturée (estimée à 15,7 g N en 2009, 22,2 g N en 2010, 21,9 en 2011). Le taux de valorisation (rapport entre l'azote fixé dans la viande produite et les quantités ingérées) est de 8,9. Ce taux a baissé comparé aux deux années précédentes, ce qui se justifie par une diminution de la quantité de viande produite due à l'arrêt de production de baron.

En moyenne, le taux de valorisation est de 9,5 sur les cinq campagnes dont 3 avec présence de barons dans le cheptel. L'azote ingéré est en moyenne de 90 kg N/UGB mais varie selon les années. Les conditions de pâturage en sont la principale raison, puisque les quantités les plus faibles sont observées les années de sécheresse (fig 8). Quant au rejet d'azote, il est lié aux quantités d'aliments ingérées et a une valeur moyenne de 82,6 kg N/UGB.

Pour le phosphore, les mêmes tendances sont observées pour 2012-2013 avec une ingestion plus forte que les autres années, et un taux de valorisation en dessous de la moyenne (annexe 10). Pour l'ensemble des campagnes, le phosphore ingéré est de 12,1 kg P/UGB avec une valorisation de 17,5.

c. Bilan à l'échelle de la parcelle

L'excédent en azote en 2012 est plus faible que les années précédentes avec 12 kg N/ha SAU (soit 4,2 kg N/100 kgvv), ce qui est pratiquement deux fois moins que la moyenne (22 kg N/ha SAU) (annexe 11). Ce constat s'explique par la plus faible quantité de fertilisation organique apportée en 2012. En effet, le fumier n'a pas été épandu au printemps 2012 à cause des conditions climatiques et seul le compost a pu l'être à l'automne 2012. De plus, les sorties d'azote sont élevées, avec une

quantité d'herbe pâturée importante et de très bonnes récoltes (au total de 111 kg N/ha). Il est important de noter qu'en 2012, la paille a été comptée dans les sorties et pas les années précédentes. Elle rentre ensuite dans les parcelles par la fertilisation organique.

Pour l'ensemble des années étudiées (fig 9), le bilan azoté est en excédent avec comme principale entrée les restitutions par les déjections des animaux à hauteur de 46%, puis vient la fixation symbiotique représentant 29%. Il faut rappeler que les entrées par fixation symbiotique et par déposition atmosphérique sont des estimations, qui ne sont pas considérées comme absolues. Au niveau des sorties d'azote, la moitié sont dues au récoltes, l'autre à l'herbe pâturée.

Pour le bilan phosphore, il est en léger déficit en 2012 avec -5 kg P/ha SAU mais il est peut être considéré comme équilibré, comme celui des années précédentes, avec en moyenne -3 kg P/ha SAU.

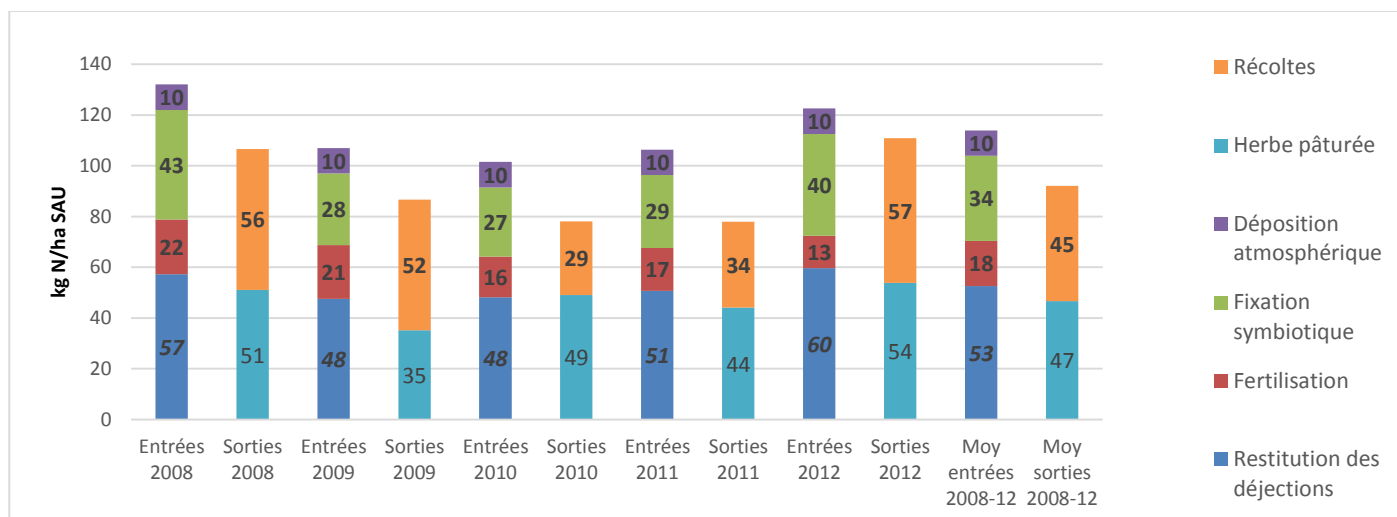


Figure 9: Entrées et sorties d'azote au niveau des parcelles de 2008 à 2012

IV. Flux vers l'environnement

a. Flux d'azote vers l'air

Les pertes d'azote vers l'air de l'année 2012 sont présentées en détail selon les différentes formes gazeuses et par poste en annexe 12. Les pertes totales d'azote sont de 21,9 kg/ha SAU soit 7,9 kg/100 kgvv. La majorité d'entre elles proviennent des déjections au pâturage, au bâtiment et au stockage à hauteur de 93% (36% au pâturage, 29% au bâtiment, 28% au stockage). L'épandage représente seulement 5% des émissions totales. Les émissions indirectes de N₂O provenant du lessivage, résidus de cultures, retournement des prairies, et volatilisation constituent une faible part de 2%. Les pertes sous forme de NH₃ sont les plus importantes avec 10,9 kg/ha SAU (soit 3,9 kg/100 kgvv). Elles proviennent principalement des déjections au pâturage et en bâtiment. En 2012, les pertes sous formes de N₂ sont élevées et représente 43% des pertes totales. Elles sont calculées par défaut de bilan et pour l'essentiel issues des déjections au bâtiment et au stockage. Pour les autres formes gazeuses à savoir le N₂O et le NO, tous deux puissants gaz à effet de serre, les pertes vers l'air sont faibles, représentant respectivement 6 et 1% des émissions totales.

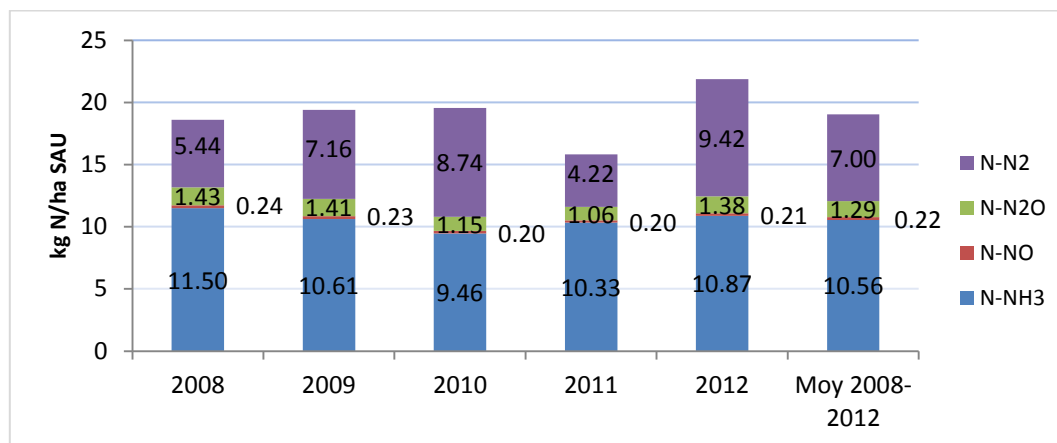


Figure 10: Variation des émissions d'azote vers l'air entre 2008 et 2012

Sur l'ensemble des campagnes, les pertes d'azote vers l'air sont en moyenne de 19,1 kg/ha SAU. Les postes qui y contribuent largement sont également les déjections au pâturage, au bâtiment, et au stockage avec 90% des émissions totales. La répartition entre poste ne varie pas beaucoup entre année, environ 1/3 par chacun d'entre eux. Pour les émissions indirectes et celles à l'épandage, elles représentent chacune en moyenne 2 et 7%. Les pertes sous formes de NH_3 sont les plus élevées pour toutes les campagnes (en moyenne 55% des émissions totales). Des variations plus marquées sont observées pour les quantités de N_2 perdues (fig 10). En effet, elles sont calculées par défaut de bilan et des imprécisions de calcul dues à un manque de données sur une année peuvent survenir. Pour les émissions de N_2O et NO , elles sont relativement constantes au fil des années représentant en moyenne 7 et 1% des pertes totales.

b. Flux d'azote vers l'eau

Tout d'abord, il est utile de rappeler que le programme Lixim n'est pas totalement adapté au système de la ferme expérimentale puisqu'il réalise des simulations sur sol nu. Néanmoins, depuis la campagne précédente, une nouvelle version de l'outil permet de réaliser une modélisation plus fine. Un ordre de grandeur du drainage et lessivage est donc obtenu à partir de reliquats mesurés sur des parcelles pilotes qui représentent 37% de la SAU (45 ha).

Tableau 3: Conditions climatiques hivernales et pertes d'azote vers l'eau sur les parcelles pilotes de 2009 à 2013

	Hiver 2009-2010		Hiver 2010-2011		Hiver 2011-2012		Hiver 2012-2013	
	1er sept. - 30 nov	1er déc. - 30 avril	1er sept. - 30 nov	1er déc. - 30 avril	1er sept. - 30 nov	1er déc. - 30 avril	1er sept. - 30 nov	1er déc. - 30 avril
Pluviométrie cumulée (mm)	142.5	313.5	186	251	69.5	274.5	254.5	363.5
ETP cumulée (mm)	165.7	193	151.4	199.7	163	206.7	155.8	196.8
Température moyenne (°C)	13.9	6.3	12.2	7.9	14.8	7.7	12.8	7.0
Drainage moyen (mm) ¹	46		114		109		285	
Lessivage moyen (kg N/ha) ²	19.5		20.9		10.6		37.7	

¹ Drainage et lessivage moyens sont estimés par le programme Lixim pour les parcelles pilotes

² Moyenne avec valeurs de RDD estimées pour 2 parcelles pilotes sur 12

La période hivernale 2012-13 a été particulièrement humide avec un total de 618 mm de pluie du 1^{er} septembre 2012 au 30 avril 2013 (412 mm en moyenne pour les 3 hivers précédents). Ces fortes précipitations peuvent donc expliquer les valeurs de drainage qui s'élèvent à 285 mm et celles du lessivage qui sont de 37,7 kg N/ha pour l'hiver 2012-13 (tab 3). L'assolement et la pression de pâturage peuvent également être à l'origine de ces résultats. En effet, certaines parcelles pilotes ont un couvert constitué à 100 % de légumineuses, ou encore ce sont des prairies échantillonnées qui ont été fortement pâturées (jusqu'à 520 JPP/ha).

Les reliquats sous forme de N-NO_3 sont plus faibles que la moyenne des reliquats de 2005-2012, particulièrement pour les reliquats de milieu et de fin de drainage. Pour les reliquats sous forme de N-NH_4 , la moyenne de l'hiver 2012-13 est également plus faible que celle des années précédentes

pour le reliquat de début drainage, mais pas pour les deux suivants (tab 4). Avec les fortes précipitations de cet hiver, le N-NO₃ entre la 1^{ère} et la 2^{ème} mesure a été lessivé. Lorsque la matière organique se minéralise, du NH₄ se forme, puis un peu plus tard sous l'action des micro-organismes, du NO₃ se forme, celui-ci étant assimilable par les plantes. Le NH₄ s'est accumulé dans le profil durant l'hiver sans se transformer en NO₃. En effet, les températures à partir du mois de novembre ont chuté jusqu'en février, les micro-organismes ont stoppé leur activité pour la reprendre lorsque les températures remontent au printemps. En fin de drainage, du NO₃ s'accumule. Pour les 74 jours normalisés calculés par Lixim, c'est-à-dire jours où les conditions sont optimales pour la minéralisation de la MO, 46 se situent entre fin décembre et fin avril.

Il est intéressant de remarquer que selon les couverts végétaux (annexe 13), les reliquats début drainage sont différents. Pour les prairies naturelles où il n'y a pas de travail du sol, les reliquats initiaux ne varient pas beaucoup (8,5 kg N-NO₃/ha SAU en moyenne). Les prairies à flore variée ont des reliquats d'une teneur moyenne de 32,2 kg N-NO₃/ha SAU qui est plus basse les années de sécheresse, celle-ci impactant la pousse des légumineuses. Sous la féverole et la luzerne, les valeurs de reliquats varient fortement (35,5 à 211,7 pour la féverole et 26,4 à 106,4 kg N-NO₃ pour la luzerne). Ces variations peuvent être liées aux potentiels des sols, aux années d'implantation et de retournement, et pour la luzerne, à son âge.

Tableau 4: Comparaison des reliquats azotés mesurés en début, milieu, et fin de drainage de 2005 à 2012 sur les parcelles pilotes avec les

	N-NO3 (kg/ha)	N-NH4 (kg/ha)	Total
2005-2012			
Moyenne des RDD	61.1	51.6	112.7
Moyenne des RMD	33.7	61.0	94.6
Moyenne des RFD	33.8	44.9	78.7
2012-2013			
RDD*	50.4	37.4	87.8
RMD	12.9	96.6	109.5
RFD	19.2	76.4	95.6

RDD : reliquat de début de période de drainage

RMD : reliquat de milieu de période de drainage

RFD : reliquat de fin de période de drainage

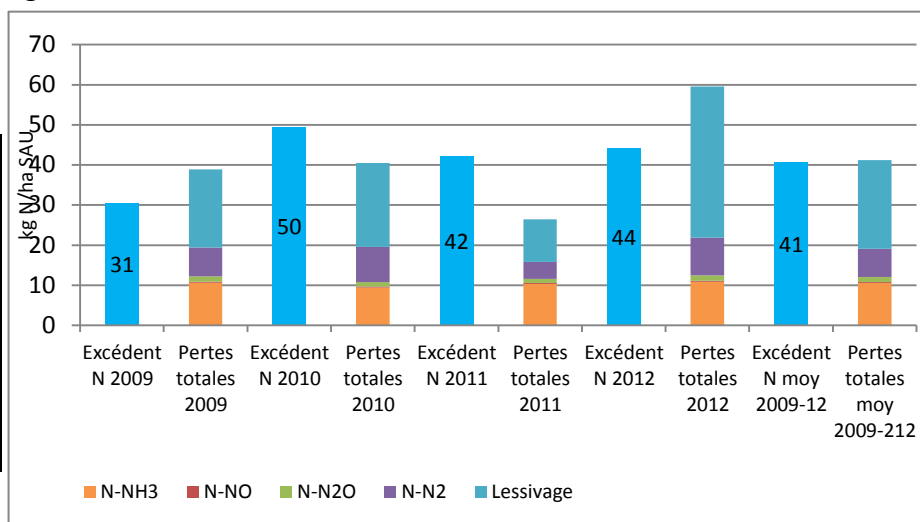


Figure 11: Comparaison des quantités d'azote excédentaires au niveau de l'exploitation et des quantités d'azote perdues vers l'environnement de 2009 à 2012

c. Bilan des flux

Il s'agit de comparer les pertes totales d'azote vers l'environnement, avec l'excédent d'azote calculé à l'échelle de l'exploitation (fig 11). Pour 2012, les pertes sont supérieures de 26% par rapport à l'excédent d'azote. Ces pertes sont majoritairement dues au fort lessivage de l'année, ce qui signifie que le sol déstockerait de l'azote. Pour les années précédentes, à part 2009, les pertes sont inférieures à l'excédent, le sol a stocké de l'azote. Sur l'ensemble des années, les pertes et l'excédent d'azote sont équivalents, ce qui indique que globalement, il n'y aurait pas de stockage d'azote.

d. Flux de phosphore

Comme vu précédemment, le bilan de phosphore tend à l'équilibre au niveau de l'exploitation. En 2012, les pertes de phosphore se font par ruissellement avec une quantité dérisoire de 0,021 kg P/ha SAU soit 0,065 kg PO₄/ha SAU ou encore 0,024 kg PO₄/100 kgvv. Les apports de phosphore correspondent aux restitutions des déjections au pâturage et à la fertilisation organique. Cette dernière a été moins importante que les années précédentes (-29 %) du fait d'un report de stock, ce qui explique les pertes encore plus faibles que la moyenne. En effet, pour l'ensemble des campagnes, les pertes de phosphore sont de 0,080 kg PO₄/ha SAU Ce chiffre confirme que le bilan phosphore est équilibré.

V. Impacts environnementaux

a. Réchauffement climatique

Un tableau synthétique des impacts environnementaux de la ferme expérimentale de Thorigné d'Anjou est présenté en annexe 14. En 2012, la contribution de la ferme au réchauffement climatique est de 3157 kg éq CO₂/ha SAU soit 1142 kg éq CO₂/100 kgvv. En prenant en compte le stockage du carbone, la contribution au réchauffement climatique net diminue à 1612 kg éq CO₂/ha SAU, ce qui compense près de la moitié des émissions. Le poste le plus impliqué est la fermentation entérique à hauteur de 59% en 2012 (annexe 14). Ce sont ensuite la gestion des déjections avec 25%. Le reste est attribué à la consommation d'énergie, aux pertes indirectes de N₂O et à l'épandage. En regardant dans la globalité des campagnes, la contribution au réchauffement climatique net oscille entre 1520 et 2044 kg éq CO₂/ha SAU avec une moyenne de 1757 kg éq CO₂/ha SAU. Et pour l'ensemble, les postes les plus contributeurs sont la fermentation entérique et la gestion des déjections représentant en moyenne 76% des émissions totales.

b. Eutrophisation

L'impact de la ferme sur l'eutrophisation du milieu s'élève à 21,2 kg éq PO₄/ha SAU soit 7,7 kg éq PO₄/100 kgvv. Elle représente pratiquement le double des émissions des années précédentes (10,4 kg éq PO₄/ha SAU en moyenne). Cette forte valeur s'explique par les importantes pertes par lessivage qui se sont produites durant la campagne de 2012-13, et contribuent à 70% de l'eutrophisation (16,2 kg éq PO₄/ha SAU) (annexe 14). Dans ce résultat, les impacts liés aux intrants (achats de fourrages, litières, et concentrés) ne sont pas inclus. En les prenant en compte, l'eutrophisation est de 23,1 kg éq PO₄/ha SAU. L'impact des intrants est plus faible que les années précédentes (2,97 kg éq PO₄/ha SAU pour 2010-2011). En effet, la part d'achats est plus faible en 2012. En s'intéressant à l'ensemble des campagnes, la participation à l'eutrophisation, sans compter les intrants, varie entre 8,2 et 21,1 avec une moyenne de 13,1 kg éq PO₄/ha SAU. Le poste le plus contributeur est le lessivage, mais les chiffres sont très changeants suivant les années, en fonction notamment des conditions climatiques.

c. Acidification

La participation de la ferme à l'acidification est de 23,3 kg éq SO₂/ha SAU soit 8,4 kg éq SO₂/100 kgvv. Elle est plus élevée que les années précédentes principalement à cause des émissions liées aux déjections (pâturage, bâtiment et stockage) à hauteur de 88% (annexe 14). Lorsque la part des intrants est comptée, l'acidification est de 24,9 kg éq SO₂/ha SAU soit une augmentation de 6,5%. Au niveau des quatre campagnes étudiées (sans 2008), l'impact de la ferme sur l'acidification, sans inclure les intrants, est en moyenne de 20,7 kg éq SO₂/ha SAU, oscillant de 18,4 à 23,3 kg éq SO₂/ha SAU. La gestion des déjections est le poste le plus impactant, représentant 96% des émissions totales.

VI. Discussion sur le positionnement de la ferme expérimentale de Thorigné d'Anjou par rapport aux fermes des réseaux d'élevages du Grand Ouest de la France

L'objectif est de positionner la ferme de Thorigné d'Anjou par rapport à d'autres systèmes d'élevages de bovins allaitants du Grand-Ouest de la France (régions Pays de Loire, Bretagne et Basse-Normandie). Les résultats de l'évaluation environnementale sur les cinq campagnes d'étude sont donc comparés à différents systèmes (Naisseurs, Engraisseurs, Naisseurs-engraisseurs de bœufs ou jeunes bovins) en conduite conventionnelle ou biologique sur les années 2009-2010. Il faut rester cependant prudent dans la comparaison car le nombre de fermes concernées est variable selon le système (par exemple, en conventionnel, seulement 4 fermes de naisseurs-engraisseurs de bœufs ; en biologique, aucun système engraisseur de bœufs). Le tableau comparatif entre systèmes est présenté en annexe 15.

Au niveau de la structure, le chargement des élevages biologiques est de 1,1 UGB/ha SFP, tout système confondu, et identique à celui de Thorigné. Celui pour les élevages conventionnels est plus

élevé, allant jusqu'à 1,8 UGB/ha SFP pour les systèmes naisseurs-engraisseurs de jeunes bovins. En élevage biologique, le chargement est modéré afin de produire suffisamment pour nourrir le troupeau.

Pour la production de viande vive par UGB, la ferme expérimentale se positionne au-dessus de l'ensemble des élevages biologiques échantillonnés, et juste au-dessus des systèmes naisseurs-engraisseurs de bœufs en conventionnel, avec en moyenne 311 kgvv/UGB/an. Cette production est très satisfaisante, qualifiant ainsi souvent l'élevage de Thorigné comme un système «bio-productif». Les systèmes produisant davantage de viande par UGB sont les systèmes naisseurs-engraisseurs de jeunes bovins et les engraisseurs de bœufs. Ce sont deux systèmes gourmands en concentrés, notamment pour la finition des animaux. La quantité de concentrés distribués à Thorigné (0,37 t/UGB) est d'ailleurs supérieure à celles des fermes biologiques, les systèmes naisseurs-engraisseurs de bœufs sont à 0,29 t/UGB. Pour l'herbe pâturée, il est difficile de situer la ferme expérimentale par rapport aux autres puisqu'il ne s'agit que d'une estimation. Dans les années à venir, des mesures de la pousse de l'herbe à chaque passage d'animaux dans les parcelles sont prévues sur le site.

La consommation d'énergie à la ferme de Thorigné se situe dans la moyenne des fermes biologiques lorsqu'elle est exprimée par unité de surface. En unité de production, la ferme est moins consommatrice avec 1584 MJ/100 kgvv contre 1956 pour le système le moins énergivore de ceux en biologique échantillonnés. Il en est de même en comparant avec les élevages conventionnels.

Au niveau du bilan d'azote à l'échelle de l'exploitation sans compter la fixation symbiotique, la ferme de Thorigné est en excédent et est largement plus élevée que l'ensemble des systèmes biologiques (+75%). Les exploitations conventionnelles ont un excédent azoté encore plus élevé, principalement dû aux achats d'engrais.

Les élevages biologiques ont un impact sur le réchauffement climatique relativement plus faible que les systèmes conventionnels. Exprimés en unité de production, leur impact serait un peu plus élevé, mais il est compensé par le stockage du carbone jusqu'à près de 50%. La ferme de Thorigné se situe dans la moyenne des élevages biologiques, avec des émissions nettes de 606 kg éq CO₂/100 kgvv ce qui est relativement proches des systèmes naisseurs-engraisseurs de bœufs (632 kg éq CO₂/100 kgvv). Pour le même système en conventionnel, elles sont de 719 kg éq CO₂/100 kgvv.

La contribution à l'eutrophisation de la ferme de Thorigné, en incluant les intrants, s'approche du système naisseurs-engraisseurs de jeunes bovins, le plus impactant des systèmes biologique, avec en moyenne 17 kg éq PO₄/ha SAU. Comparés aux systèmes conventionnels avec jusqu'à 42 kg éq PO₄/ha SAU, les fermes biologiques ont donc un plus faible impact.

Concernant l'acidification, l'impact des systèmes biologiques rapporté à l'unité de production est comparable à celui des fermes conventionnelles (autour de 14 kg éq SO₂/100 kgvv). La ferme expérimentale a un impact plus réduit avec en moyenne 8 kg éq SO₂/100 kgvv.

En comparant à des fermes des réseaux d'élevages, évaluées de manière globalement similaire, l'élevage de Thorigné d'Anjou est dans l'ensemble moins impactant pour l'environnement que les élevages échantillonnés et donc performant du point de vue environnemental.

VII. Comparaison des émissions de gaz à effet de serre en 2012 selon la méthode des stations expérimentales et celle proposée pour le projet Cantogether

Afin de comparer les impacts environnementaux de la ferme de Thorigné d'Anjou à d'autres fermes participant au projet européen Cantogether, la méthodologie, la plus largement utilisée, préconisée par le GIEC est appliquée au système de Thorigné. La comparaison entre la méthode utilisée par l'Institut de l'Élevage et celle dans Cantogether, permet d'estimer le degré d'incertitude lié au choix des méthodes d'évaluation. Le tableau des résultats comparatifs est donné en annexe 16.

a. Émissions de CH₄

La méthode du GIEC estime les émissions de CH₄ issues de la fermentation entérique de 23% supérieures à la méthode des stations. Cette méthode convient lorsque certaines informations sont disponibles sur le troupeau (effectifs, poids, vitesse de croissance, etc.), ce qui est ici le cas.

L'imprécision serait plutôt lors du calcul des facteurs d'émissions qui est basé sur un facteur de conversion identique pour diverses catégories d'animaux. Les facteurs d'émissions du GIEC obtenus sont alors plus élevés que ceux du protocole station. De plus la méthode ne tient pas compte de l'influence du niveau d'alimentation (Vermorel et al., 2008).

Au niveau des émissions dues à la gestion des déjections, elles sont cette fois-ci plus importantes pour la méthode des stations (2432 kg CH₄ contre 1388). Dans cette dernière, la part de compost est considérée comme du fumier. Hors elle n'est pas négligeable puisque 86% des déjections sont traitées en compost. La méthodologie du GIEC avance qu'au niveau du compost, le facteur d'émission serait divisé par 2 par rapport à du fumier stocké (IPCC Guidelines, 2006). En appliquant cette proposition dans la méthode des stations, les émissions baissent à 2159 kg CH₄. Un autre élément peut expliquer cette différence de résultat. En effet, dans la méthode du GIEC, les calculs sont fait à partir de la ration des animaux et ne prennent pas en compte le type de déjections en bâtiment (aire raclée, litière accumulée). Il s'agit du contraire dans le protocole des stations. Dans le cas de fermes françaises, cette méthode serait alors plus précise.

b. Emissions de N₂O

1. Emissions de N₂O liées aux déjections en bâtiment, au stockage et au compost

La différence d'émissions de N₂O issues de la gestion des déjections est importante entre les deux méthodes (105 kg N₂O pour le GIEC contre 14 pour la méthode station). 11258 kg d'azote excrétés sont chiffrés par le GIEC contre 9951 pour la seconde méthode, soit une différence au départ d'environ 12%. La quantité d'azote excrétée en bâtiment est de 18% plus élevée avec la méthode du GIEC. Dans ce cas de figure, il vaut mieux se fier au protocole des stations, car il prend en compte le type de déjections (50% aire raclée, 50% litière accumulée), ce qui n'est pas le cas de la seconde méthode qui considère ces déjections comme du 100% litière accumulée. Pour le stockage du fumier, les facteurs d'émissions diffèrent peu entre les deux méthodes. Du côté du compost, un facteur d'émission plus élevé est appliqué par le GIEC. En effet, ce dernier est beaucoup plus émetteur que le fumier stocké (INRA, 2012). Dans le protocole des stations, il n'y a pas de facteur disponible pour le compost, il est considéré comme du 100% fumier stocké en tas. La méthode du GIEC serait donc plus fiable au niveau du stockage et traitement puisqu'elle intègre les émissions de N₂O générées par le compost.

2. Emissions de N₂O liées aux résidus de cultures et prairies

Les émissions issues des résidus de cultures sont estimées à 11 kg N₂O pour la méthode inter-stations contre 18 pour la seconde méthode. Le même facteur d'émission est appliqué pour les deux méthodes. Les différences de résultats s'expliquent donc par les méthodes d'estimation distinctes. En effet, la méthode des stations est plutôt simpliste puisqu'elle considère que l'azote contenu dans les résidus de cultures correspond à 30% des cultures exportées.

Dans la méthodologie du GIEC, les émissions liées aux quantités d'azote dans les résidus d'une prairie qui est retournée, sont calculées. Avec environ 1 tonne d'azote provenant de ces résidus, les émissions sont estimées à 16 kg N₂O.

3. Emissions de N₂O liées aux déjections au pâturage et à l'épandage

Les émissions issues des déjections au pâturage sont de 124 kg N₂O pour la méthode des stations, et pratiquement le double avec la méthode du GIEC (245 kg N₂O). Ces différences s'expliquent car, d'une part, les quantités d'azote excrété ne sont pas les mêmes, elles sont plus élevées pour la méthode du GIEC (7814 contre 7129 kg N). D'autre part, les facteurs d'émissions sont différents. Le GIEC applique un facteur à la totalité de l'azote excrété. Dans le protocole des stations, l'azote excrété est divisé en azote provenant des urines et des fèces. Pour 64% de l'azote excrété (urines) le facteur d'émission est plus faible que celui appliqué dans la méthode du GIEC. La méthode des stations serait donc plus précise. Pour les émissions N₂O liées à l'épandage, les quantités d'azote épandu sont estimées de manière identique pour les deux méthodes. Les facteurs d'émissions appliqués sont sensiblement les mêmes, Ce qui explique les résultats similaires.

4. Déstockage de carbone et émissions de N₂O associées

La méthode du GIEC estime, pour la même surface de prairies retournées, un déstockage de carbone cinq fois plus élevé que pour la méthode des stations (-51 kg C contre -10 kg C). La méthode des stations est relativement simpliste puisqu'elle attribue un facteur de déstockage de -1000 kg C/ha/an. Les résultats de la méthode GIEC basée sur les quantités de carbone organique présents dans les sols de la ferme de Thorigné, sont donc à exploiter. Des émissions de N₂O dues aux pertes de carbone par déstockage sont chiffrées à hauteur de 53 kg N₂O.

5. Emissions indirectes de N₂O par lessivage

Selon la méthodologie du GIEC, les pertes d'azote par lessivage sont estimées à 30% des flux intrants. Les émissions s'élèvent à 53 kg N₂O. L'azote lessivé est calculé avec l'outil de calcul Lixim dans le protocole des stations. Il est de 52 kg N₂O. La différence entre les résultats est infime. Toutefois, la méthode appliquée aux stations reste la plus certaine, puisque les conditions climatiques réelles et les reliquats azotés mesurés sur des parcelles pilotes sont pris en compte.

c. **Emissions de NH₃**

Les deux méthodes comparées sont basées sur la méthodologie EMEP/EEA (EEA, 2013) pour estimer les émissions de NH₃. Celles-ci sont déduites des déjections en bâtiment, au pâturage, au stockage et à l'épandage. Avec le protocole des stations, les émissions sont évaluées à 1607 kg NH₃ contre 1849 pour la seconde méthodologie. La divergence entre les deux valeurs s'explique par des quantités d'azote excrété totales calculées différemment, et supérieures d'environ 12% avec la méthode du GIEC.

Globalement, le protocole des stations est plus adapté à l'évaluation environnementale de la ferme de Thorigné d'Anjou, puisqu'il fait appel à des données plus précises. Cependant, pour certaines émissions, la comparaison entre les deux méthodes révèle des incertitudes sur les résultats. La méthode d'estimation est donc à améliorer, comme par exemple le déstockage du carbone dans les sols. A l'avenir, des mesures de densité du sol des prairies pourraient être réalisées afin d'en déduire les taux de carbone. Elles permettraient d'obtenir des mesures réelles du delta de carbone dans les sols de Thorigné. La méthode de Cantogether est plus simple à appliquer car elle nécessite une collecte de données moins conséquente. Elle est plus facilement transposable à d'autres fermes, elle est d'ailleurs utilisée pour le calcul des émissions dans les scénarios innovants qui suivent.

Partie 3 : Simulation des scénarios innovants

I. **Scénario « sans prairie à flore variée »**

a. **Réduction du nombre d'UGB liée à la perte de production fourragère**

Tout d'abord, les différences de quantités produites et de valeurs nutritives entre les prairies à flore variée et RGA-TB sont calculées (annexe 17). L'écart le plus marqué parmi ces critères s'avère être la production de matière sèche. En effet, avec du RGA-TB sur ces 28 ha, 42 t MS sont produites en moins par rapport à la flore variée (-28%). D'après la consommation moyenne du troupeau (tab 5), ces 42 t MS entraînent la suppression de 9,1 UGB, en ne considérant que la consommation de fourrages stockés et herbe pâturée d'un UGB. Ces UGB consomment aussi des concentrés : 3732 kg MB au total qui vont être gardés en stock.

Tableau 5: Consommation moyenne d'aliments par le troupeau

Fourrages stockés (t MS/UGB)	2
Concentrés (t MB/UGB)	0.41
Herbe pâturée (t MS/UGB)	2.4
Fourrages stockés + herbe pâturée (t MS/UGB)	4.6

Tableau 6: Quantité de fumier (et compost) épandue sur la ferme

Quantité moyenne épandue	
en t/UGB	2.9
en t/ha épandu	14.0

b. Diminution de la production de fumier

En retirant 9,1 UGB, les quantités de fumier produites vont diminuer. Les quantités moyennes épandues par UGB et par hectare sont données tableau 6. Au total, 27 t en moins de déjections sont épandues, soit 1,9 ha épandu en moins.

c. Consommation de carburant

Dans le fonctionnement actuel de la ferme, les 28 ha sont uniquement pâturés. Dans le scénario simulé, l'assolement reste en surface prairiale. Il peut donc être estimé que le coût en carburant de l'implantation de la prairie est similaire. Le carburant consommé en conséquence du changement d'assolement est donc négligé. Pour l'épandage, selon le référentiel Dia'terre (ADEME, 2011), la consommation est de 10 L/ha, soit une économie de 19 litres de fioul dans le présent scénario. Cette quantité est également négligée car elle est faible et le tracteur est tout de même démarré.

d. Diminution des émissions de gaz à effet de serre

Les émissions de CH₄, N₂O, et NH₃ du scénario, évaluées selon la méthodologie choisie dans le cadre du projet Cantogether, sont présentées en annexe 17 et comparées aux émissions du système actuel. Sans surprise, les émissions diminuent de près de 8% pour le CH₄ et le NH₃, et 6% pour le N₂O. En effet, la réduction du nombre d'UGB entraîne inévitablement une diminution de la contribution de la fermentation entérique et des déjections à tous les postes d'émissions. De plus, le RGA-TB à un rendement moins important que la flore variée, il y a donc moins d'émissions de N₂O dues aux résidus lors du retournement des prairies.

II. Scénario « sans Ensilage céréales-protéagineux »

a. Diminution du nombre d'UGB liée à la perte de production fourragère

Les quantités totales de matière sèche produites par les récoltes d'herbe fauchée et d'herbe pâturée sont détaillées en annexe 18 et résumées dans le tableau 7. En remplaçant 9 ha d'ensilage céréales-protéagineux par de la prairie à flore variée, le déficit de production est de 17,8 t MS. Il a été choisi de raisonner sur le déficit de production, le déficit en valeurs nutritives étant relativement similaire. Cette perte de production entraîne la diminution du troupeau de 3,9 UGB en considérant la consommation de fourrages stockés et l'herbe pâturée d'un UGB (tab 7). Ces UGB vont permettre de récupérer 1579 kg MB de concentrés à stocker.

Tableau 7: Production d'herbe fauchée et pâturée, production d'ensilage et différence de production

Ensilage (t MS)	72.0
Herbe fauchée (t MS)	36.9
Herbe pâturée (t MS)	17.2
Production en moins (t MS)	17.8

b. Diminution de la production de fumier

Comme pour le premier scénario, les quantités produites en moins sont faibles avec 11,4 t, soit une diminution de 0,8 ha épandu. Cela ne représente que 3 % des surfaces épandues totales.

c. Consommation de carburant pour les travaux des champs

Au total, la consommation pour 9 ha d'ensilage est de 882 litres de fioul par an. Elle comprend le semis et la récolte. La consommation de carburant pour les différents travaux est donnée en annexe 18. Pour 9 ha de prairies à flore variée, les quantités de fioul utilisées s'élèvent à 266 litres, en comptant l'implantation (coût divisé par 4 car la prairie est considérée implantée pour 4 ans), et toutes les récoltes. Produire de l'ensilage entraîne une consommation en carburant par an 3 fois plus élevée que celle d'une prairie. Cette différence peut être moins forte selon l'itinéraire technique choisi. Ici, la prairie est fauchée qu'au 1^{er} cycle, elle pourrait l'être plusieurs fois dans la campagne.

d. Diminution des gaz à effet de serre

Les émissions de CH₄, N₂O, et NH₃ du scénario comparées à celles de la ferme actuelle sont présentées en annexe 18. Comme pour le scénario précédent, la diminution du nombre d'UGB entraîne une réduction des émissions de l'ordre de -3,1 % pour le CH₄, -3,6 % pour le NH₃. Pour le N₂O, les pertes globales sont de -5,6 %, mais certains postes émettent plus que ceux de la ferme dans son système actuel. C'est le cas des émissions liées aux résidus de prairies renouvelées, puisqu'elles sont de 19 kg N₂O contre 16. En effet, la surface de prairies a augmenté, les émissions ont fait de même. Parallèlement, les émissions dues aux résidus de cultures ont diminué de 18 % puisque les 9 ha d'ensilage ont été supprimés.

III. Scénario « sans féverole »

a. Substitution de la féverole et recours à l'achat

Pour substituer la féverole, la ration de substitution triticales-pois et soja est équilibrée en fonction des besoins UFL des animaux (tab 8).

Tableau 8 : Valeurs nutritives de la féverole et de la ration de substitution

	Quantité (kg MB)	UFL (/kg MB)	PDIE (g/kg MB)	PDIN (g/kgMB)
Ration à substituer				
féverole	1	0.98	93	156
Ration de substitution				
triticales/pois	0.43	0.51	49.0	46.5
soja	0.33	0.47	80.2	98.3
Total	0.76	0.98	129.2	144.8

Les besoins en UFL sont remplis. En revanche, pour les valeurs nutritives, cette ration apporte plus de PDIE (+39%) et un peu moins de PDIN (-7%). En moyenne, près de 12 t MB de féverole sont consommées pendant l'hiver. Si la consommation totale de féverole est substituée, il faut produire 5,2 t MB de triticales-pois et acheter 4 t MB de soja (annexe 19). A Thorigné, le rendement moyen d'un triticales-pois est de 42,5 qx/ha. Pour produire 5,2 t MB, il faut donc 1,22 ha en plus, qui sont implantés à la place de la féverole. Il reste 4,78 ha conduits en prairies à flore variée pâturée, afin d'avoir moins recours à la complémentation au pâturage et diminuer le chargement des parcelles. Ce scénario ne nécessite pas de la suppression d'UGB car le déficit en aliment est comblé par de l'achat.

b. Consommation de carburant

Les consommations de carburant à l'hectare pour planter et récolter de la féverole ou du triticales-pois sont identiques (annexe 19). Pour 6 ha de féverole, la consommation totale est de 366 L/an. En remplaçant la féverole par 1,22 ha de triticales-pois et le reste de la surface en prairie à flore variée pâturée, la consommation de fioul est de 115 L/an. En effet, 80% de la surface en féverole est substituée par de la prairie uniquement pâturée, dont seule l'implantation a nécessité du carburant.

c. Emissions de gaz à effet de serre

Les émissions de CH₄, N₂O, et NH₃ du scénario comparées à celles de la ferme actuelle sont disponibles en annexe 19. Les émissions de CH₄ et NH₃ sont équivalentes puisqu'elles sont liées aux déjections et à la fermentation entérique (pour le CH₄) des UGB qui ne sont pas modifiés. Il en est de même pour les émissions de N₂O liées au troupeau. Dans le cas des émissions liées aux résidus de prairies renouvelées, le N₂O émis est plus élevé de 18,6% dans le scénario. En parallèle, les émissions dues aux résidus de culture baissent de 3,7%. En effet, les prairies temporaires stockent plus d'azote qu'une culture annuelle puisqu'elles sont implantées pour une durée de 3-4 ans. Lorsqu'elles sont retournées, les émissions sont donc plus importantes. Au total, les émissions de N₂O directes et indirectes augmentent de 1,9%, passant de 514 à 524 kg N₂O. Dans ce scénario, il ne faut pas négliger les émissions dues à la fabrication et au transport de l'achat de soja. En se basant sur les chiffres du référentiel Dia'terre (ADEME, 2011), les 4 t de soja achetées entraînent une consommation

énergétique de 3,75 GJ soit 235 kg éq CO₂. La consommation d'énergie totale n'est pas évaluée dans les scénarios. Pour avoir une idée de la part de l'achat de soja dans les consommations d'énergie dues aux achats d'aliments, ces émissions peuvent être comparées à celles de la campagne de 2012-2013 pour ce poste. La part de soja achetée ne représenterait pas plus de 2% des consommations d'énergie dues aux achats d'aliments (environ 13,6 t éq CO₂ émis). Cet impact est donc peu important car les quantités achetées sont faibles.

IV. Discussion autour de la simulation des scénarios innovants

Il faut bien rappeler que ces simulations ne sont pas à considérer comme absolues. Elles permettent plutôt de donner un ordre de grandeur des impacts possibles sur l'environnement et sur les résultats économiques des innovations mises en place. La méthode de simulation est d'ailleurs critiquable sur plusieurs points.

En effet, les options dans les scénarios ont été choisies après consultation du responsable de la ferme, considérées comme les plus plausibles dans le système de Thorigné d'Anjou. Des choix plus radicaux, comme remplacer la totalité des flores variées par du RGA-TB ou un autre couvert prairial dans le scénario « sans prairies à flore variée » auraient pu être simulés. Dans le scénario « ensilage », l'innovation est remplacée par une autre innovation, les prairies à flore variée. Il aurait été intéressant de remplacer l'ensilage pour un autre type de prairie ou d'ensilage pour avoir des différences de résultats plus marquées. Les options sélectionnées ont donc été estimées comme les plus réalistes dans un système conduit en biologique, comme celui de Thorigné.

Au niveau de l'impact sur l'environnement les principales émissions de gaz à effet de serre ont été évaluées, mais il serait intéressant d'avoir d'autres éléments d'évaluation comme les consommations d'énergie totales ou encore le stockage de carbone dans les sols.

Conclusion

Après cinq campagnes de suivi, les évaluations réalisées sur la ferme expérimentale de Thorigné d'Anjou ont permis de constater que cette dernière est performante en termes d'environnement. En effet, son impact est relativement faible par rapport aux autres fermes biologiques et conventionnelles de l'Ouest de la France, sans pénaliser la production. Ces bons résultats s'expliquent car, d'une part, l'autonomie alimentaire est quasiment atteinte par la ferme et est basée sur la complémentarité culture-élevage. D'autre part, le système de Thorigné est un système biologique qui valorise les animaux de la naissance à la finition grâce à des pratiques innovantes. Le système est optimisé au niveau de la gestion du troupeau (génétique, double période de vêlage et premier vêlage à 30 mois), mais également pour ces productions fourragères, en favorisant au maximum le pâturage, en introduisant des légumineuses dans les rotations et en cultivant des mélanges céréales-protéagineux. D'ailleurs, en simulant l'impact de la suppression des innovations mises en place, il est constaté sans surprise, que la ferme serait moins productive. Certes les impacts environnementaux sont moins importants, mais au détriment de la production de viande. Le système actuel a donc su trouver un bon équilibre entre productivité et environnement.

La méthode d'analyse utilisée ici a permis d'étudier le système précisément mais nécessite la réalisation préalable d'un inventaire rigoureux des données de la ferme. Ce n'est pas forcément le cas pour d'autres fermes. Il est alors intéressant d'estimer les impacts avec d'autres méthodes, comme celle du projet Cantogether, qui permet de prendre du recul sur les résultats obtenus.

De manière plus globale, la diversité des pratiques mises en place dans les élevages sont liées de manière complexe à l'environnement. Ces pratiques sont en interaction et contribue à l'équilibre des systèmes. Il est alors possible dans les divers systèmes de réduire les impacts environnementaux, en optimisant leur conduite, tout en restant cohérent avec les pratiques mises en œuvre. La ferme de Thorigné d'Anjou en est un bel exemple.

Références bibliographiques :

- ADEME (2011). *Guide des valeurs Dia'terre®. Version du référentiel 1.13*. 187p.
- AGENCE BIO, 2013. *Fiche Pays de la Loire*. 2p.
- AGENCE BIO, 2014. *La Bio dans les territoires. Fiches filières 2014. Bovins, Vaches allaitantes*. 24p.
- AGRESTE, 2014. *Fiche filière : Viande bovine. Pays de la Loire*. 2p.
- ARROUAYS D. et al., 2002. *Stocker du carbone dans les sols agricoles de France ?, Rapport d'expertise réalisé par l'INRA à la demande du Ministère de l'écologie et du Développement Durable*. 332 p.
- BOSSUET I., CHAMBAUT H, 2006. *Green Dairy experimental sites: Methodological protocol*.
- BRENTUP F. et al., 2000. *Methods to estimate on-field nitrogen emissions from crop production as an input to LCA Studies in the agricultural sector*. International journal of life cycle assessment 5(6). p 349-357.
- CANTOGETHER, 2012. *Crops and ANimals TOGETHER, Collaborative project. Workpackage WP2: Deliverable D2.1: Harmonized protocol data to be measured and collected*. 34p
- CHAMBAUT H. et al., 2013. *Evaluation nette des GES et simulations des leviers d'actions pour les systèmes d'élevage Bovins en Pays de la Loire*. Pays de la Loire : Institut de l'élevage, Chambres d'agriculture Pays de la Loire. 54p.
- CHAMBRE D'AGRICULTURE PAYS DE LA LOIRE, 2010. *Les génisses, l'avenir du troupeau allaitant. Guide de recommandations pour l'élevage des génisses de renouvellement*. Janvier 2010.
- CITEPA, 2014. *Rapport national d'inventaire pour la France au titre de la convention cadre des nations unies sur les changements climatiques et du protocole de Kyoto - Rapport CCNUCC - édition de mars 2014*. CITEPA, Paris.
- COMMISSION EUROPEENNE, 2008. *Règlement (CE) n°889/2008 de la Commission du 5 septembre 2008 portant modalités d'application de règlement (CE) n°834/2007 du Conseil relatif à la production biologique et à l'étiquetage des produits biologiques en ce qui concerne la production biologique, l'étiquetage et les contrôles*. 72p.
- CORPEN, 2001. *Estimation des flux d'azote, de phosphore et de potassium associés aux bovins allaitants et aux bovins en croissance ou à l'engrais, issus de troupeaux allaitants et laitiers, et à leur système fourrager*. Ministère de l'agriculture et de la pêche, Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement. pp.34
- COUDERT M., 2012. *Evaluation environnementale appliquée à la ferme expérimentale de Thorigné d'Anjou, système viande bovine en agriculture biologique*. Mémoire de fin d'études d'ingénieur, Master Biologie, Agronomie, Santé spécialité Biologie Appliquée aux Productions Animales (BAPSA), Agrocampus Ouest, Rennes, 25 p.
- COUTARD J-P., PIERRE P., 2012. *Des prairies à flore variée pour l'autonomie des élevages de ruminants*. Rencontres autour des recherches sur les ruminants. p 257–260.
- COUTARD J-P., 2014. *Compte-rendu de l'assemblée générale ordinaire du vendredi 6 juin 2014, Ferme expérimentale de Thorigné d'Anjou*. Document interne. 2014.
- COUTARD J-P., 2010. *Valeur nutritive des associations céréales-protéagineux cultivées en agriculture biologique et utilisées pour la complémentation des ruminants*. Rencontres autour des recherches sur les ruminants, 17, p 285-288.
- DAGUENÉ M., 2013. *Evaluation par modélisation de l'efficacité économique du système de production biologique de la ferme expérimentale de Thorigné d'Anjou - Impacts de la valorisation des mâles en barons*. Mémoire de fin d'études d'ingénieur, Elevages et Systèmes de Productions, VetAgro Sup, Clermont-Ferrand, 40 p.
- DE CARA S. et al., 2008. *Projections des émissions/absorptions de gaz à effet de serre dans les secteurs forêt et agriculture aux horizons 2010 et 2020*. Rapport final, Avril 2008. INRA, Ministère de l'agriculture et de la pêche. 202p.
- DOLLÉ J-B. et al., 2013. *Contribution de l'élevage bovin aux émissions de GES et au stockage de carbone selon les systèmes de production*. Journées AEPF Prairies, Systèmes Fourragers et Changement Climatique. p19-34.
- DOLLÉ J-B., ROBIN P, 2006. *Emissions de gaz à effet de serre en bâtiment d'élevage bovin*. Fourrages. 186, p205–214.
- EMEP-EEA, 2009. *EMEP-EEA air pollutant emission inventory guidebook 2009*. Copenhagen.
- EMEP-EEA, 2013. *EMEP-EEA air pollutant emission inventory guidebook 2013. Part B. 3. Agriculture*. Copenhagen.
- FRANCEAGRIMER, 2013. *Les filières de l'élevage français. Chiffres clés. Filière bovine*.

- FREIBAUER A., KALTSCHMITT M., 2003. *Controls and models for estimating direct nitrous oxide emissions from temperate and sub-boreal agricultural mineral soils in Europe*. Biogeochemistry (63). p93-115.
- FRÉVILLE M., 2013. *Evaluation environnementale d'un système bovin viande biologique : cas particulier de la ferme de Thorigné d'Anjou*. Mémoire de fin d'études d'ingénieur. Ecole Supérieure d'Agriculture d'Angers. 74p.
- GAC A. et al., 2014. *Le potentiel d'atténuation des gaz à effet de serre en production bovine*. Document interne. 14p.
- GES'TIM. 2010, *Guide méthodologique pour l'estimation des impacts des activités agricoles sur l'effet de serre. Version 1.2*. Juin 2010. CASDAR n°6147. 156p.
- INRA, 2007. *Alimentation des bovins, ovins et caprins. Besoins des animaux-Valeurs des aliments*. Tables INRA 2007.307p
- INRA, 2012. *Expertise : Les flux d'azote liés aux élevages. Chapitre 6. Transformation, devenir et valorisation de l'azote : des effluents d'élevage aux systèmes de cultures*. p 237-238
- INSTITUT DE L'ELEVAGE, 2012. *Evaluation des performances environnementales et économiques des exploitations herbivores. Application de l'ACV à la base de données des réseaux d'élevage Institut*. Document interne. 98p.
- INSTITUT DE L'ELEVAGE, 2014. *Evaluation environnementale de l'élevage. Protocole pour les stations expérimentales, version 2014*. Document interne. 41p.
- INSTITUT DE L'ELEVAGE, 1999. *Le bilan des minéraux. Le cahier de l'éleveur. Document de comptabilité azote, phosphore, potasse*. 35p.
- INTERBEV, 2013. *L'essentiel de la filière viande bovine française 2013*. 32p.
- IPCC, 2006. *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4 : Agriculture, forestry, and 3 other land use (afolu)*. Chapter 10 and 11. p391-535.
- ITAB, 2009. *Fiche technique. La culture de la féverole en AB. Techn'ITAB*. 8p.
- JARVIS S. et al., 1995. *Patterns of methane emission from excreta of grazing animals*. Soil Biology and Chemistry (27), issue 12, p1581-1588.
- MARY B. et al., 1999. *Calculation of nitrogen mineralization and leaching in fallow soils using a simple dynamic model*. European Journal of Soil Science (50) p 549-566.
- MINISTERE DE L'AGRICULTURE, DE L'ALIMENTATION, DE LA PECHE, DE LA RURALITE ET DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE et MINISTERE DE L'AGRICULTURE, DE L'ALIMENTATION, DE LA PECHE, 2012. *Circulaire DGPAAT/SDEA/C2012-3005*. 7 février 2012.
- PAYRAUDEAU S. et al., 2005. *Analyse de l'incertitude associée au calcul des émissions azotées sur un groupe d'exploitations agricoles dans le cadre de l'application de l'Analyse du Cycle de Vie. Evaluation environnementale et développement d'une agriculture durable*. 10^{ème} Colloque international annuel du SIFEE, Angers.
- SKIBA U. et al., 1997. *Nitric oxide emissions from agricultural soils in temperate and tropical climates : sources, controls and mitigation options*. Nutrient Cycling in Agroecosystems (48), p139-153.
- VAN DER WERF H. et al., 2011. *L'Analyse de Cycle de Vie: un nouveau regard sur les systèmes de production agricole*. Innovations agronomiques. Vol. 12, p121-133.
- VERMOREL M. et al., 2008. *Evaluation quantitative des émissions de méthane entérique par les animaux d'élevage en 2007 en France*. INRA Prod. Anim., 21 (5), p403-418.
- WEBB J. et al., 2001. *Estimating the potential for ammonia emissions from livestock excreta and manures*. Environmental Pollution (111), p 395-406.

Références sitographiques :

- CITEPA, [2014]. [en ligne]. [Consulté le 11 août 2014]. Disponible à l'adresse : <http://www.citepa.org/fr/pollution-et-climat/polluants/aep-item/dioxyde-de-soufre>
- Cours des céréales biologiques - Agriculture bio - Revenuagricole.fr, [2014]. Revenu Agricole [en ligne]. [Consulté le 10 juin 2014]. Disponible à l'adresse : <http://www.revenuagricole.fr>
- Dégradations - La pollution par les nitrates, [2013]. [en ligne]. [Consulté le 8 août 2014]. Disponible à l'adresse : http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/doseau/decouv/degredation/07_pollution.htm

Ecosysteme aquatique : eutrophisation, [2002]. [en ligne]. [Consulté le 11 août 2014]. Disponible à l'adresse : <http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/doseau/decouv/ecosys/eutrophisat.html>

Insee - Agriculture - Bovins et porcins en 2013 : comparaisons régionales, [2014]. [en ligne]. [Consulté le 10 août 2014]. Disponible à l'adresse : <http://www.insee.fr>

INRA - cantogether [2013]. [en ligne]. Disponible à l'adresse : <http://presse.inra.fr/Ressources/Communiqués-de-presse/cantogether-fp-7>

Outils de calcul :

INRA, 2009. *Outil de calcul des rations. Version 4.04*. [logiciel] INRA, France.

Mary B, 2013. *Outil de calcul Lixim, Version 9.3*. [logiciel] INRA, Quimper, France.

Vertès F, 2005. *Outil de calcul du bilan apparent*. [logiciel] INRA, Quimper, France.

Annexes

Liste des annexes :

- Annexe 1: Production de viande bovine en France et dans la région des Pays de la Loire
- Annexe 2: Présentation de la ferme expérimentale de Thorigné d'Anjou
- Annexe 3 : Facteurs d'émissions et teneurs en minéraux utilisés dans l'ACV de la ferme de Thorigné d'Anjou
- Annexe 4: Méthode de simulation des scénarios
- Annexe 5: Conditions climatiques de Thorigné d'Anjou
- Annexe 6: Récoltes et pousse de l'herbe
- Annexe 7: Caractéristiques de l'exploitation
- Annexe 8: Flux de carbone
- Annexe 9: Bilan à l'échelle de l'exploitation
- Annexe 10 : Bilan à l'échelle du troupeau
- Annexe 11: Bilan à l'échelle de la parcelle
- Annexe 12: Flux d'azote vers l'air
- Annexe 13: Flux d'azote vers l'eau
- Annexe 14: Résultats de l'évaluation des impacts de la ferme sur le réchauffement climatique, l'eutrophisation et l'acidification pour l'ensemble des campagnes 2008-2012 et contribution de chaque poste d'émissions en 2012
- Annexe 15: Comparaison du système de Thorigné d'Anjou par rapport à des systèmes conventionnels et biologiques du Grand Ouest de la France
- Annexe 16: Comparaison des émissions de GES selon la méthode des stations expérimentales et celle proposée pour le projet Cantogether
- Annexe 17: Simulation du scénario "sans prairie à flore variée"
- Annexe 18: Simulation du scénario "sans ensilage céréales-protéagineux"
- Annexe 19: Simulation du scénario "sans féverole"

Annexe 1: Production de viande bovine en France et dans la région des Pays de la Loire

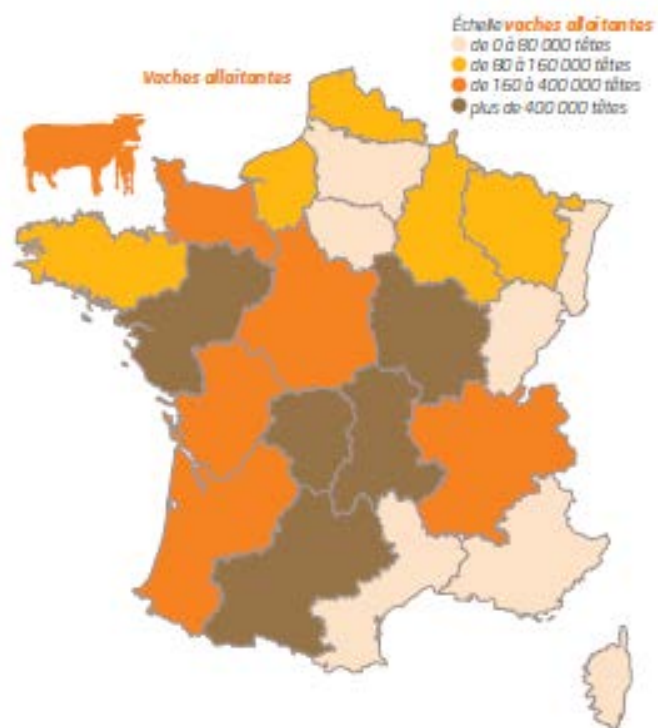


Figure 1 : Répartition par région des vaches allaitantes en France en 2011 (Source : France AgriMer, 2013)

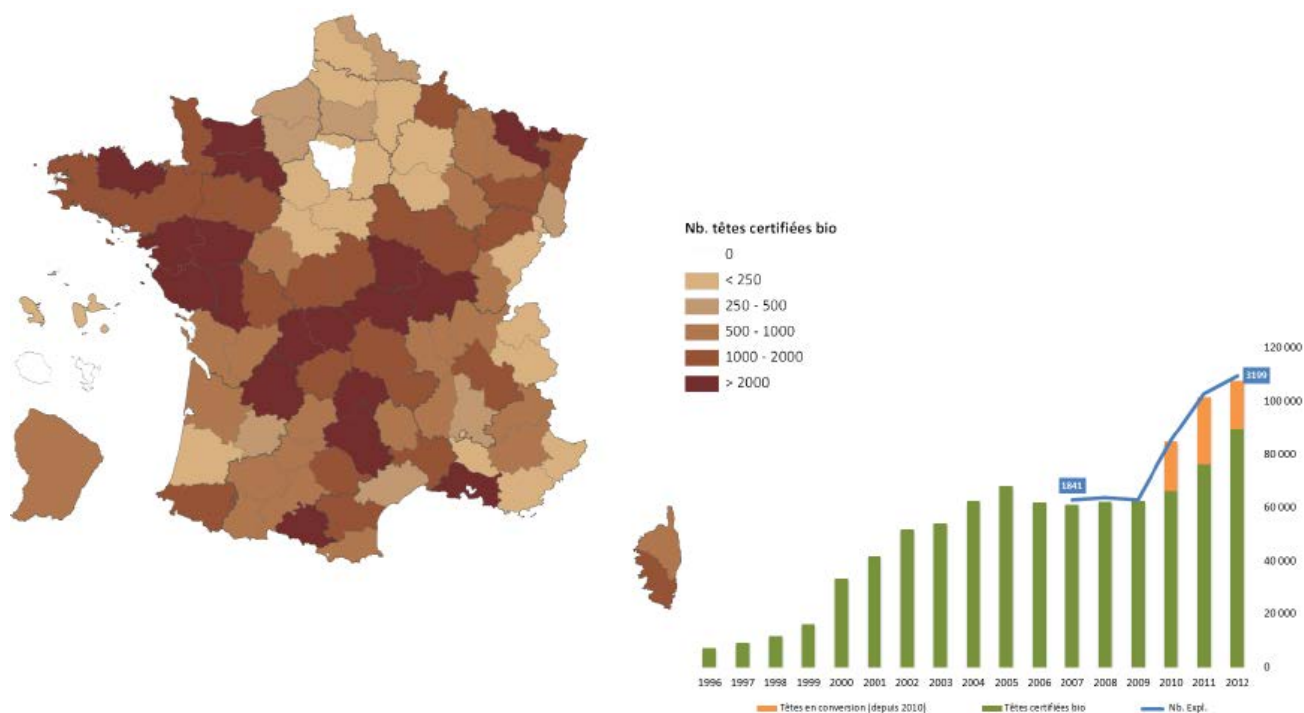
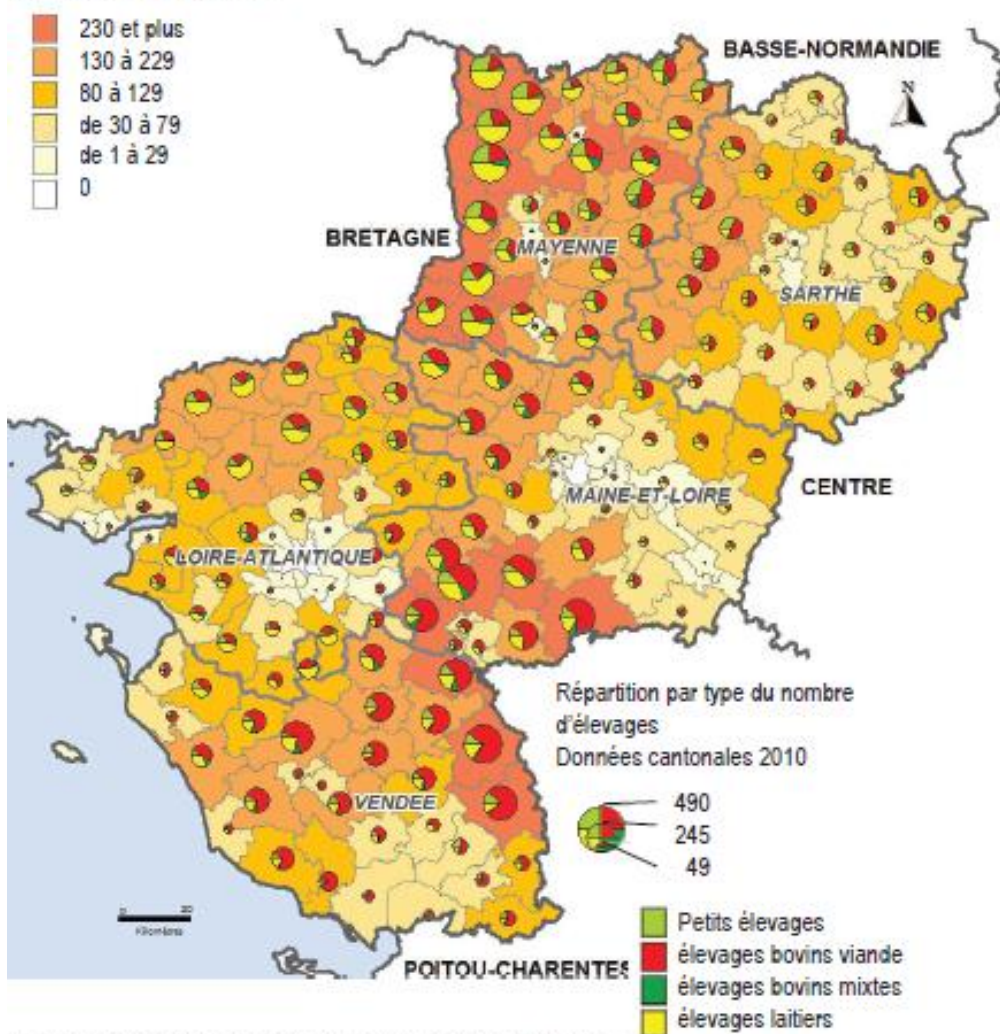


Figure 2 : Répartitions des vaches allaitantes biologiques en France, par région (Source : Agence Bio, 2014)

Nombre d'exploitations ayant des
bovins

Données cantonales 2010



Les données RA 2010 sont rapportées à la commune du siège de l'exploitation

Figure 3 : Répartition des exploitations avec bovins dans la région des Pays de la Loire 2010 (source : Agreste, 2013)

Annexe 2: Présentation de la ferme expérimentale de Thorigné d'Anjou

Seize organismes associés dans la SARL Ferme expérimentale de Thorigné d'Anjou :

- Chambre d'Agriculture du Maine-et-Loire (sept parts sociales)
- Chambre Régionale d'Agriculture des Pays de la Loire (une part sociale)
- Comités régionaux de développement agricole :
 - o Baugeois - Vallée - CRDABV (une part sociale)
 - o Layon - Saumurois - CRDALS (une part sociale)
 - o Mauges - CRDAM (une part sociale)
 - o Segréen - CRATEAS (une part sociale)
- Coopératives agricoles :
 - o CAPL (une part sociale)
 - o TERRENA (une part sociale)
- Coopératives d'élevage :
 - o GENOE (deux parts sociales)
 - o Groupement des éleveurs de l'Ouest (une part sociale)
 - o TER'ELEVAGE (une part sociale)
- Crédit Agricole de l'Anjou et du Maine (deux parts sociales)
- GROUPAMA Loire Bretagne (une part sociale)
- Elevage Conseil Loire Anjou (une part sociale)
- Groupe E.S.A., école supérieure d'agriculture (une part sociale)
- Institut de l'Elevage (une part sociale)

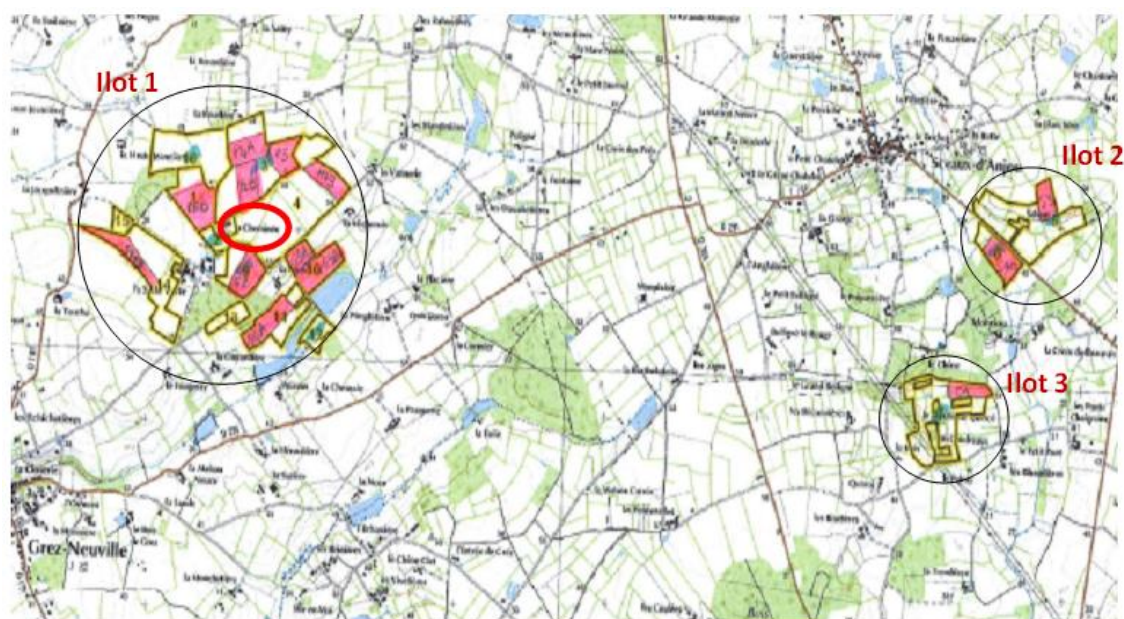


Figure 1 : Localisation du parcellaire de la ferme de Thorigné d'Anjou

Ilot 1 : d'une superficie de 95 ha sur les communes de Thorigné d'Anjou et Grez-Neuville, situé autour du site de la ferme.

Ilot 2 : de 19 ha, situé sur la commune de Sceaux d'Anjou

Ilot 3 : d'une superficie de 13 ha, localisé sur la commune de Feneu.

Annexe 3 : Facteurs d'émissions et teneurs en minéraux utilisés dans l'ACV de la ferme de Thorigné d'Anjou

Tableau 1 : Conversion de l'énergie finale en Mégajoules et en Equivalent CO₂ (source : ADEME, 2011, mise à jour juin 2012)

	Equivalent MJ	FE GES (kg Eq CO ₂)
1 L de fioul	45.6	3.24
1 L d'essence	48	2.93
1 L de gazoil	45.7	3.25
1 kWh	10.4	0.055

Tableau 2 : Principaux facteurs d'émission du méthane lié à la fermentation entérique, par type d'animal (source: De Cara et al, 2008)

Type d'animal	Facteur d'émission (kg CH ₄ /tête/an)	
	Troupeau laitier	Troupeau allaitant
Vache moyenne	117.7	72
Génisse < 1 an	23.9	24.1
Génisse 1-2 ans	62.1	58.3
Génisse > 2 ans	38.7	68.2
Génisse abattue à 26-27 mois	49.9	47.9
Taurillon abattu à 17 mois	50.9	52.4
Bœuf de 40 mois (de 0 à 40 mois)	52.3	
Jeune mâle reproducteur	53.6	
Taureau adulte	76.7	
Veaux de boucherie	0	

Tableau 3 : Facteurs d'émission du méthane par les déjections (source : GES'tim 2010)

Type de déjections	Facteurs d'émissions
Déjections au pâturage	0.8 g CH ₄ /UGB/ jour de pâturage
Déjections en bâtiment	Aire raclée : 18.46 g CH ₄ /UGB/jour en bâtiment
	Litière accumulée : 222.17 g CH ₄ /UGB/jour en bâtiment
	Caillebotis : 304.76 g CH ₄ /UGB/jour en bâtiment
Stockage des déjections	Lisier : 35.5 g CH ₄ /m ³ stocké/jour
	Fumier : 12.3 g CH ₄ /t stockée/jour

Tableau 4 : Facteurs de stockage et déstockage de carbone dans les sols (source : Arrouays et al., 2002)

Type de couvert	Facteur de stockage / déstockage
Surface en prairie < 30 ans	+ 500 kg C / ha / an
Surface en prairie > 30 ans	+ 200 kg C / ha / an
Surface en culture	0 kg C / ha / an
Retournement de prairie	- 1000 kg C / ha / an
Haies (sol)	+ 125 kg C / 100 ml / an

Tableau 5: Facteurs de stockage de carbone dans les parties aériennes des haies (source : ADEME, 2011)

Type de haie	Variation de stock de carbone (t C/ha/an)
Haie arbustive productive	0.194
Haie taillis	0.444
Haie futaie	0.228
Haie mixte	0.387

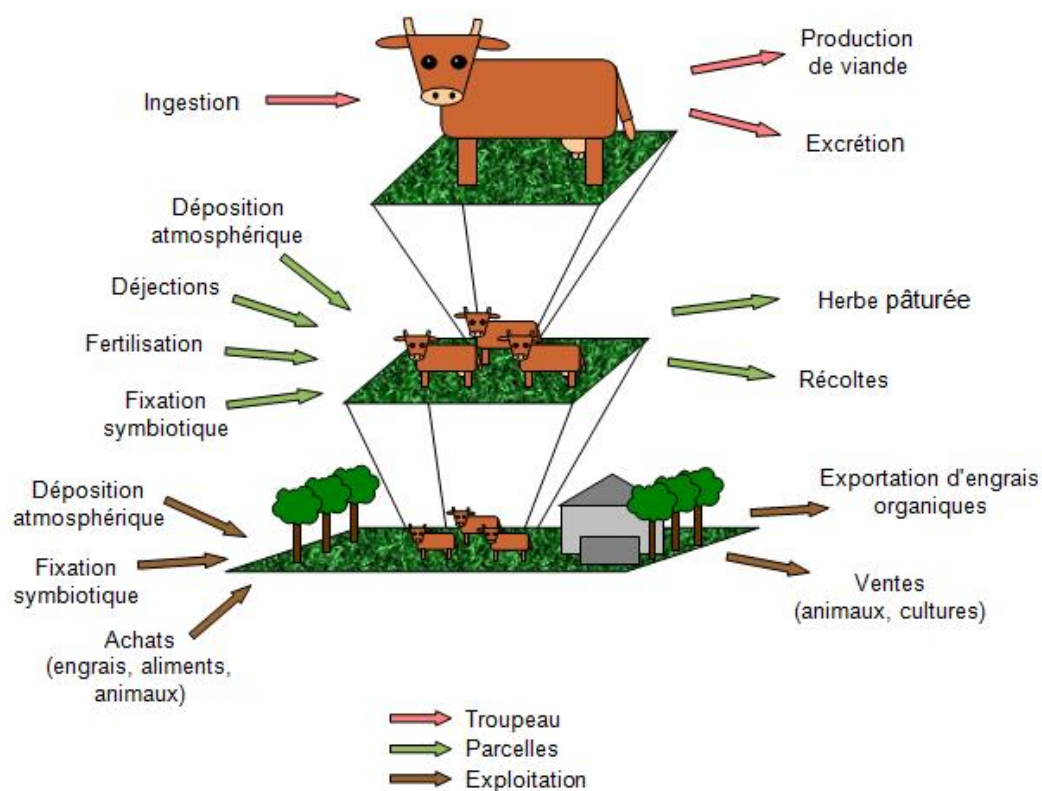


Figure 1: Origine des entrées (à gauche) et sorties (à droite) d'azote à l'échelle de l'exploitation, des parcelles et du troupeau (sources : (Coudert, 2012)

Tableau 6: Teneurs en azote et phosphore des aliments produits par la ferme expérimentale (chiffres 2012)

Type de fourrage/concentré	Teneur en MS (%)	Teneur en azote	Teneur en phosphore
		(g de N/kg MS)	(g de P/kg MS)
Herbe pâturée	29	23.7	2.8
Foin de prairie naturelle	86	11.1	1.6
Foin de prairie à flore variée	87	11.6	1.9
Foin de luzerne	89	21.9	2.0
Féverole	87	45.6	6.2
Triticale	87	16.8	3.5
Triticale-Pois fourrager	87	22.3	4.0
Ensilage Céréales-Protéagineux (Triticale, Avoine, Pois, Vesce)	36	12.7	2.3

Tableau 7: Teneurs en azote et phosphore de la viande (Source : Corpen 2001)

Type d'animal	Teneur en N	Teneur en P
	(g de N/kg de viande vive)	(g de P/kg de viande vive)
Bovins laitiers	24	7
Bovins allaitants	29	

Tableau 8: Coefficients de fixation d'azote par les légumineuses (source: Vertès, 2005 ; mise à jour Cantogther, 2012)

Couvert végétal	k1 (%)
Pois	65
Vesce	80
Prairies	80
Luzerne	75
Féverole	75
Autres	100

Couvert végétal	k2
Ray Gras / Trèfle	1.3
Autres	1

Tableau 9: Facteurs d'émission pour le N-NH₃, le N₂, le N₂O et le NO, et sources

Postes d'émissions	Facteurs d'émissions en N-NH ₃	Conversion en NH ₃ (NH ₃ = 17/14 N-NH ₃)	Sources
Bâtiment			
Lisier	0,20 kg N-NH ₃ /kg N-NH ₄	0,243 kg NH ₃ /kg N-NH ₄	EEA, 2009
Fumier	0,19 kg N-NH ₃ /kg N-NH ₄	0,231 kg NH ₃ /kg N-NH ₄	
Stockage			
Lisier	0,20 kg N-NH ₃ /kg N-NH ₄	0,243 kg NH ₃ /kg N-NH ₄	EEA, 2009
Fumier	0,27 kg N-NH ₃ /kg N-NH ₄	0,328 kg NH ₃ /kg N-NH ₄	
Pâturage			
Urine	0,12 kg N-NH ₃ /kg N	0,146 kg NH ₃ /kg N	EEA, 2009
Fèces	0,03 kg N-NH ₃ /kg N	0,036 kg NH ₃ /kg N	
Fertilisation			
Fumier de bovins (hiver)	0,57 kg N-NH ₃ /kg N-NH ₄	0,692 kg NH ₃ /kg N-NH ₄	Bossuet et Chambaut, 2006
Fumier de bovins (printemps)	0,76 kg N-NH ₃ /kg N-NH ₄	0,923 kg NH ₃ /kg N-NH ₄	
Fumier de poulets de chair	0,69 kg N-NH ₃ /kg N-NH ₄	0,838 kg NH ₃ /kg N-NH ₄	EEA, 2009
Fumier de poules pondeuses	0,66 kg N-NH ₃ /kg N-NH ₄	0,801 kg NH ₃ /kg N-NH ₄	
Fumier de porcs	0,81 kg N-NH ₃ /kg N-NH ₄	0,984 kg NH ₃ /kg N-NH ₄	EEA, 2009
Lisier de porcs à l'engraissement	0,40 kg N-NH ₃ /kg N-NH ₄	0,486 kg NH ₃ /kg N-NH ₄	EEA 2009
Lisier de truies	0,29 kg N-NH ₃ /kg N-NH ₄	0,352 kg NH ₃ /kg N-NH ₄	

Poste d'émission	Facteurs d'émissions en N-N ₂	Conversion en N ₂ (N ₂ = 1 N-N ₂)	Source
Pâturage	3 kg N-N ₂ /kg N-N ₂ O	3 kg de N ₂ /kg N ₂ O	Webb, 2001
Fertilisation	3 kg N-N ₂ /kg N-N ₂ O	3 kg de N ₂ /kg N ₂ O	

Postes d'émissions	Facteurs d'émissions en N-N ₂ O	Conversion en N ₂ O (N ₂ O = 44/28 N-N ₂ O)	Sources
Bâtiment			
Aire raclée	0,00056 g N-N ₂ O /UGB/jour	0,00088 g N ₂ O /UGB/jour	Gac <i>et al</i> , 2010b
Litière accumulée	0,4518 g N-N ₂ O /UGB/jour	0,71 g N ₂ O /UGB/jour	
Caillebotis	0,3055 g N-N ₂ O /UGB/jour	0,48 g N ₂ O /UGB/jour	
Stockage	3 g N-N ₂ O /kg N stocké	4,71 g N ₂ O /kg N stocké	Gac <i>et al</i> , 2010b
Pâturage			
Urine	0,015 kg N-N ₂ O/kg N	0,02357 kg N ₂ O/kg N	Gac <i>et al</i> , 2010b
Fèces	0,004 kg N-N ₂ O/kg N	0,00629 kg N ₂ O/kg N	
Emissions Indirectes			
FE N ₂ O lessivage	0,0075 kg N-N ₂ O/kg N	0,0118 kg N ₂ O/kg N	Gac <i>et al</i> , 2010b
FE N ₂ O volatilisation	0,001 kg N-N ₂ O/kg N	0,0157 kg N ₂ O/kg N	
FE N ₂ O résidus de cultures	0,001 kg N-N ₂ O/kg N	0,0157 kg N ₂ O/kg N	
FE N ₂ O retournement de prairies temporaires	0,001 kg N-N ₂ O/kg N	0,0157 kg N ₂ O/kg N	

Postes d'émissions	Facteurs d'émissions en N-NO	Conversion en NO (NO = 30/17 N-NO)	Source
Bâtiment	0,0018 kg N-NO/kg N	0,00318 kg NO/kg N	Skiba <i>et al</i> , 1997
Stockage	0,0018 kg N-NO/kg N	0,00318 kg NO/kg N	
Pâturage	0,0018 kg N-NO/kg N	0,00318 kg NO/kg N	
Fertilisation	0,0018 kg N-NO/kg N	0,00318 kg NO/kg N	

Tableau 10: Potentiel de Réchauffement Global à 100 ans (PRG) des gaz à effet de serre (source: GIEC, 2007 dans GES'tim, 2010)

Gaz	PRG en équivalent CO ₂
Dioxyde de carbone CO ₂	1
Méthane CH ₄	25
Protoxyde d'azote N ₂ O	298

Tableau 11 : Conversion des consommations d'énergie, des flux de phosphore et d'azote responsables de l'eutrophisation (en éq. PO₄) et de l'acidification (en éq. SO₂)

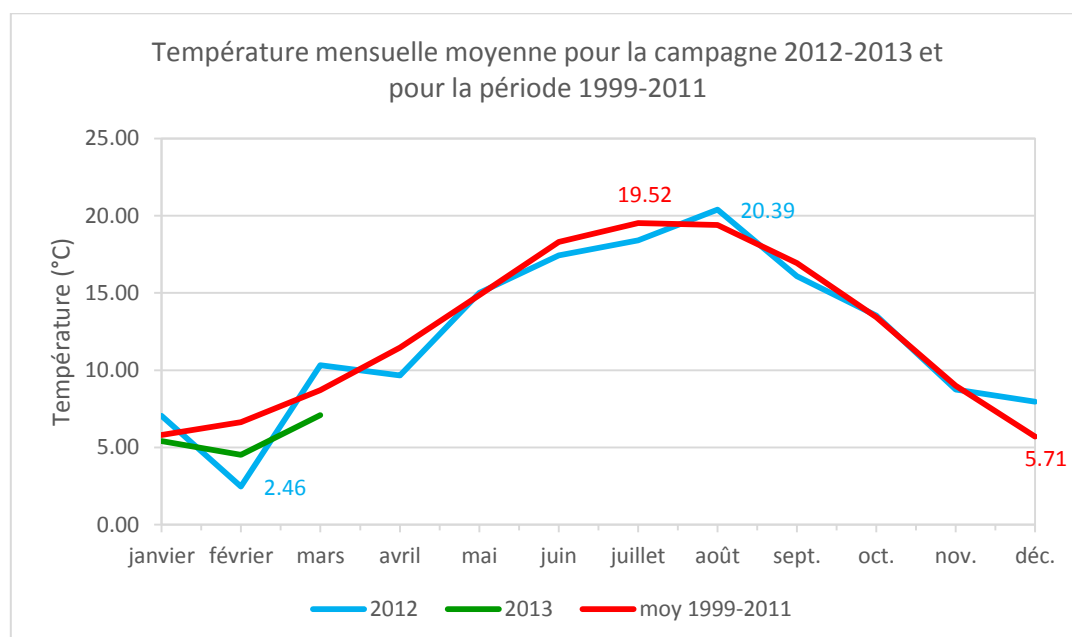
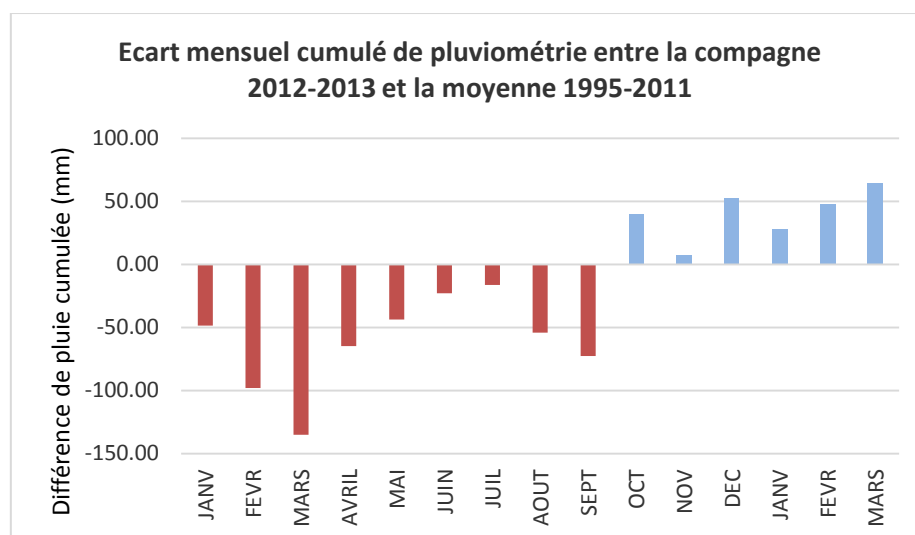
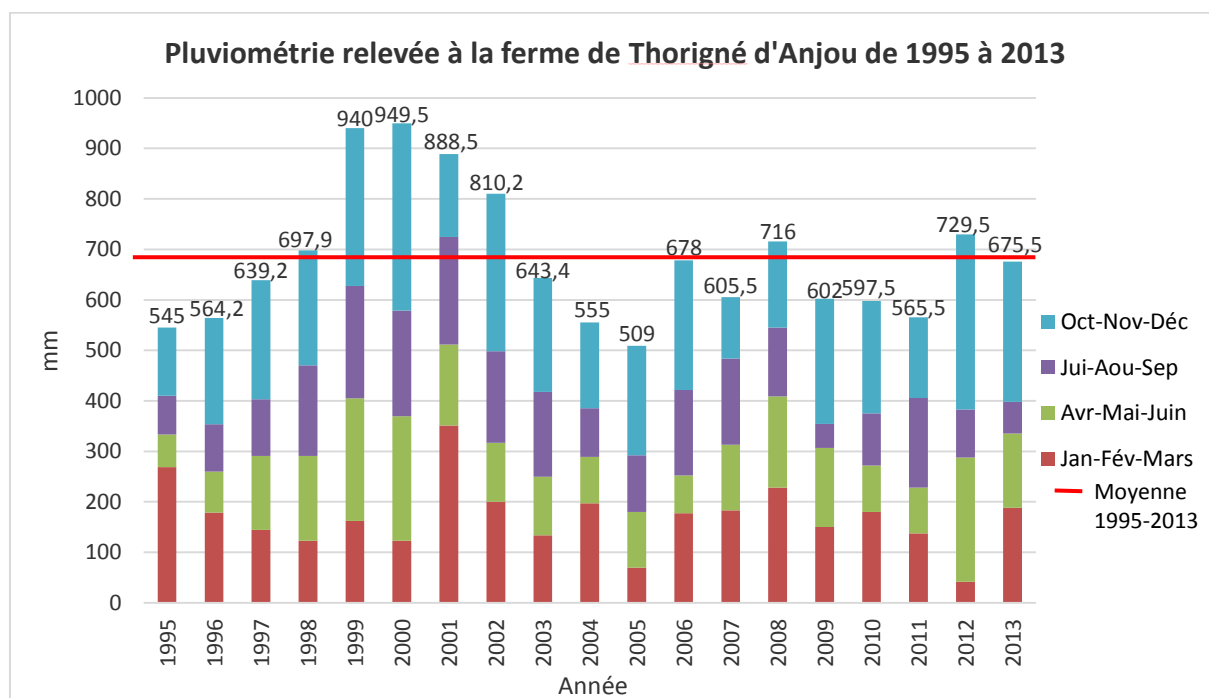
	Eutrophisation	Acidification
1 kg P	3.065 kg Eq. PO ₄	-
1 kg NH ₃	0.35 kg Eq. PO ₄	1.6 kg Eq. SO ₂
1 kg NO	0.2 kg Eq. PO ₄	0.5 kg Eq. SO ₂
1 kg NO ₃	0.1 kg Eq. PO ₄	-
1 L de produits pétroliers	-	0.0093 kg Eq. SO ₂
1 kWh	-	0.0005 kg Eq. SO ₂

Annexe 4: Méthode de simulation des scénarios

Tableau 1 : Valeurs nutritives par kg MB pour la féverole et la ration de substitution

	Quantité (kg MB)	UFL (/kg MB)	PDIE (g/kg MB)	PDIN (g/kg MB)
Aliment à substituer				
Féverole	1	0.98	93	156
Ration de substitution				
Triticale-pois	1	1.18	114	108
Soja extrudé	1	1.44	243	298

Annexe 5: Conditions climatiques de Thorigné d'Anjou



Annexe 6: Récoltes et pousse de l'herbe

Récoltes		Surface 2012 (ha)	Unité	Rendement 2012	Moyenne 1999-2011
Luzerne	Total		T MS/ha	12,38	8,92
Foin	2e cycle	5,49	T MS/ha	5,06	<i>non renseigné</i>
Foin	3e cycle	5,49	T MS/ha	2,53	<i>non renseigné</i>
Bre	1e cycle	5,49	T MS/ha	4,79	<i>non renseigné</i>
Flore variée					
Foin	1e cycle	7,17 ¹	T MS/ha	3,97	3,68
	2e cycle	12,58 ¹	T MS/ha	3,11	2,57
	3e cycle	7,59 ¹	T MS/ha	2,12	<i>non renseigné</i>
Bre	1e cycle	7,13 ¹	T MS/ha	4,19	3,62
	2e cycle	1,81 ¹	T MS/ha	3,32	1,24
Prairies naturelles	1e cycle	16,37 ¹	T MS/ha	3,99	2,78
Ensilage CERPRO		6,53	T MS/ha	11,31	7,33
Ray-grass/Trèfle incarnat			T MS/ha	7,73	
Foin	2e cycle	0,88 ¹	T MS/ha	1,77	<i>inexistant avant 2012</i>
Bre	1e cycle	0,88 ¹	T MS/ha	5,96	
Triticale - Pois fourrager	Grain	10,16	q/ha	41,56²	42,56
	Paille	10,16	T/ha	3,74	4,00
Triticale	Grain	1,65	q/ha	52,36²	41,35
	Paille	1,65	T/ha	5,96	3,65
Féverole hiver	Grain	6,58	q/ha	19,47²	27,83

¹ Les surfaces correspondent aux hectares totaux récoltés selon la nature et le cycle de la récolte.

² Le rendement pour les concentrés est un rendement standard.

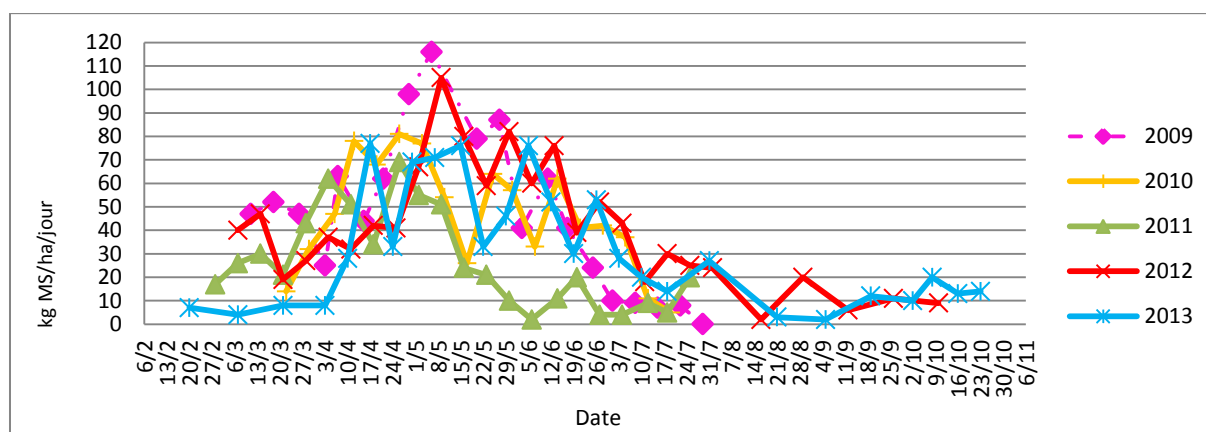


Figure 1 : Comparaison de la pousse de l'herbe de 2009 à 2012 à la ferme expérimentale de Thorigné d'Anjou

Annexe 7: Caractéristiques de l'exploitation

Tableau 1 : Structure générale de la ferme de Thorigné d'Anjou pour les campagnes de 2008 à 2012

	2008	2009	2010	2011	2012	Moy 2008-2012
SAU (ha)	113.50	124.19	120.43	123.85	121.69	120.73
SFP (ha)	97.6	96.8	108.1	109.9	102.0	102.9
SFP/SAU (%)	86	78	90	89	84	85
UGB	116.1	113.0	116.1	118.1	111.8	115.0
Chargement (UGB/ha SFP)	1.19	1.17	1.07	1.08	1.10	1.12
Production totale de viande vive (kgvv/an)	33369	34330	37389	39305	33624	35603
Production de viande vive (kgvv/UGB/an)	287	304	322	333	322	314

Tableau 2 : Gestion du troupeau de l'élevage de Thorigné d'Anjou pour les campagnes 2008 à 2012

	2008	2009	2010	2011	2012
Nombre d'animaux vendus					
Vaches de réforme	32	33	23	23	30
Bœufs	6	11	14	8	16
Barons	0	6	12	13	0
Broutards	4	0	6	3	9
Taureaux reproducteurs	2	1	0	0	0
Taureaux de réforme	1	0	0	1	1
Veaux lourds (170-180 jours)	12	5	4	10	5
Veaux d'élevage (3 semaines)	9	7	2	13	9
Animaux morts ou saisis	15	5	6	13	2
Période moyenne de pâturage					
Lot vêlage de printemps	1 avril-15 nov	19 mars-15 nov	29 mars-20 nov	15 mars-16 nov	11 avril-12 déc
Lot vêlage d'automne	19 mars-11 nov	19 mars-21 nov	17 mars-20 nov	15 mars-29 nov	12 mars-19 nov
Jours de présence au pâturage (JPP) /ha pâturés	396	382	336	405	359
Distribution d'aliments					
Fourrages /UGB (kg MS/an)	2059	2689	2491	2281	2008*
Concentrés /UGB (kg MB/an)	446	417	529	502	363*

Tableau de données chiffrées sur l'année civile. * Distribution d'aliments sur la durée de la campagne mars 2012 - mars 2013.

JPP = (nombre UGB * nombre de jour au pâturage)

Annexe 8: Flux de carbone

Tableau 1 : Consommations d'énergie directes et indirectes et émissions de GES associées, par la ferme expérimentale (hors recherche) en 2012

	Quantités consommées (unités physiques)	Energie consommée		Emissions GES	
		GJ/ha SAU	GJ/100kgvv	kg éq.CO2/ha SAU	kg éq.CO2/100 kgvv
Produits pétroliers (L)	6922.6	2.6	0.9	184	67
Electricité (kWh)	12032.3	1.0	0.4	5	2
Achats d'aliments (kg MB)	76.3	0.7	0.2	118	43
Fertilisation minérale	0	0.0	0.0	0	0
TOTAL	-	4.3	1.6	308	111

Tableau 2 : Détails des émissions de CH₄ par poste en 2012, depuis les émissions brutes en CH₄ jusqu'aux émissions de GES en équivalent CO₂

2012	kg CH4	kg CH4/100 kgvv	t Eq. CO2	kg Eq. CO2/100 kgvv	kg éq. CO2 /ha SAU
Fermentation entérique	9 003	27	225	669	1 849
Déjections en bâtiment	1 682	5	42	125	346
Déjections au pâturage	22	0	1	2	4
Stockage des déjections	728	2	18	54	150
Total	11 435	34	286	850	2 349

Annexe 9: Bilan à l'échelle de l'exploitation

kg N/ha SAU et kg P/ha SAU	2009		2010		2011		2012		moyenne 2009-2012	
	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P
ENTREES										
Engrais chimiques achetés	1.6	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.3
Engrais organiques importés	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Fixation symbiotique	28.2		27.3		28.7		39.4		30.9	
Aliments et litières (achats + stocks)	2.8	0.3	22.2	2.8	12.5	1.8	5.5	1.0	10.8	1.5
Animaux achetés	0.9	0.3	0.0	0.0	0.10	0.03	0.08	0.02	0.3	0.1
Déposition atmosphérique	10.1		10.5		10.0		10		10.1	
Total entrées	43.6	1.6	60.0	2.8	51.4	1.8	54.8	1.1	52.4	1.8
SORTIES										
Engrais organiques exportés	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.2	0.2	0.0
Cultures de vente	4.0	0.8	1.0	0.2	1.0	0.2	0.0	0.0	1.5	0.3
Animaux vendus	9.0	2.2	9.4	2.3	8.1	2.4	9.9	2.4	9.1	2.3
Total sorties	13.0	3.0	10.4	2.5	9.1	2.6	10.6	2.6	10.8	2.7
SOLDE DU BILAN	kg N/ha SAU	kg P/ha SAU	kg N/ha SAU	kg P/ha SAU	kg N/ha SAU	kg P/ha SAU	kg N/ha SAU	kg P/ha SAU	kg N/ha SAU	kg P/ha SAU
	30.6	-1.3	49.5	0.3	42.2	-0.8	44.2	-1.5	40.8	-0.6

Annexe 10 : Bilan à l'échelle du troupeau

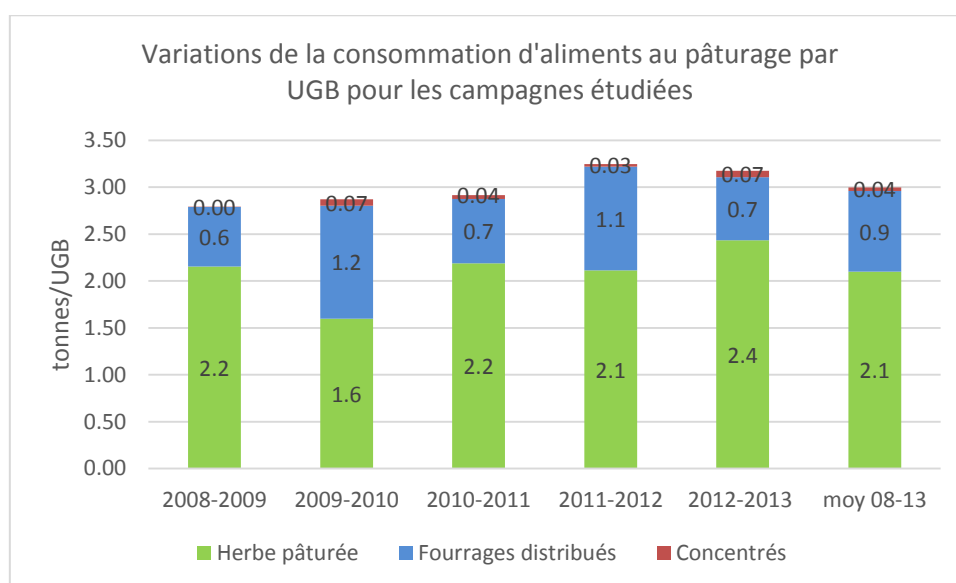


Tableau 1 : Résultats du bilan azote et phosphore à l'échelle du troupeau, pour les 5 campagnes d'évaluation

	2008-2009		2009-2010		2010-2011		2011-2012		2012-2013		Moyenne 2008-2013	
	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P
<i>en kg/UGB</i>												
Ingestion	86.6	11.5	95.0	13.0	86.1	11.5	84.7	11.8	97.7	12.9	90.0	12.1
Sortie Viande	7.5	1.98	8.0	2.0	9.7	2.3	9.0	2.2	8.7	2.1	8.6	2.1
Excrétion	84.9	9.5	87.0	11.0	76.4	9.1	75.8	9.6	89.0	10.7	82.6	10.0
Valorisation (%)	8.6	17.3	8.4	15.4	11.3	20.3	10.6	18.5	8.9	16.4	9.5	17.5

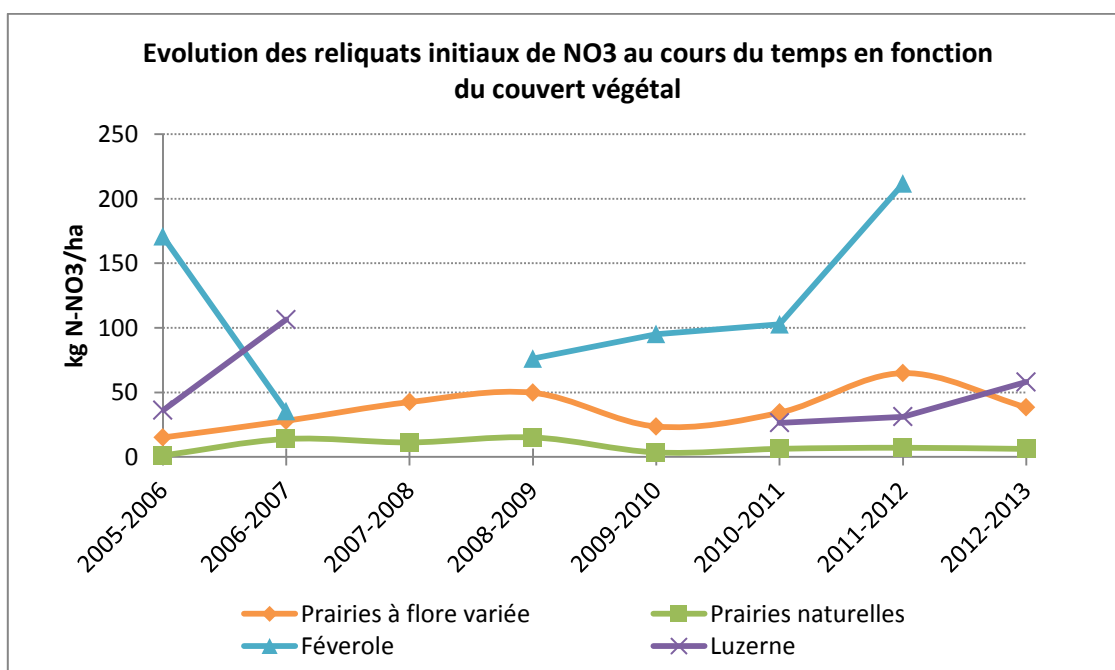
Annexe 11: Bilan à l'échelle de la parcelle

	2008		2009		2010		2011		2012		Moyenne 2008-2012	
<i>kg N et kg P /ha SAU</i>	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P
ENTREES												
Restitution des déjections	57	6	48	5	48	6	51	6	60	7	53	6
Fertilisation	22	4	21	5	16	4	17	4	13	3	18	4
Fixation symbiotique	43	-	28	-	27	-	29	-	40	-	34	-
Déposition atmosphérique	10	-	10	-	10	-	10	-	10	-	10	-
Total entrées	132	10	107	10	102	9	106	10	123	10	114	10
SORTIES												
Herbe pâturée	51	6	35	4	49	6	44	6	54	6	47	6
Récoltes	56	9	52	8	29	4	34	7	57	8	45	7
Total sorties	107	15	87	12	78	9	78	13	111	15	92	13
SOLDE DU BILAN												
Bilan	25	-5	20	-3	23	0	28	-2	12	-5	22	-3

Annexe 12: Flux d'azote vers l'air

2012	N-NH3	N-NO	N-N2O	N-N2	N Total
	(kg N/ha SAU)				
Pâturage	5.15	0.11	0.65	1.95	7.84
Bâtiment	2.64	0.042	0.026	7.10	12.48
Stockage	2.59	0.04	0.047		
Epandage	0.50	0.02	0.13		
Lessivage			0.27		0.27
Volatilisation			0.12		0.12
Résidus de culture			0.06		0.06
Retournement prairies			0.09		0.09
Total émissions directes	10.87	0.21	0.85	9.42	21.35
Total émissions indirectes			0.53		0.53
TOTAL	10.87	0.21	1.38	9.42	21.88
	50%	1%	6%	43%	100%

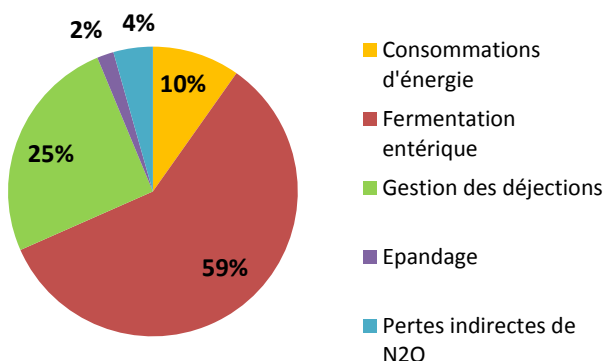
Annexe 13: Flux d'azote vers l'eau



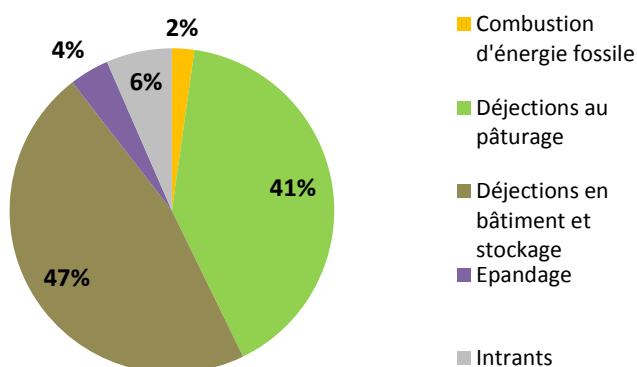
Annexe 14: Résultats de l'évaluation des impacts de la ferme sur le réchauffement climatique, l'eutrophisation et l'acidification pour l'ensemble des campagnes 2008-2012 et contribution de chaque poste d'émissions en 2012

	2008	2009	2010	2011	2012	moy 2008-2012
Réchauffement climatique <i>kg éq. CO2/ha SAU</i>						
CH4	2 495.6	2 385.0	2 659.2	2 585.3	2 415.8	2 508.2
CO2	224.0	188.0	322.4	308.3	309.1	270.4
N2O	734.6	586.0	401.9	544.2	431.8	539.7
Stockage C	1 546.7	1 639.4	1 680.7	1 393.7	1 545.1	1 561.1
Total émissions	3 454.2	3 159.0	3 383.4	3 437.8	3 156.8	3 318.2
Réchauffement climat. Net	1 907.5	1 519.6	1 702.6	2 044.1	1 611.7	1 757.1
Eutrophisation <i>kg Eq PO4/ha SAU</i>						
PO4		0.07	0.10	0.13	0.10	0.10
NH3		4.30	4.02	4.35	4.93	4.40
NO		0.06	0.07	0.08	0.07	0.07
NO3		6.60	7.66	3.63	16.13	8.51
Total émissions		11.0	11.9	8.2	21.2	13.1
Total émissions avec intrants			14.8	11.8	23.1	16.6
Acidification <i>kg éq. SO2/ha SAU</i>						
SO2		0.6	0.5	0.6	0.6	0.56
NH3	11.8	19.8	17.7	19.9	22.5	19.98
NO	0.25	0.15	0.18	0.19	0.18	0.18
Total émissions	12.0	20.5	18.4	20.7	23.3	20.7
Total émissions avec intrants			21.2	24.1	24.9	23.4

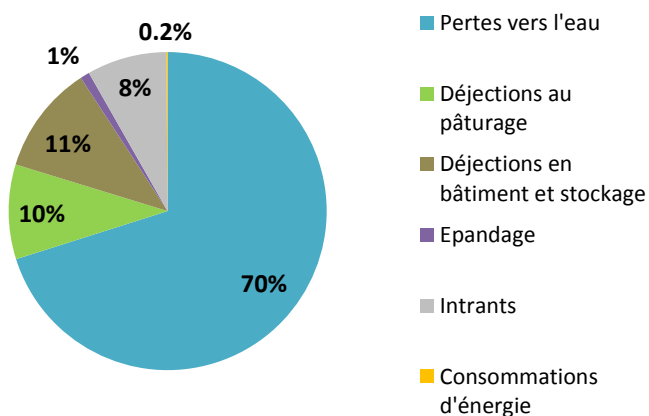
Contribution des différents postes au réchauffement climatique (kg Eq CO₂, 2012)



Contribution des différents postes à l'acidification (kg Eq SO₂, 2012)



Contribution des différents postes à l'eutrophisation (kg Eq PO₄, 2012)



Annexe 15: Comparaison du système de Thorigné d'Anjou par rapport à des systèmes conventionnels et biologiques du Grand Ouest de la France

	Thorigné d'Anjou 2008- 2012	Fermes conventionnelles 2009-2010				Fermes biologiques 2009-2010		
		Naisseurs	Naisseurs- Engraisseurs bœufs	Naisseurs- Engraisseurs Jeunes Bovins	Engraisseurs bœufs	Naisseurs	Naisseurs- Engraisseurs bœufs	Naisseurs- Engraisseurs Jeunes Bovins
Nombre de fermes	1	36	4	51	13	11	3	2
Structure								
SAU (ha)	123	101	151	115	101	133	111	133
SFP (ha et %)	103 (84%)	89 (88%)	110 (73%)	110 (96%)	84 (83%)	115 (86%)	95 (86%)	93 (70%)
Nombre UGB totaux	115	118	164	152	128	123	109	98
Nombre UGB Bovins Viande	115	106	136	134	29	101	109	98
Chargement (UGB/ ha SFP)	1.1	1.5	1.2	1.8	1.6	1.1	1.1	1.1
Nombre de vaches allaitantes	68	65	68	72	0	60	48	52
Temps en bâtiment (jours)	122	135	148	162	167	132	142	141
Production								
Viande vive (kg)	35 758	30 021	39 937	49 443	14 704	24 952	29 842	23 530
Viande vive/UGB (kg)	311	279	296	371	532	245	271	241
Alimentation								
Herbe pâturée+ fourrages (tMS/UGB)	4.2	4.6	4.5	4.7	4.4	4.5	4.7	4.0
Herbe pâturée (tMS/UGB)	2.1	2.5	2.3	2.4	1.7	2.3	2.8	1.8
Concentrés (t/UGB)	0.37	0.37	0.19	0.76	0.60	0.21	0.29	0.31
Consommation d'énergie								
En MJ/ha SAU	4593	6735	5413	9700	2149	4690	5244	4062
En MJ/100 kgvv	1584	2274	2090	2250	1480	2520	1956	2288
Stockage de carbone								
en t C/ha SAU/an	0.43	0.46	0.50	0.27	0.32	0.48	0.49	0.47
Bilan minéraux								
Azote lessivé (kg N/ha SAU)	22	28	27	53	44	6	1	26
Bilan N exploitation (kg N/ha)	20	51	47	76	57	7	2	5
Réchauffement climatique								
Emissions brutes en kg éq CO2/ha SAU	3318	4539	3047	4004	4531	2950	3497	3138
Emissions nettes en kg éq CO2/ha SAU	1757	2838	1904	2503	2832	1336	1580	1467
Emissions brutes en kg éq CO2/100 kgvv	1144	1561	1382	1342	703	1611	1354	1530
Emissions nettes en kg éq CO2/100 kgvv	606	957	719	1089	509	796	632	534
Eutrophisation								
en kg éq PO4/ha SAU	17	27	24	42	36	11	9	18
en kg éq PO4/ 100 kgvv	6	6	6	7	5	5	3	10
Acidification								
en kg éq SO2/ha SAU	23	59	52	72	61	36	40	26
en kg éq SO2/100 kgvv	8	15	16	13	8	15	15	13

Annexe 16: Comparaison des émissions de GES selon la méthode des stations expérimentales et celle proposée pour le projet Cantogether

	Méthode Station	Méthode Cantogether	Ecart-type	Coefficient de variation (%)
<i>Emissions de CH₄ (kg CH₄)</i>				
Fermentation entérique au pâturage et en bâtiment	9003	11754	1946	19
Déjections au pâturage, en bâtiment, au stockage et traitement (compost)	2159	1388	545	31
<i>Emissions de N₂O (kg N₂O)</i>				
Déjections en bâtiment, au stockage et traitement (compost)	14	105	64	108
Résidus de cultures	11	18	5	35
Résidus via le renouvellement des prairies	NR	16	-	-
Epandage	24	24	0	0
Déjections au pâturage	124	245	86	46
Pertes de carbone	NR	53	-	-
Pertes indirectes par lessivage	52	53	0.3	1
<i>Emissions de NH₃ (kg NH₃)</i>				
Déjections au pâturage, en bâtiment, au stockage et à l'épandage	1607	1849	171	10

Annexe 17: Simulation du scénario "sans prairie à flore variée"

Tableau 1 : Différence de production et des valeurs nutritives entre 28 ha de prairies à flore variée et de RGA-TB

	Production prairie ingérée (kg MS)	UFL	MAT (kg)	PDIN (kg)	PDIE (kg)	UEB	
Δ totale	42000	31612	4459	2873	3281	37648	En moins avec RGA-TB
Δ %	28	23	19	20	24	27	% en moins avec RGA-TB

Tableau 2 : Tableau comparatifs des émissions de gaz à effet de serre de la ferme actuelle et la ferme sans l'innovation "prairies à flore variée" selon la méthodologie suivie dans le projet Cantogether

	Ferme actuelle	Sans Prairie à flore variée	Variation des émissions (%)
Emissions de CH4 (kg CH4)			
Fermentation entérique au pâturage et en bâtiment	11754	10857	-7.6
Déjections au pâturage, en bâtiment, au stockage et traitement (compost)	1388	1280	-7.8
Total des émissions (kg CH4)	13142	12137	-7.6
Emissions de N2O (kg N2O)			
Déjections en bâtiment, au stockage et traitement (compost)	105	96	-8.2
Résidus de cultures	18	18	-
Résidus via le renouvellement des prairies	16	14	-13.3
Epandage	24	24	-1.6
Déjections au pâturage	245	227	-7.3
Pertes de carbone	53	53	-
Pertes indirectes par lessivage	53	50	-5.0
Total des émissions (kg N2O)	514	482	-6.2
Emissions de NH3 (kg NH3)			
Déjections au pâturage, en bâtiment, au stockage et à l'épandage	1849	1700	-8.0

Annexe 18: Simulation du scénario "sans ensilage céréales-protéagineux"

Tableau 1 : Production de fourrages pour le scénario "ensilage céréales-protéagineux"

		Rendement moyen (t MS/ha)	Surface (ha)	Production totale (t MS)
Enrubannage FV	1er cycle	4.3	6	25.8
Foin FV	1er cycle	3.7	3	11.1
				36.9

Tableau 2 : Production d'herbe dans la pâture pour le scénario "ensilage céréales-protéagineux"

	juin	juillet	août	septembre	octobre	mi-novembre	Production totales (t MS)
Nombre de jours	30	31	31	30	31	15	
kg MS produite/j/ha	41	16	5	5	10	10	
Production/mois	1230	496	155	150	310	150	
Nombre ha pâturés	6	6	9	9	9	9	
Total kg MS pâturés	7380	2976	1395	1350	2790	1350	17.2

Tableau 3 : Consommation en carburant pour produire 9ha d'ensilage

	Consommation (L/ha)	Consommation (Litres)
Semis ensilage TAPV	41	369
Récolte	57	513
TOTAL consommé		882

Tableau 4 : Consommation en carburant pour produire 9 ha de prairie varié

	Consommation (L/ha)	Consommation (Litres)
Implantation prairies/an	9.5	86
Récolte foin	22	66
Récolte enrubannage	19	114
TOTAL consommé		266

Tableau 5 : Tableau comparatif des émissions de gaz à effet de serre entre le système de la ferme actuelle et la ferme sans l'innovation "ensilage céréales-protéagineux" selon la méthodologie suivie dans le projet Cantogether

	Ferme actuelle	Sans Ensilage céréales- protéagineux	Variation des émissions (%)
<i>Emissions de CH4 (kg CH4)</i>			
Fermentation entérique au pâturage et en bâtiment	11754	11390	-3.1
Déjections au pâturage, en bâtiment, au stockage et traitement (compost)	1388	1343	-3.2
Total des émissions (kg CH4)	13142	12733	-3.1
<i>Emissions de N2O (kg N2O)</i>			
Déjections en bâtiment, au stockage et traitement (compost)	105	101	-3.5
Résidus de cultures	18	11	-18.4
Résidus via le renouvellement des prairies	16	19	18.6
Epandage	24	24	-1.6
Déjections au pâturage	245	227	-7.3
Pertes de carbone	53	53	-
Pertes indirectes par lessivage	53	51	-3.7
Total des émissions (kg N2O)	514	485	-5.6
<i>Emissions de NH3 (kg NH3)</i>			
Déjections au pâturage, en bâtiment, au stockage et à l'épandage	1849	1783	-3.6

Annexe 19: Simulation du scénario "sans féverole"

Tableau 1 : Production de matière brute et valeurs nutritives totales de la féverole et de la ration de substitution.

	quantité (t MB)	UFL totaux	PDIE (kg/t MB)	PDIN (kg/t MB)
féverole	12.1	11810	1121	1880
triticale/pois	5.2	6115	591	560
soja	4.0	5727	966	1185
TOTAL	9.2	11841	1557	1745

Tableau 2: Consommation de carburant pour la production de féverole sur 6 ha

	Consommation (L/ha)	Consommation (litres total)
Semis féverole	44	264
Récolte	17	102
TOTAL consommé		366

Tableau 3: Consommation de carburant pour la production de triticales-pois sur 1,22 ha

	Consommation (L/ha)	Consommation (litres total)
Semis triticales-pois	37	54
Récolte	17	21
TOTAL consommé		74

Tableau 4: Consommation de carburant pour l'implantation d'une prairie sur 4,78 ha

	Consommation (L/ha/an)	Consommation (litres total/an)
Implantation prairie	9.5	41

Tableau 5: Tableau comparatif des émissions de gaz à effet de serre entre le système de la ferme actuelle et la ferme sans l'innovation "féverole" selon la méthodologie suivie dans le projet Cantogether

	Ferme actuelle	Sans féverole	Variation des émissions (%)
<i>Emissions de CH4 (kg CH4)</i>			
Fermentation entérique au pâturage et en bâtiment	11754	11754	-
Déjections au pâturage, en bâtiment, au stockage et traitement (compost)	1388	1388	-
Total des émissions (kg CH4)	13142	13142	-
<i>Emissions de N2O (kg N2O)</i>			
Déjections en bâtiment, au stockage et traitement (compost)	105	105	-
Résidus de cultures	18.3	17.6	-3.7
Résidus via le renouvellement des prairies	15.8	18.7	18.6
Epandage	24	24	-
Déjections au pâturage	245	245	-
Pertes de carbone	53	53	-
Pertes indirectes par lessivage	53	61	14.9
Total des émissions (kg N2O)	514	524	1.9
<i>Emissions de NH3 (kg NH3)</i>			
Déjections au pâturage, en bâtiment, au stockage et à l'épandage	1849	1849	-

Résumé :

Face à l'augmentation de la population mondiale, l'enjeu est de réussir à nourrir la planète tout en sachant que les ressources se raréfient. L'agriculture est en lien étroit avec l'environnement. L'évaluation environnementale de type ACV permet de chiffrer les impacts potentiels des pratiques agricoles sur l'environnement. En France, la volonté de se tourner vers une agriculture durable se dessine. A travers l'étude du système de bovin viande biologique de la ferme expérimentale de Thorigné d'Anjou, il est démontré que ce système peut être à la fois performant en terme de production et d'environnement. Ces résultats satisfaisants sont en lien avec les diverses pratiques innovantes mises en place telles que les prairies à flore variée, la production de mélanges céréales-protéagineux, ou encore celle de féverole. Le système a donc su trouver un bon équilibre entre productivité et environnement. Dans d'autres systèmes, aussi bien biologiques que conventionnels, il est également possible de réduire les impacts environnementaux, en optimisant leur conduite, tout en restant cohérent avec les pratiques mises en œuvre. L'introduction de légumineuses dans les rotations pour réduire les intrants azotés, ou encore la mise en place de couverts végétaux pour limiter les pertes vers l'eau, en sont de bels exemples, appliqués sur la ferme de Thorigné d'Anjou.

Abstract:

In view of world population increase, the issue is to succeed to feed the planet while knowing that the resources become scarce. Farming is in narrow link with the environment. LCA environmental assessment allows calculating the potential impacts of agricultural practices on the environment. In France, the will to turn to a sustainable farming is taking shape. Through the study of organic beef system of the experimental farm of Thorigné d'Anjou, it is demonstrated that this system can be efficient for both production and environment. These good results are linked to the diverse innovative practices introduced such as multi-species grasslands, the production of cereal-legume mixtures, or even horse bean. The system has thus come up with a good balance between productivity and environment. In other systems, either organic or conventional, it is also possible to reduce the environmental impacts, by optimizing their management, while remaining coherent with the implemented practices. The introduction of legumes in crop rotations to reduce the nitrogen inputs, or even the implementation of plant cover to limit the losses towards water, are excellent examples, set up in the farm of Thorigné d'Anjou.