26è

RENCONTRES RECHERCHES RUMINANTS

Les 7 et 8 décembre 2022

Session
Environnement

INRAE

INSTITUT DE L'ELEVAGE idele

ELIANCE

Des éleveurs. Une ambition.

La fédération des entreprises de service et conseil en élevage

En R&D, Eliance c'est :

30 ingénieurs, techniciens et chercheurs

+ 2M d'€ de budget annuel

+ 50 publications scientifiques par an

De nombreux outils et partenariats : station de phénotypage de Nouzilly, UMT (Unité Mixte Technologique) eBis, LPA (Laboratoire Partenarial Associé) épigénétique, APIS-GENE, CIRBEEF...

L'expertise de notre réseau :

- Génétique
- Reproduction
- Nutrition
- Santé
- Bien-être animal
- Impacts environnementaux
- Qualité des produits
- Nouvelles technologies
- Efficience

RÉUSSIR
Nourrir votre performance

OPTIMISEZ LA GESTION QUOTIDIENNE
de votre **EXPLOITATION** grâce aux **REVUES RÉUSSIR**

11 N° PAR AN

11 N° PAR AN

Simplifiez-vous la vie
en vous abonnant directement sur :
boutique.reussir.fr

6 N° PAR AN

10 N° PAR AN

WWW.REUSSIR.FR

LE 1ER SITE PORTAIL
D'INFORMATIONS AGRICOLES ET ALIMENTAIRES

POUR PLUS D'INFORMATIONS : RÉUSSIR Abonnement
1, rue Léopold Sédar Senghor - CS 20022 - 14902 CAEN CEDEX 9
Tél. 02 31 35 87 28 - service.abonnement@reussir.fr

AVEC LES TITRES DU GROUPE **RÉUSSIR**,
PORTEZ UN REGARD NEUF SUR VOTRE MÉTIER

afrique agriculture SUR LE WEB

Toute l'actualité agricole de l'Afrique en ligne sur :

www.afrique-agriculture.org

Et pour nos abonnés, bénéficiez en plus :

- De votre magazine accessible en ligne
- Des contenus exclusifs réservés aux abonnés
- Des articles en illimité sur tous vos écrans

LE SITE DE RÉFÉRENCE DES DÉCIDEURS DE L'AGRICULTURE

UNE INFORMATION QUOTIDIENNE ADAPTÉE À VOTRE MÉTIER

Distribution • Environnement • Décryptages

DÉCOUVREZ L'INTÉGRALITÉ DU SITE ET TOUS SES AVANTAGES,
Newsletters thématiques, Podcasts, Mags en ligne exclusifs, Fiches RH & Management, l'accès à plus de + de 25 000 articles.

DÉCOUVREZ-LE MAINTENANT
WWW.REFERENCE-AGRO.FR

RÉFÉRENCE agro

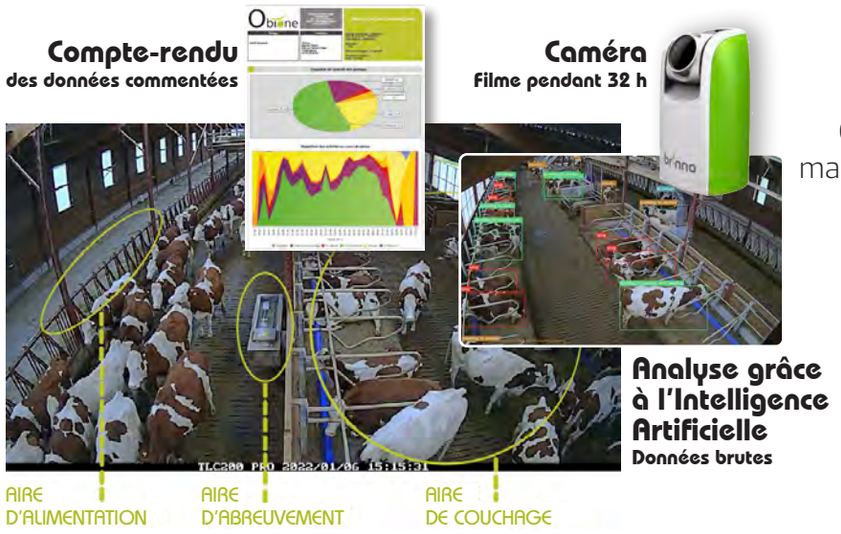
www.reference-agro.fr

Que font vos vaches quand vous n'êtes pas là ?

Pour savoir ce qu'il se passe vraiment dans l'élevage il faut le regarder en continu et analyser ce qui est observé. Nous vous proposons une solution pratique, automatisée et très riche en informations :

L'analyse par Intelligence Artificielle
et Application Spécifique du confort et de l'emploi du temps du troupeau.

Voir ce que vous ne voyez pas, compter ce que nous ne pouvons habituellement pas compter, mettre en évidence les leviers de productivité, s'assurer du confort des animaux, contrôler leur environnement, juste en installant 2 caméras (fournies) dans votre bâtiment.



C'est couchées que les vaches font le lait, mais il leur faut un accès à l'auge et à l'abreuvoir sans entrave, toute la journée.

➲ Alors observons et analysons !

Calcul des index de couchage, de confort, d'abreuvement...

dilepix & Obione

ont mis en commun leur expertise pour une solution d'analyse inédite et totalement personnalisée

www.dilepix.com **www.obione.fr**

LA REVUE DE L'alimentation animale

LE MENSUEL DES INDUSTRIES DE LA NUTRITION ANIMALE DEPUIS 1950

OFFRE DUO

*La carte de France des fabricants d'aliments (+ de 250 usines d'aliments) - valeur 20€

ABONNEMENT 1 AN
10 NUMÉROS

+

ANNUAIRE 2021/2022
DES FOURNISSEURS DE L'ALIMENTATION ANIMALE

BON DE COMMANDE

Oui, je m'abonne

❍ 1 an
10 numéros +
Annuaire des fournisseurs de l'alimentation animale 2021/2022
259 €TTC

❍ 2 ans
20 numéros +
Annuaire des fournisseurs de l'alimentation animale 2021/2022
341 €TTC

Société .....
Nom .....
Prénom .....
Adresse .....
..... Code postal .....
Ville ..... Pays .....
Tél. ..... Facebook .....
E-mail (obligatoire) .....

MON RÈGLEMENT

❍ Chèque bancaire ou postal à l'ordre des Éditions Fitamant

❍ Carte bancaire N° |_|_|_|_| |_|_|_|_| |_|_|_|_| |_|_|_|_|
Date de validité |_|_| |_|_|_|_| Cryptogramme |_|_|_| *(3 derniers chiffres au dos de votre carte)*

❍ Par virement
Banque : crédit agricole – Éditions Fitamant
IBAN : FR76 3004 7140 7000 0201 7410 106
BIC : AGRIFRPP829

❍ Je souhaite recevoir une facture acquittée

Date et signature (obligatoire)

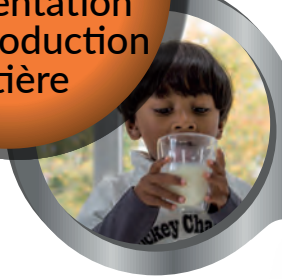
APAAA2021/2022

Conformément à la loi «Informatique et Libertés» du 6 janvier 1978, vous disposez d'un droit d'accès et de rectification aux données vous concernant.

Éditions Fitamant - 2 rue Félix Le Dantec - CS 62020 - 29018 Quimper cedex
Tél. 00 33 (0)2 98 98 01 40 - abo@fitamant.fr - www.revue-alimentation-animale.fr

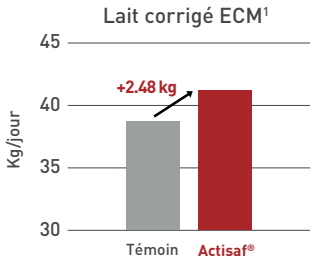
Les solutions Phileo pour une production laitière durable

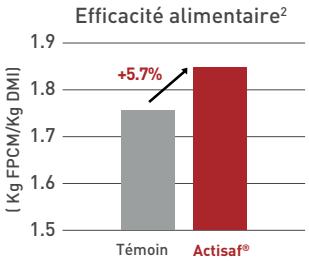
Population
Augmentation de la production laitière



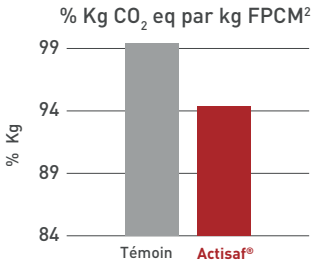
Profit
Amélioration de l'efficacité alimentaire

ActiSaf Sc 47





Planète
Réduction des émissions CO_2



La supplémentation en Actisaf® dans la ration des vaches laitières en lactation confrontées à des rations riches en énergie permet une augmentation de l'abondance relative des bactéries fibrolytiques et utilisatrices de lactate en réduisant le potentiel redox[(3)].

Au cours d'une méta-analyse incluant plus de 20 essais[(1)], il a été observé qu'une supplémentation de 5 g/v/j d'Actisaf® augmente la production laitière (1,74 kg/v/j) et le lait corrigé selon l'énergie (1,72 kg/v/j).

Phileo by Lesaffre

1 –Legendre, H. and Salah, N et al - Meta-analysis study of the effects of live yeast supplementation on milk production and energy corrected milk of lactating dairy cows – In submission

2 -Effect of Actisaf® supplementation on dairy cows carbon footprint, report of 3 trials in Europe - Blonk consultants 2022 -Please note this claim is based on an LCA that is not ISO 14040/14044 critically reviewed

3 -Marden et al., 2008. How does live yeast differ from sodium bicarbonate to stabilize ruminal pH. J Dairy Sci.:91: 3528-3535

DIGESCAN

Scannez ce code et découvrez notre nouveau service

- Outil de diagnostique de l'efficacité alimentaire en élevage, facile d'utilisation.
- Le service Digescan se compose d'un outil de tamisage de bouses et d'une application téléphonique d'enregistrement des données pour un suivi optimisé.

ABONNEZ-VOUS
ET RECEVEZ LES DERNIÈRES INFOS
“GRANDS TROUPEAUX / ÉLEVAGES CAPRINS”

JE M'ABONNE À :

GRANDS TROUPEAUX MAGAZINE et **HORS SÉRIE NUTRITION** (9+1 numéros/an) + **NEWSLETTERS**
☐ **1 AN : 90 €** TTC (75 € HT) ☐ **2 ANS : 156 €** TTC (130 € HT)

ÉLEVAGES CAPRINS MAGAZINE et **HORS SÉRIE NUTRITION** (4+1 numéros/an) + **NEWSLETTERS**
☐ **1 AN : 75 €** TTC (62,50 € HT) ☐ **2 ANS : 135 €** TTC (112,50 € HT)

GRANDS TROUPEAUX & **ÉLEVAGES CAPRINS** et **HORS SÉRIE NUTRITION** + **NEWSLETTERS**
☐ **1 AN : 150 €** TTC (125 € HT) ☐ **2 ANS : 276 €** TTC (230 € HT)

Nom : .....

Prénom : .....

Société : .....

Activité : .....

Adresse : .....

.....

Code postal : ..... Ville : .....

Tél : .....

Mail* : .....@.....

** adresse mail indispensable si vous désirez recevoir nos newsletter*

☐ Je paie par chèque à l'ordre de COMEDPRO ☐ Je souhaite recevoir une facture

BULLETIN D'ABONNEMENT À RETOURNER, ACCOMPAGNÉ DE VOTRE RÈGLEMENT À :

COMEDPRO – 35 avenue de la Grande Champagne – 72300 Parcé-sur-Sarthe – 06 40 36 29 93

www.grands-troupeaux-mag.fr / www.elevagescaprins.fr

Environnement

Test d'un protocole d'estimation du méthane entérique, avec le Laser Methane Detector, pour des vaches laitières au pâturage

GAUTIER L. (1), BORE R. (2), ROUILLE B. (3)
(1) Ecole Supérieure d'Agricultures, 55 Rue Rabelais, 49000 Angers, France
(2) Institut de l'Elevage, 42 rue Georges Morel, 49071 Beaucouzé Cedex, France
(3) Institut de l'Elevage, Monvoisin, 35652 Le Rheu Cedex, France

RESUME
Les émissions de méthane (CH_4) du secteur agricole représentent 7,6% des émissions totales de gaz à effet de serre (GES) de l'Union Européenne (UE). Parmi ces émissions, 90% sont dues aux fermentations entériques des ruminants. La réduction du méthane émis par ces élevages est donc un véritable enjeu. Afin d'estimer ces émissions, il est primordial de disposer d'outils permettant de quantifier le méthane émis. Pour cela, plusieurs outils existent tel le Laser Methane Detector (LMD). Cet appareil est récent et son utilisation au pâturage a été très peu étudiée. Cette étude a donc eu pour objectif de tester un protocole d'estimation du méthane émis par les vaches laitières au pâturage, avec le LMD. Dans un second temps, ce protocole a été testé dans un essai de l'Institut National de la Recherche Agronomique et de l'Environnement (INRAE) dans le cadre du projet ERA NET GrASTech. Cet essai étudiait trois traitements alimentaires (T0, T4 et T8) sur des vaches laitières au pâturage. Les vaches recevant T0, T4 et T8 avaient respectivement un apport complémentaire en ensilage de maïs et tourteau de soja (EMS) au pâturage de 0, 4 et 8 kg de MS (Matière Sèche) d'EMS/vache/jour. La définition des paramètres d'estimations au LMD s'est déroulée dans une phase de pré-essai. Un protocole de mesures contenant la durée de mesure ainsi que la distance et la position de l'opérateur par rapport à l'animal a été établi. La position, l'activité et le comportement de l'animal étaient renseignés pour chaque mesure. L'application de ce protocole pendant l'essai a permis de mettre en avant sa faisabilité pratique sur des vaches laitières au pâturage. Les émissions de méthane ont été étudiées avec les variables « moyenne des pics » (en ppm*m) et « nombre de pics » sur une séquence de 4 minutes. L'influence de plusieurs facteurs comme les conditions climatiques, l'heure de mesure, l'animal étudié et l'opérateur a pu être mise en évidence et la variabilité des émissions a pu être observée. En revanche, les mesures d'émissions de méthane, au LMD, n'ont pas permis de classer les vaches en fonction de leur apport complémentaire en EMS. A la suite de cette étude, il serait pertinent de reconduire ce protocole dans d'autres essais, et de comparer les données avec celles d'un autre outil de mesure du méthane. Cela pourrait ensuite donner lieu à l'extension de ce protocole dans des fermes commerciales.

Development of a protocol for measuring enteric methane, with the Laser Methane Detector, for dairy cows on pasture

GAUTIER L. (1)
(1) Ecole Supérieure d'Agricultures, 55 Rue Rabelais, 49000 Angers, France

SUMMARY
Methane emissions from the agricultural sector represent 7.6% of total greenhouse gas (GHG) emissions in the European Union (EU). Of these emissions, 90% are due to enteric fermentation in ruminants. Reducing the methane emitted by these farms is therefore a real issue. To estimate these emissions, it is essential to have tools to quantify the methane emitted. For this, several tools exist such as the Laser Methane Detector (LMD). This device is recent and its use in pasture has been little studied. The objective of this study was therefore to construct a protocol for measuring the methane emitted by dairy cows on pasture, with the LMD. Secondly, this protocol was tested in a trial by the National Institute for Agronomic Research and the Environment (INRAE). This trial studied 3 feed treatments (T0, T4 and T8) on grazing dairy cows. Cows receiving T0, T4 and T8 respectively obtained a complementary intake of corn silage and soybean meal (EMS) to the pasture of 0, 4 and 8 kg of DM (dry matter) of EMS / cow / day. The definition of measurement parameters at the LMD took place in a pre-test phase. Then, a measurement protocol containing the measurement time as well as the distance and position of the operator from the animal was established. The position, activity and behavior of the animal was recorded for each measurement. Application of this protocol during the trial demonstrated its reliability in pasture, on dairy cows. The methane emissions were translated by the variables "average of peaks" (in ppm * m) and "number of peaks". The influence of several factors such as climatic conditions, time of measurement, the animal studied and the operator could be observed. On the other hand, measurements of methane emissions at LMD did not make it possible to characterize the cows according to their complementary intake of EMS. As a result of this study, it would be relevant to test this protocol in other trials and to compare the data with those of another methane measurement tool. This could then lead to the use of this protocol on commercial farms.

INTRODUCTION

En 2018, au sein de l'UE, 7,6% des émissions totales de GES correspondaient aux émissions de CH_4 du secteur agricole. 90% de ce méthane émis provenaient des fermentations entériques des ruminants, et en particulier de celles des bovins (CITEPA, 2020). Ce gaz est un GES puissant et un précurseur de l'ozone. Ainsi, pour limiter les problèmes environnementaux actuels, les élevages bovins ont comme enjeu de réduire leurs émissions de CH_4. Plusieurs solutions, telles que l'alimentation ou la génétique, existent déjà (Knapp et al., 2014). Cependant, pour mesurer l'effet de ces dernières, le méthane émis doit pouvoir être quantifié. Pour cela, le LMD s'avère être un outil fiable, facile d'utilisation

(outil portable de 20cm de long) et qui ne perturbe par l'animal. Cet appareil mesure une concentration de méthane dans l'air (en ppm*m), par spectroscopie d'absorption, entre le LMD et le point cible du laser. A l'heure actuelle, plusieurs protocoles de mesures au LMD existent pour des vaches en bâtiment (Chagunda et al., 2013 ; Sorg et al., 2018). Des études ont également mis en évidence l'influence de certains facteurs sur les mesures faites avec cet outil. Ceux-ci peuvent être les conditions climatiques, l'heure de mesure mais aussi le comportement de la vache mesurée (Chagunda et al., 2013, Ricci et al., 2014). Cependant, à l'heure actuelle, peu d'études ont été menées au pâturage. En effet, dans ces conditions, le LMD a uniquement été testé sur des vaches qui se reposaient (Mapfumo et al., 2018), ruminaient (Grobler et al., 2014), ou bien sur des chèvres (Roessler et al., 2021). Ainsi, le nombre de mesures récoltées et les paramètres expérimentaux étudiés, avec un LMD, au pâturage, sont très faibles et nécessitent d'être approfondis (Grobler et al., 2014). Cette étude vise donc à définir un protocole de mesures précis avec le LMD, sur des vaches laitières au pâturage. Celui-ci permettra d'estimer le méthane émis à différents moments de la journée et sur des vaches dans différentes activités et positions. Sa capacité à classer ces vaches, en fonction de leur ration, sera également étudiée lors de son application dans un essai de l'INRAE.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. PRE-ESSAI

La phase de pré-essai s'est déroulée sur 36 jours dans l'Installation Expérimentale de Production Laitière (IEPL) de Méjusseaume (35). Les mesures ont été réalisées sur les vaches laitières qui participaient ensuite à l'essai. Cette phase a permis de prendre en main le LMD et l'équipement de mesure (télémètre laser, chronomètre, smartphone, fiche d'observation). Elle a également permis de tester différents paramètres de mesures afin de choisir les plus adaptés à l'essai. Ces paramètres étaient : la distance, la position et l'orientation de l'homme par rapport à l'animal, la durée de mesure, le type d'activité et la position de la vache pendant la mesure. Sur cette période, l'opérateur allait au moins 3 fois par semaine sur la ferme, avec des habits similaires, afin d'habituer les animaux à sa présence.

1.2. ESSAI

1.2.1. Animaux, traitements alimentaires et schéma expérimental

L'essai s'est déroulé sur deux mois, du 16 avril au 18 mai 2021. Il comptait 24 vaches laitières de race Prim'Holstein, multipares et en milieu de lactation au début de l'essai. Trois niveaux d'apport en EMS ont été testés avait une proportion de 87% de maïs et de 13% de tourteau de soja. 0 kg de MS d'EMS/vache/jour étaient donnés aux vaches recevant le traitement T0 (témoin) et respectivement 4 et 8kg de MS d'EMS/vache/jour aux traitements T4 et T8. Les rations des lots T4 et T8 étaient distribuées une fois par jour, par un automate de distribution, en complément du pâturage. Les vaches de ces lots avaient accès 2 fois par jour à l'EMS, pendant 1h, après les deux traites du matin et du soir. Le reste du temps, elles étaient au pâturage, dans un nouveau paddock chaque jour, pour chaque traitement. Cet essai était un carré latin 3*3, répété 8 fois, avec 4 carrés qui tournaient dans un sens et 4 dans le sens opposé. Il y a eu 3 périodes de 21 jours (P1, P2, P3) dans cet essai et chaque vache a reçu tous les traitements alimentaires.

1.2.2. Application du protocole de mesure du LMD

Pendant l'essai, 24 jours de mesures ont été réalisés avec le protocole du LMD. Pour chacune des trois périodes, 4 jours de mesures étaient réalisés par l'opérateur principal et 4 jours par l'opérateur principal et secondaire. Les mesures se déroulées de 9h à 16h, sur la période de pâturage diurne des vaches. Chaque vache était mesurée 2 fois par jour et par opérateur (une fois le matin et une fois l'après-midi). L'ordre des mesures a été défini aléatoirement tous les matins, pour chaque opérateur. Cet ordre était conservé l'après-midi pour avoir un laps de temps similaire entre les deux mesures de chaque vache. Les mesures de méthane ont pu être réalisées grâce au protocole de mesure du LMD, défini dans la phase de pré-essai. Ce protocole contient plusieurs critères de mesure. Tout d'abord, l'opérateur se plaçait à une distance de 2m et à un angle de 90° par rapport à l'axe de la tête de l'animale en visant les naseaux. En effet, c'est au niveau du naseau que le méthane est mesuré, grâce à la visualisation du laser vert du LMD. Ce naseau devait être du côté opposé au soleil, si possible, afin que le point vert du laser soit plus visible. La distance de 2m était contrôlée grâce au télémètre laser, fixé sur le LMD. Cette distance permettait une mesure précise, sans perturber l'animal. L'enregistrement de chaque mesure était de 4'10'' pour assurer une durée de 4min par mesure. Cette durée permettait de récolter un nombre maximal de données, et de faire toutes les mesures prévues, par jour, dans l'essai. La position de l'animal (debout ou couchée) ainsi que son activité (pâture, rumine, rien) étaient renseignées sur une fiche d'observation à l'issue de chaque mesure. Lorsqu'un évènement particulier (la vache se lèche, avance, boit, change de position, interagit avec une autre vache, …) survenait pendant la mesure, l'opérateur devait noter cette information sur la fiche d'observation, ainsi que le laps de temps associé. L'opérateur devait également réagir au mieux lors de ces évènements, afin de respecter le protocole de mesure et de ne pas effrayer l'animal. Toutes les données mesurées avec le LMD étaient enregistrées simultanément sur un smartphone. Chaque mesure contenait une mesure de méthane (en ppm*m) par ½ seconde. Ces données, et celles renseignées sur la fiche d'observation, ont été intégrées dans une base de données. Des mesures faites par l'INRAE ont également été ajoutées à cette base. Celles-ci sont les conditions météorologiques par heure, pour chaque jour de mesures et la production laitière (en kg de lait/vache/jour). Les données sur les émissions de méthane ont été étudiées grâce aux variables « moyenne des pics » et « nombre de pics ». Un pic correspond à une concentration de méthane mesurée sur 1/2s (en ppm*m) qui est supérieure à celle de la 1/2s précédente et à celle de la suivante (Sorg et al., 2018). Une analyse descriptive a été faite sur l'ensemble des données. Une ANOVA (Analysis of variance) a été faite uniquement sur les données de l'opérateur 1. Le modèle a comme variable à expliquer la moyenne des pics. Ses variables explicatives sont le traitement alimentaire (effet fixe), la période (effet fixe) et l'animal (effet aléatoire).

2. RESULTATS

2.1. UN PROTOCOLE AU PATURAGE DEFINI PENDANT LE PRE-ESSAI

Le pré-essai a permis de réaliser 344 mesures, étalées sur 15 jours. Différentes durées, distances et positions entre l'homme et l'animal ont pu être testées. Le pré-essai a mis en évidence la possibilité d'estimer le méthane émis par des vaches dans différentes positions et activités. Tous ces éléments ont permis de construire un protocole précis de mesures au pâturage avec le LMD. Ce protocole correspond à celui détaillé dans le matériel et méthodes de l'essai. Cette phase de pré-essai a également permis d'établir une relation de confiance réciproque entre l'animal et l'opérateur. Au début les vaches étaient craintives, ou intriguées, ce qui compliquait les mesures. Puis, les vaches ont fini par ignorer à la présence de l'opérateur. Ainsi, les mesures au LMD pouvaient être réalisées sur vaches dans leur comportement naturel. Dans ce pré-essai, l'opérateur a également défini les réactions à adopter pendant la mesure, selon les comportements de l'animal. Par exemple, si une vache

interagissait avec la vache mesurée, il devait la repousser docilement. En effet, cette vache pouvait biaiser la concentration du méthane émis par la vache et mesuré au LMD. Pour d'autres évènements tels qu'un déplacement de la vache, l'opérateur devait la suivre au mieux, puis renseigner le laps de temps associé sur la fiche d'observations. Pour chaque situation, l'opérateur devait un compromis entre des mesures qui respectent le protocole défini, et qui n'apeurent pas l'animal. L'objectif étant *in fine* d'avoir des mesures fidèles à la réalité du méthane émis par les vaches.

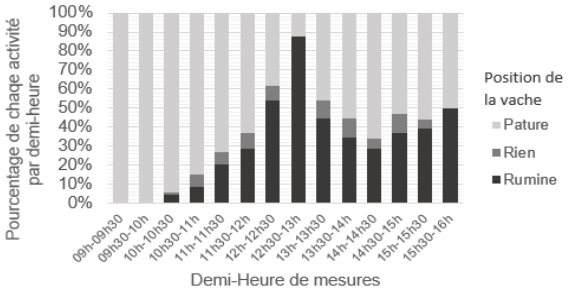
2.2. DES MESURES REALISEES DANS DIVERSES CONDITIONS

L'application du protocole de mesures à l'essai a permis de réaliser 1650 mesures. 81% de ces mesures ont été réalisées sur des vaches debout, 17% sur des vaches couchées et 2% ont changé de position pendant la mesure. 66% des mesures ont été faites sur des vaches qui pâturaient, 22% sur des vaches qui ruminaient et 6% sur des vaches qui avaient une autre activité (activités mixtes ou d'abreuvement).

La position debout représentait 99% des mesures au pâturage, 36% de celles en rumination et 52% de celles qui ne faisaient rien. Au cours d'une journée de mesure, la proportion de chaque activité, par demi-heure de mesures, était très variable (Figure 1).

Figure1 : Répartition des activités principales des vaches, par demi-heure de mesures, au cours d'une journée

Les mesures se sont étalées de mi-avril à mi-juin 2021 et les conditions météorologiques ont été très variables sur les 3 périodes (Figure 2). L'humidité moyenne était plus importante

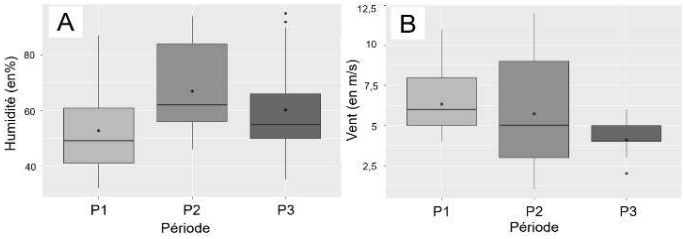


en P2 qu'en P1 (Figure 2-A). Le vent moyen était maximal en P1 et minimal en P3. En P2, le vent moyen était intermédiaire aux deux autres périodes mais il était bien plus variable (Figure 2-B). Les variations de climat, visibles ici par période, l'étaient également sur une même journée, pendant tout l'essai.

Figure 2 Boxplots de l'humidité (A) et du vent (B) par période

2.3. DES EMISSIONS DE METHANE QUI VARIENT SELON PLUSIEURS FACTEURS

Sur la totalité des mesures faite au LMD, la moyenne des pics par mesure était de 97ppm*m et l'écart-type de 60ppm*m. Le nombre de pics moyen par mesure était de 138 pics et l'écart-



type de 10 pics. Les résultats obtenus sur les émissions de méthane des vaches laitières, en fonction de leur apport complémentaire en EMS, au pâturage, sont illustrés dans le Tableau 1. Les moyennes des pics diffèrent pour les trois périodes. La moyenne maximale est atteinte en P3 et la minimale en P2. Les différences de moyennes de pics entre les traitements varient selon les périodes. Pour les vaches recevant T0, les émissions de méthane sont minimales en P1 et P3 et elles sont maximales en P2. En P1 et P2, les vaches recevant T4 ont des émissions inférieures à celles recevant T8. En P3, ces émissions sont égales. En P3, les écart-types sont plus importants pour les trois traitements. En P2, les moyennes de pics, pour les trois traitements, sont très proches. La réalisation de l'ANOVA a mis en évidence un effet période très significatif avec une p-value<0,001 (Tableau 1). Le modèle de cette analyse est un modèle de cross over. Ainsi, l'analyse statistique du traitement alimentaire n'a pu être faite que sur la première période de mesures. A l'issu de ce test, le résultat montre un effet non significatif (p-value =0,443) du traitement alimentaire sur les émissions de méthane mesurées par le LMD.

Période	P1			P2			P3		
Traitement alimentaire	T0	T4	T8	T0	T4	T8	T0	T4	T8
Moyenne	89	98	99	77	75	77	102	107	107
Ecart-type	45	56	57	42	42	38	64	65	67
Résultats statistique de l'ANOVA									
Effet Période						p-value<0,001			
Effet Traitement alimentaire en P1						p-value = 0,443			

Tableau 1 Moyenne des pics (en ppm*m) par période et par traitement alimentaire, pour l'opérateur principal.

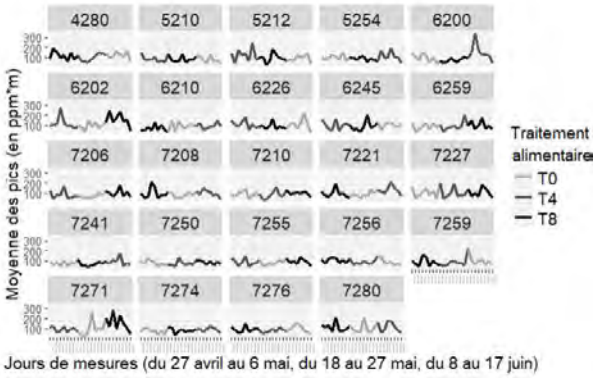


Figure 3 Evolution des moyennes de pics (en ppm*m) par animal en fonction des jours et du traitement alimentaire.

En plus des différences d'émissions observées par période, tous traitements confondus, les résultats ont mis en évidence des différences d'émissions entre les jours de mesures. D'autre part, des évolutions extrêmement hétérogènes entre les animaux ont également pu être observées (Figure 3). Des vaches ont par exemple des émissions moyennes importantes (6202, 7227) et d'autres très faibles (7276, 7241). Ces différences sont également visibles pour des animaux recevant un même traitement alimentaire en même temps (5210, 5212).

Enfin, les émissions étaient également différentes en fonction de la position et de l'activité de la vache (Tableau 2).

		Moyenne des pics		Nombre de pics	
Position	Activité	Moyenne	Ecart-Type	Moyenne	Ecart-Type
Debout	Rumine	100	45	141	13
	Rien	105	39	140	15
	Pâture	100	66	138	9
Couchée	Rumine	85	43	139	12
	Rien	80	44	136	14
	Pâture	58	12	137	4
Demi-Journée	Matin	104	70	137	10
	Après-midi	91	48	140	10

Tableau 2 Moyenne de pics (en ppm*m) et nombre de pics (en pics) par position et activité et par demi-journée

Sur l'ensemble des mesures, les vaches ont une moyenne et un nombre de pics supérieurs quand elles sont debout (significatif). Dans cette position, elles émettent autant de méthane qu'elles pâturent ou ruminent. En revanche, en position couchée, elles émettent plus de méthane quand elles ruminent (non significatif).

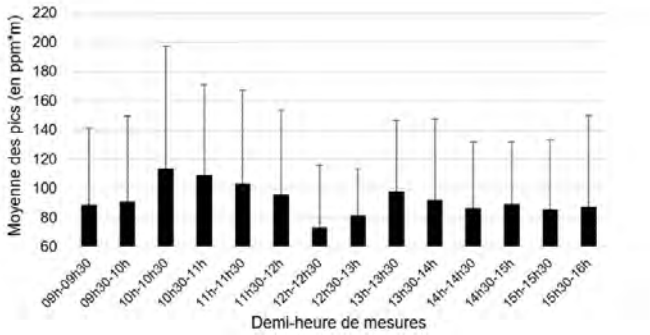


Figure 4 Evolution de la moyenne des pics (en ppm*m) sur une journée

Les émissions étaient également différentes selon le moment de la journée. Les vaches émettaient plus de méthane le matin que l'après-midi. En revanche, le nombre de pics était plus élevé l'après-midi (Tableau 2). Lorsque les émissions étaient observées à l'échelle de la demi-heure de mesures, pour toutes les vaches, un maximum d'émission apparaissait entre 10 et 11h (Figure 4). Finalement, les vaches n'ont pas pu être classées par leur apport complémentaire d'EMS grâce au méthane mesuré par le LMD. En revanche, les résultats obtenus par l'INRAE sur la production laitière des vaches ont montré un effet significatif de ce traitement. Sur chaque période, la production laitière était supérieure pour les vaches recevant un apport complémentaire d'EMS au pâturage.

3. DISCUSSION

3.1. UN PROTOCOLE FIABLE AU PATURAGE ET ADAPTE A L'ESSAI

Le pré-essai a permis de construire et de valider un protocole de mesures, avec le LMD, sur des vaches laitières au pâturage pour prédire le méthane émis. Grâce à la présence régulière de l'opérateur pendant cette période, les vaches se sont habituées et l'ont ignoré. Ainsi, leur comportement au pâturage était habituel, comme le souhaitait plusieurs auteurs (Ricci et al., 2014). Ce protocole a ensuite pu être appliqué à l'essai et respecté sur toute sa durée. Ainsi, une large base de données de 110h d'enregistrements répartis en 70 mesures/vache (position et activité associées) a pu être construite. Ce protocole a donc permis de contribuer au besoin d'élargir le nombre de mesures, faites avec un LMD, au pâturage (Grobler et al., 2014). La moyenne des pics obtenue (97 ppm*m) était légèrement inférieure à celle obtenue par Sorg et al. en 2018 (129 ppm*m) et l'écart-type (60 ppm*m) était supérieur à celui de Sorg et al. (54ppm*m). Cependant, dans cette étude, les mesures avaient été faites dans un bâtiment. Or, la concentration de méthane mesurée dans l'air par le LMD peut être diluée par le vent (Chagunda et al., 2013) et cet élément n'est normalement pas présent en bâtiment. Ceci pourrait donc expliquer une moyenne de pics inférieure au pâturage. Ces auteurs avaient également montré que la concentration de CH_4 mesurée sur des vaches qui se déplacent était plus faible que sur des vaches inactives. Or, au pâturage, les vaches se déplaçaient fréquemment. Enfin, ces auteurs avaient observé, à l'instar de cette étude, des émissions de CH_4 plus faibles pour des vaches qui ruminent debout plutôt que couchées. Pour la variable « nombre de pics », la moyenne était de 138 pics par mesure de 4min, soit 35 pics/min. Ceci correspond au taux respiratoire des bovins (Thompson et al., 2011).

En considérant les activités et positions des animaux, le protocole a également permis d'observer la dynamique journalière des animaux. En effet, les vaches pâturaient toutes debout en arrivant dans la parcelle. Puis, entre 10h et 13h la proportion de vache en rumination augmentait. L'après-midi, le comportement du troupeau était plus hétérogène et les émissions de méthane plus faibles. Le matin, les émissions de méthane étaient supérieures à celles de l'après-midi, avec un pic atteint entre 10h et 11h. En 2014, Ricci *et al*. avaient mis en avant que ce pic d'émissions survenait juste après le repas. Enfin, de fortes différences d'émissions ont pu être observées à l'échelle des individus. Ceci pourrait être lié à l'heure de mesure, ou bien au comportement de l'animal qui pouvait faciliter ou non la réalisation de la mesure. D'autre part, l'explication pourrait être génétique (Denninger et al., 2020). Au regard des résultats et de ces différentes études, la fiabilité des mesures réalisées avec le LMD, sur des vaches laitières au pâturage, a donc pu être validée.

3.2. DES EMISSIONS DE METHANE SIMILAIRES ENTRE LES DIFFERENTS NIVEAUX D'APPORT EN EMS

Les mesures faites au LMD n'ont pas permis de différencier les vaches selon leur traitement alimentaire. Les moyennes de pics étaient néanmoins supérieures pour T4 et T8, en P1 et P3. Ceci pourrait s'expliquer par la quantité réelle ingérée en EMS (qui était parfois inférieure à la quantité offerte), et par la qualité de l'ensilage de maïs (Knapp et al., 2014). L'ingestion réelle d'herbe ainsi que sa qualité pourrait également être une explication. Toutes ces données sont analysées par l'INRAE et il serait donc intéressant de les croiser avec les mesures du LMD. A l'inverse de l'effet du traitement alimentaire, l'effet période s'est montré très significatif sur les mesures de méthane. En croisant ces données avec les conditions climatiques des corrélations ont pu être établies. Par exemple, en P2 les émissions de méthane étaient minimales et le vent était intense et très variable. En P3, les émissions étaient maximales et le vent minimal. Ceci confirme donc l'impact du vent et de l'humidité sur les mesures faites au LMD par Chagunda et al. (2013). La météo pourrait également expliquer les variations journalières observées pour toutes les vaches. Des différences aveint aussi été observées entre les mesures de l'opérateur principal et secondaire. Ainsi, dans le cadre de l'exploitation des mesures faites avec un LMD, il sera pertinent de prendre en compte tous ces facteurs.

CONCLUSION

Ces premiers résultats ont donc permis la construction d'un protocole de mesure, avec le LMD, sur des vaches laitières au pâturage. Son application est fiable et pratique mais sa fiabilité devra être précisée par des mesures de répétabilité. Le protocole n'a pas permis de différencier les vaches en fonction de leur apport complémentaire en EMS. Cependant, il a été montré que de nombreux facteurs pouvaient influencer les émissions de méthane enregistrées à l'aide du LMD. Ces derniers devront être pris en compte pour de nouvelles mesures au LMD.

Je remercie les partenaires du projet GrASTech ainsi que le programme européen, ERA-NET SUSAN, qui le finance. Je remercie Benoît Rouillé pour son encadrement sur cette étude, l'Institut de l'Elevage et l'INRAE pour leur accueil.

CITEPA, 2020. Rapport national d'inventaire
Chagunda M.G.G., et al., 2013. Ani. Sci., 63, 68-75
Denninger T.M., Jou. of dai. Sci. 103, 2024-2039
Grobler S.M.,et al.,2014. Sou. Afr. Jou. Ani. Sci., 44, 12-16.
Knapp J.R., et al., 2014. Jou. of Dai. Sci., 97, 3231-3261
Mapfumo M.F., et al., 2018. Pastoralism, 8, 1-8.
Ricci P., et al., 2014. Jou. of Dai. Sci.,92, 5239 5250
Roessler R., Schlecht E., 2021. Animal, 15, 100070
Sorg D., et al., 2018. Com. and Elec. in Agr., 153, 285-294
Thompson V.A.,et al., 2011. Jou. Ani. Sci, 89,3973-3982.

Premiers résultats d'une approche environnementale globale et intégrée de l'exploitation laitière de Trévarez

FORAY S. (1), BROCARD V. (2), TRANVOIZ E. (3), TROU G. (3), LE CŒUR P. (3)
(1) Institut de l'Elevage, BP 85225, 35652 Le Rheu Cedex
(2) Chambre d'agriculture de Bretagne, CS 74223, 35042 Rennes Cedex

RESUME

La ferme expérimentale laitière de Trévarez (Bretagne) met en place depuis 2018 une stratégie intégrant un ensemble de leviers et de pratiques pour répondre aux enjeux environnementaux auxquels font face les systèmes de production agricoles. Cette stratégie repose notamment sur la réduction du taux de renouvellement et de l'âge au vêlage des génisses, la baisse des intrants alimentaires et l'utilisation de tourteaux de colza à la place du soja pour l'alimentation des vaches laitières, la valorisation des déjections produites sur l'exploitation pour limiter l'utilisation d'engrais minéraux. Pour étudier les effets de ces facteurs sur les performances environnementales de l'exploitation, les émissions de Gaz à Effet de Serre (GES) (méthane CH_4, protoxyde d'azote N_2O ou dioxyde de carbone CO_2), mais aussi les pertes azotées, ont été déterminées avec l'outil CAP'2ER développé par l'Institut de l'Elevage. L'approche réalisée ne s'arrête toutefois pas aux indicateurs couramment utilisés tels que l'empreinte carbone du lait mais s'intéresse aussi et particulièrement à la globalité du système d'élevage. Cette stratégie globale conduite a permis de réduire les émissions de GES de 14% par litre de lait (0,83 vs 0,97 kg eqCO_2 l^{-1}). A l'échelle de l'exploitation, cette réduction est de 13% par ha de SAU (7 788 vs 8 904 kg eqCO_2 ha^{-1}). En 2021, 85% des émissions de GES de l'exploitation sont liés à son fonctionnement biologique (CH_4 entérique, N_2O liée à la gestion des déjections). Le carbone stocké dans les sols et dans les haies (partie racinaire et partie aérienne) permet de compenser intégralement les émissions liées aux intrants. L'efficience de l'azote (NUE) est également passée de 38% à 43 % et l'excédent du bilan réduit de 12 kgN par ha de SAU (83 à 71 kgN ha^{-1}) limitant les pertes azotées vers l'eau et l'air. L'utilisation d'indicateurs bien connus (bilan apparent ou efficience de l'azote) et d'autres dédiés aux émissions de GES dont les modalités d'expression diffèrent de la seule production laitière (empreinte carbone du lait) et qui s'intéressent à la globalité de l'exploitation (émissions de GES par ha de SAU, émissions liées au fonctionnement biologique de l'exploitation) et non uniquement à l'atelier laitier révèle tout l'intérêt de l'approche intégrée des leviers d'action pour s'assurer de répondre correctement aux enjeux environnementaux.

First results of a global and integrated environmental approach of Trevarez dairy farm

FORAY S. (1), BROCARD V. (2), TRANVOIZ E. (3), TROU G. (3), LE CŒUR P. (3)
(1) Institut de l'Elevage, BP 85225, 35652 Le Rheu Cedex

SUMMARY

Since 2018, the Trevarez experimental dairy farm (Brittany) has been implementing a strategy integrating a set of measures to meet the environmental challenges facing agricultural production systems. This strategy is based on reducing the replacement rate and the calving age of heifers, reducing feed inputs, and using rapeseed cake instead of soybeans for dairy cows, recovering the value of manure produced on the farm to limit the use of mineral fertilizers. To study the effect of these factors on the environmental performance of the farm, GHG emissions (CH_4, N_2O or CO_2), as well as nitrogen losses, were determined using the CAP'2ER tool developed by the Institut de l'Elevage. However, the approach is not limited to commonly used indicators such as the carbon footprint of milk and focuses on the overall farming system. The overall strategy has reduced GHG emissions by 14% per litre of milk (0.83 vs 0.97 kg eqCO2 l^{-1}). At the farm level, this reduction is 13% per hectare of UAA (7,788 vs. 8,904 kg eqCO_2 ha^{-1}). In 2021, 85% of the farm's GHG emissions are linked to its biological functioning ($CH_{4\ enteric}$, N_2O linked to manure management). The carbon stored in the soil and in the hedgerows (root and aerial parts) will fully compensate for the emissions linked to inputs (concentrates, fuel, fertilizer). Nitrogen efficiency (NUE) also increased from 38% to 43% and the nitrogen surplus reduced by 12 kgN ha^{-1} UAA (83 to 71 kgN ha^{-1}) limiting nitrogen losses to water and air. The use of well-known indicators (nitrogen balance or NUE), together with indicators dedicated to GHG emissions, which are expressed differently from the level of milk production (carbon footprint of milk) and which are concerned with the whole farm and not just the dairy unit (GHG emissions per ha of UAA, emissions linked to the biological functioning of the farm), reveals the interest of an integrative view of the measures in order to ensure that the environmental issues are correctly tackled.

INTRODUCTION

La prise en compte des préoccupations environnementales en élevage herbivore est un enjeu majeur. L'élevage doit concilier à la fois des objectifs de production compatibles avec la notion de produits de qualité tout en respectant l'environnement. Des efforts importants ont été entrepris par la filière herbivore ces dernières années pour réduire l'impact de l'activité d'élevage sur la qualité de l'eau (Foray & al. 2019).

Aujourd'hui, le changement climatique nécessite plus que tout d'élargir l'analyse environnementale à d'autres aspects, notamment aux émissions de Gaz à Effet de Serre (GES) afin de trouver les solutions pour les réduire tout en maintenant une activité agricole viable. Ainsi, la filière laitière française a déployé la démarche « Ferme Laitière Bas Carbone » (www.ferme-laitiere-bas-carbone.fr/) dont l'objectif consiste à réduire l'empreinte carbone du lait de 20%. Pour encourager les éleveurs à l'intégrer, la ferme expérimentale de Trévarez (Chambre d'agriculture de Bretagne) a mis en place depuis 2018 une expérimentation système à orientation « Bas

Carbone » sur son élevage laitier conventionnel. L'analyse du déploiement de la combinaison de plusieurs leviers et pratiques vertueuses permet de préciser les connaissances sur leur interopérabilité, leur coût de fonctionnement, leur difficulté/facilité de mise en place et leurs impacts environnementaux (positifs ou négatifs). En effet, si de nombreux leviers ont été identifiés comme ayant un intérêt ponctuel pour la réduction des émissions de GES (Pellerin et al. 2013, Dolle et al. 2017) ou pour les compenser par le stockage de carbone sous les prairies (Arrouays et al., 2002 ; Soussana, 2010), ils sont souvent analysés à l'échelle du maillon considéré sur l'élevage (troupeau ou stockage des déjections par exemple), sans prendre en compte leur incidence sur la gestion globale de l'exploitation (Faverdin et Van Milgen, 2019). Les travaux conduits sur la ferme expérimentale de Trévarez viennent ainsi compléter les travaux liées à l'approche intégrée de la mise en place combinée de pratiques visant à réduire les émissions de GES et plus globalement les impacts environnementaux des élevages laitiers (Foray et al. 2020).

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. La ferme expérimentale de Trévarez et le système étudié

La ferme de Trévarez est située dans le centre-est du Finistère, à 30 km au Nord-Est de Quimper. Elle bénéficie d'un climat océanique, même si la zone peut être qualifiée de froide et humide, avec une pluviométrie moyenne de 1 250 mm par an. Si Trévarez dispose de deux élevages laitiers, dont un en agriculture biologique, c'est l'élevage conduit en agriculture conventionnelle qui est concerné par l'expérimentation système présentée ici. Ce système appelé « Bas Carbone » a été lancé en 2018. Il mobilise entre 125 et 130 vaches laitières de race Prim'Holstein et environ 45 génisses de renouvellement par génération. Les vaches en lactation sont logées dans une stabulation à logettes non paillées, avec matelas. Les génisses et les vaches taries sont logées dans une étable avec aire de couchage paillée et une aire d'exercice raclée en fumier. Le système dispose d'une surface agricole de 130 ha. La surface pâturable est volontairement bloquée à 25 ares par vache laitière, sur un potentiel d'un peu plus de 40 ares accessibles par vache, afin de correspondre à la moyenne des exploitations bretonnes. Les systèmes de cultures sont fonction de la localisation des parcelles et de la dichotomie entre surfaces accessibles et surfaces non accessibles au pâturage par les vaches laitières. Sur les 51 ha accessibles, une rotation majoritaire Maïs – Maïs - Céréales-RGI/colza dérobé/prairies permet de faire bénéficier au maïs l'effet retournement de la prairie. Une rotation courte colza/RGI sur les surfaces proches des bâtiments entre 2 prairies a comme finalité de maintenir cette surface accessible au pâturage. Sur les surfaces non accessibles, les rotations alternent entre les surfaces en herbe et les surfaces en cultures annuelles. L'organisation des rotations sur ces surfaces non accessibles a comme objectif de favoriser les rendements fourragers selon les besoins en herbe et en appliquant comme règles de décision 1) de satisfaire les besoins de surfaces dédiées au pâturage des génisses et 2) de garantir les besoins de surfaces orientées vers la fauche pour les vaches laitières.

1.2. Les objectifs et la construction du système Bas Carbone

L'objectif du système lors de sa conception était de produire 8 000 kg de lait par vache et par an, de réduire d'au moins 20% l'empreinte carbone du lait à l'horizon 2025 par rapport à la situation d'origine, de limiter les fuites d'azote et de garantir efficacités économique et sociale. Les mesures ou pratiques mises en place sur l'élevage pour atteindre ces objectifs sont issues d'une étude bibliographique et de simulations réalisées au démarrage de l'essai système. Cinq leviers de deux ou trois modalités, applicables au contexte de Trévarez ont été testés par modélisation avec l'outil d'analyse environnementale CAP'2ER décrit ci-après. Les 48 simulations réalisées à partir des données zootechniques réelles de la ferme de Trévarez issues de précédents travaux (Brocard et al., 2020) ont permis de définir les pratiques les plus pertinentes à mettre en place en termes de réduction des émissions de GES et de pertes azotées. Le choix s'est porté sur (a) la réduction de l'âge au premier vêlage en visant un vêlage des génisses à 24 mois - vs 27 mois - , sur (b) deux périodes de vêlage (65% des vêlage à l'automne et 35% au printemps) – vs 100% à l'automne ou 100 % au printemps, sur (c) l'utilisation de tourteau de colza plutôt que de soja, sur (d) la non utilisation de concentrés de production (céréales) – vs utilisation de céréales en complément, sur (e) une récolte précoce d'herbe ensilée pour favoriser la qualité plutôt que la quantité. Par la suite, la conduite a été adaptée au fur et à mesure des résultats obtenus par recherche permanente d'optimisation.

1.3. Données techniques enregistrées

Les données suivantes ont été enregistrées sur les 4 années étudiées : les effectifs de toutes les catégories animales, la valeur alimentaire des fourrages, l'alimentation distribuée et les refus à l'auge (vaches traites, taries, à l'engrais et génisses), le concentré VL individuel, le planning de pâturage des vaches et des génisses pour évaluer les quantités d'herbe consommée (méthode HerbValo, Delagarde et al., 2017), la production laitière par traite, les taux du lait et les cellules (1 contrôle par semaine), les données de reproduction et de santé, les pesées et notes d'état corporel mensuelles. Pour le volet végétal, ont été enregistrés le suivi des rotations, les itinéraires techniques des cultures, la gestion de la fertilisation minérale et organique, les rendements des cultures.

1.4. L'évaluation environnementale

L'évaluation environnementale du système Bas Carbone a été réalisée à l'échelle de l'exploitation de 2018 à 2021 avec l'outil CAP'2ER (v6.4.0) développé par l'Institut de l'Elevage (https://cap2er.fr/Cap2er/). Elle s'intéresse à l'ensemble des impacts environnementaux (émissions de GES, bilan apparent de l'azote, lessivage des nitrates, émissions d'ammoniac, …) afin d'analyser le risque de transfert de pollution entre les différents compartiments (eau, air, sol).

Les émissions de GES sont évaluées sur plusieurs postes : la fermentation entérique, la gestion des déjections (bâtiment, stockage, épandage, pâturage), les consommations d'énergie directe (fioul) et indirecte (émissions de CO_2 générées lors de la fabrication et le transport des intrants) mais aussi les émissions liées à l'application des engrais minéraux. Ces émissions de GES sont converties en équivalent CO_2 et ramenées à la production laitière standard en protéines et matières grasses (kg eqCO_2 l^{-1} lait) sur la base de l'allocation biophysique lait/viande préconisée par la Fédération Internationale Laitière. L'empreinte carbone nette du lait, qui prend en compte une estimation du stockage de carbone associé aux surfaces en prairies, est également proposée.

L'approche réalisée ne s'arrête toutefois pas à ces indicateurs couramment utilisés. En effet, des travaux récents mettent en avant le besoin d'aborder ces questions environnementales de façon intégrée et soulignent la difficulté du choix des unités fonctionnelles (litre de lait ou kg de viande vive par exemple) à utiliser (Van der Werf et al. 2020). Dans le cadre du suivi du système Bas Carbone de Trévarez, d'autres indicateurs sont utilisés. Il s'agit par exemple du rapport entre les émissions de GES liées au fonctionnement « biologique » de l'exploitation - méthane (CH_4) entérique, CH_4 et protoxyde d'azote (N_20) liés à la gestion des déjections - et les émissions de GES totales, ou encore le rapport entre les émissions liées aux intrants (CO_2 direct lié à la consommation d'énergie, CO_2 indirect lié aux intrants et N_2O lié à la fertilisation minérale) et les mêmes émissions totales.

2. RESULTATS

2.1. RESULTATS TECHNIQUES

2.1.1. Surface fourragère et alimentation

Au cours des 4 années, le système Bas Carbone a été conduit sur 82 ha de prairies, dont 29 ha de prairies permanentes, et sur 34 ha de maïs ensilage. La part de maïs dans la surface fourragère principale (SFP) passe sous la barre des 30% à partir de 2019. Elle est de 26% en 2021.

Si l'herbe représente 33% de la matière sèche (MS) ingérée sous forme de fourrage en 2018, elle atteint 49% de la ration (MS) hors concentrés en 2021. En moyenne, 80% de cette herbe est ingérée au pâturage. Depuis 2019, 100% des concentrés protéiques distribués aux vaches laitières sont constitués de tourteau de colza.

Le système est autonome en fourrage et affiche une autonomie protéique moyenne de 73% sur les 4 ans. Elle atteint 78% en 2021 (tableau 1).

2.1.2. Production laitière

Entre 2018 et 2021, la production laitière brute a augmenté de 286 litres par vache (tableau 1). Elle s'est accompagnée d'une amélioration de la matière utile : le taux butyreux (TB) a gagné plus d'un point (de 43,2 g/l en 2018 à 44,5 g/l en 2021), tout comme le taux protéique (TP) qui passe de 32,3 g/l en 2018 à 33,7 g/l en 2021. En 2020, ces taux ont été légèrement plus faibles et compensés par une production laitière plus importante. En corrigeant la production laitière avec un TB de 40 g/kg et un TP de 33 g/kg, le lait produit par vache présente atteint 8 036 kg en 2021, soit 490 kg de plus qu'en 2018, répondant aux objectifs de production fixés au démarrage de l'expérimentation.

Enfin, l'écart entre le lait livré et le lait produit est le plus faible en 2021 où seuls 2,7% du lait produit n'a pas été livré (distribué aux veaux ou écarté à la suite du traitement de mammites).

	2018	**2019**	**2020**	**2021**
Occupation du sol				
Prairies temporaires + permanentes (ha)	**78,1**	**81,7**	**77,6**	**86,0**
Maïs (ha)	**41,6**	**31,7**	**37,7**	**33,8**
Surface fourragère (ha)	**122,5**	**118,4**	**117,4**	**122,9**
Part de maïs dans la surface fourragère (%)	32%	24%	29%	26%
Cultures de vente (ha)	8,0	7,2	13,1	7,6
Alimentation				
Herbe pâturée (kg MS / VL / an)	1 503	1 526	1993	2 281
Herbe ensilée (kg MS / VL / an)	421	183	463	508
Foin (kg MS / VL / an)	78	79	44	155
Maïs ensilage (kg MS / VL / an)	3 889	3 968	3612	3049
Autres fourrages conservés (kg MS / VL / an)	120	360	235	211
Total fourrages (kg MS / VL / an)	**6 011**	**6 117**	**6348**	**6204**
Autonomie fourragère	*100%*	*100%*	*100%*	*100%*
Tourteau de colza (kg / VL / an)	409	723	635	690
Tourteau de soja (kg / VL / an)	157	0	0	0
Blé et féverole (kg / VL / an)	142	0	0	0
Total concentrés (kg / VL / an)	**799**	**723**	**635**	**690**
Autonomie protéique	*73%*	*76%*	*80%*	*78%*
Production laitière				
Lait vendu total (x 1 000 l)	899	978	992	938
Lait produit brut / VL présente (l)	7 481	7 771	7 927	7 767
Taux butyreux (g/l)	43,2	44,2	42,1	44,5
Taux protéique (g/l)	32,3	32,6	32,7	33,7
Lait produit corrigé TB-TP / VL présente (l)	7 546	7 949	7 917	8 036
Lait vendu / lait produit (%)	94,7%	97,2%	96,9%	97,3%

Tableau 1 Ration moyenne annuelle en fourrages (kg de matières sèches MS) et quantité moyenne annuelle de concentrés hors minéraux (kg de matière brute) par vache laitière présente – autonomies fourragère et protéique – production laitière et qualité du lait sur la ferme de Trévarez entre 2018 et 2021

2.1.3. Conduite des génisses

En 2020 et 2021, les génisses ont vêlé à 25 mois en moyenne. L'âge au premier vêlage a été réduit de 2 mois par rapport aux moyennes de 2016 à 2019. Ces résultats s'expliquent par une meilleure croissance des génisses entre la naissance et l'insémination, et par le choix des génisses conservées pour le renouvellement.

Depuis 2018, les génisses sont sevrées à 100 kg en moyenne pour un âge au sevrage de 75 jours (tableau 2).

L'alimentation des veaux a ainsi été revue. De 15 jours à 5 mois, leur ration est constituée de foin à volonté, d'eau et d'un concentré à base de féverole et de granulé d'orge, plafonné à 3,5 kg par tête. A 6 mois, les génisses atteignent 200 kg. A partir de cet âge, l'objectif est de maximiser le pâturage. Sur l'ensemble de leur durée d'élevage, les génisses pâturent ainsi plus de 400 jours en 25 mois. Si la consommation de concentrés a augmenté de 100 kg par génisse élevée, elle est compensée par une économie de 660 kg de matières sèches de fourrages du fait des 2 mois d'élevage gagnés.

Les génisses atteignent en moyenne 400 kg à 15 mois. Elles sont inséminées à 380 kg minimum après pesée au moment des périodes d'inséminations artificielles.

Le gain de croissance observé a permis de réduire le nombre de génisses décalées d'une saison de reproduction à l'autre, faute de poids suffisant, et donc de réduire l'âge au vêlage, sans dégrader le poids après vêlage qui reste identique.

	2015 à 2017	2018 à 2020	Ecart
Effectifs	126	129	
kg naissance	39	41	+ 2 kg
kg sevrage 75 j	85	100	+ 15 kg
kg à 6 mois	176	201	+ 25 kg
kg à 15 mois	368	400	+32 kg
kg après vêlage	561	565	+ 4 kg
Age 1er vêlage	26,7	24,7	- 2 mois

Tableau 2 Evolution des croissances des génisses élevées sur la ferme de Trévarez depuis 2015

2.2. RESULTATS ENVIRONNEMENTAUX

2.2.1. Efficience de l'utilisation de l'azote, bilan apparent de l'azote et pertes potentielles vers le milieu

Le tableau 3 présente les principaux postes du bilan apparent de l'azote dont l'excédent n'a jamais dépassé 83 kgN ha^{-1} (valeur en 2018), reflétant des pertes potentielles vers le milieu relativement faibles et très inférieures aux références disponibles pour des systèmes d'élevage équivalents. Ceux-ci affichent en moyenne un excédent du bilan apparent de 96 kgN ha^{-1} pour les systèmes de plaine où le maïs représente 10 à 30% de la SFP ou 119 kgN $^{-1}$ pour les systèmes de plaine où le maïs occupe plus de 30% de la SFP (Foray et al. 2017).

Par rapport à ces références, Trévarez est caractérisée par des entrées d'azote plus faibles sur les postes « engrais minéraux » avec en 2021 une valeur de 34 kgN ha^{-1} contre 65 kgN ha^{-1} et 89 kgN ha^{-1}. Les entrées liées aux aliments concentrés sont également plus faibles. La fixation symbiotique sur le système Bas Carbone de Trévarez est à l'opposé plus marqué que dans les 2 systèmes de référence.
Les sorties d'azote (lait vendu principalement) sont quasiment identiques entre le système de Trévarez et le système de référence à 10-30 % de maïs dans la SFP.
L'efficience azotée de l'exploitation (rapport entre les sorties d'azote et les entrées) est en moyenne supérieure à 40%.

	Trévarez Bas Carbone				Données Inosys Réseau d'Elevage 2009-2013 (Foray *et al.*, 2017)	
kgN ha^{-1} SAU an^{-1}	2018	2019	2020	2021	Système de plaine 10-30% maïs dans la SFP	Système plaine < 30% de maïs dans la SFP
Total des entrées, dont	134	121	100	123	145	188
Engrais minéraux	32	26	25	34	65	89
Aliments concentrés	50	42	36	39	43	69
Fixation symbiotique	30	31	29	37	19	11
Total des sorties	51	52	55	52	49	69
Bilan apparent N et pertes potentielles	**83**	**69**	**45**	**71**	**96**	**119**
Vers l'air	*40*	*38*	*33*	*37*	*29*	*37*
Vers l'eau	*29*	*18*	*2*	*16*	*49*	*77*
Efficience azotée NUE (%)	38%	43%	55%	43%	37%	39%

Tableau 3 Bilan apparent de l'azote, pertes potentielles vers le milieu et efficience de l'utilisation de l'azote du système Bas Carbone de Trévarez et comparaison à des systèmes de référence

2.2.2. Emissions de GES

Les émissions brutes de GES (tableau 4), exprimées en kg eq CO_2 l^{-1} de lait corrigé ont baissé de 14% en passant de 0,97 à 0,83. C'est également une valeur inférieure de 19% à la référence régionale Bretagne à système comparable.
En intégrant le stockage de carbone dans les sols prairiaux et la partie racinaire de haies, l'empreinte carbone nette du lait atteint 0,71 kg eq CO_2 l^{-1}, soit une baisse de 17% par rapport à 2018.
Plus globalement, à l'échelle de l'exploitation, les émissions de GES ramenées à l'ha de SAU ont suivi la même tendance (-13% entre 2018 et 2021).
Le rapport entre les émissions de méthane entérique et les émissions totales de l'exploitation augmente légèrement en 4 ans (58 % en 2018 et 62 % en 2021).

Toutefois, ces mêmes émissions de méthane entérique rapportées aux émissions liées au fonctionnement biologique de l'exploitation fluctuent très peu sur la campagne de suivi.
La réduction de la part des émissions liées aux intrants sur les émissions de GES totales est également visible (20 % en 2018 vs 15 % en 2021).
L'augmentation de la surface en prairie en 2021 se traduit par une augmentation du stockage de carbone de 171 kg eqCO_2 ha^{-1} de SAU en l'espace de 4 ans.
Enfin, le stockage de carbone complémentaire dans la partie aérienne non valorisée des haies est estimé à 102 kg eqCO_2 ha^{-1} de SAU.

	Echelle	Trévarez Bas Carbone				Evolution 4 ans	Réf*
		2018	2019	2020	2021		
Emissions brutes de GES (kg eqCO_2 l^{-1} lait corrigé)	Atelier lait	0,97	0,87	0,81	0,83	-14%	1,02
Stockage de carbone (kg eq CO_2 l^{-1} lait corrigé)		0,11	0,10	0,10	0,12	+ 9%	0,16
Empreinte carbone nette (kg eqCO_2 l^{-1} lait corrigé)		0,86	0,77	0,71	0,71	-17%	0,86
Emissions brutes de GES (kg eqCO_2 l^{-1} ha^{-1})		8 904	8 515	7 929	7 788	-13%	
Emissions CH_4 entérique / émissions totales (%)		58%	59%	64%	62%		
Emissions CH_4 entérique / émissions biologiques (%)		72%	72%	75%	73%		
Emissions biologiques du système / émissions totales (%)		80%	83%	85%	85%		
Emissions liées aux intrants / émissions totales (%)		20%	17%	15%	15%		
Stockage de carbone kg eqCO_2 ha^{-1} de SAU		962	943	958	1 133		
Stockage de carbone / intrants totaux		55%	65%	83%	100%		
Stockage de carbone complémentaire bois (biomasse aérienne) kg eqCO_2 ha^{-1} de SAU		102					
Stockage de carbone total (avec biomasse aérienne) / intrants totaux		66%	78%	100%	117%		

Tableau 4 Emissions de GES et stockage de carbone sur la ferme Bas-Carbone de Trévarez. La référence proposée est issue du référentiel régional Bretagne 2021 sur « La ferme laitière Bas Carbone » (Goumand & Castellan, 2021) avec intégration des modifications des PRG du CH_4 et N_2O liés aux recommandations de l'IPCC pour permettre la comparaison avec la version CAP'2ER utilisée pour l'étude

3. DISCUSSION

Depuis sa mise en place en 2018, le système Bas Carbone de Trévarez affiche une réduction non négligeable de ses pertes azotées avec un bilan apparent de l'azote qui atteint 71 kgN ha^{-1} en 2021, traduisant notamment un très faible risque de perte par lessivage.
Le faible recours aux engrais minéraux explique en partie les faibles niveaux d'intrants azotés. Le maïs ne reçoit par exemple qu'un engrais starter au semis (100 kg de phosphate d'ammonium 18/46). Sa fertilisation est complétée par un apport de fumier s'il n'est pas implanté dans les 2 années suivant le retournement d'une prairie. Dans ce dernier cas, aucun apport organique n'est réalisé. Sur 25 années d'observations à Trévarez, le premier maïs après retournement de prairie produit 20% de rendement supplémentaire par rapport à la moyenne de toutes les parcelles de maïs quel que soit sa place dans la rotation, et 25% de plus que dans le cas des monocultures de maïs.
Les prairies sont fertilisées en priorité avec du lisier de bovin (1 à 2 apports), et si nécessaire, avec un apport minéral sous forme d'ammonitrate, sous condition d'une météo favorable à la pousse de l'herbe. De plus, une grande partie de la fertilisation de ces prairies est permise par la présence de trèfle (25% de trèfle blanc en moyenne dans les prairies temporaires pâturées) et explique également la faible utilisation d'azote minéral. L'introduction de légumineuses (trèfle blanc, trèfle violet, …) dans les prairies d'association est d'ailleurs aujourd'hui l'un des leviers phares mis en avant par le Teagasc en Irlande pour réduire l'utilisation d'engrais minéraux et les externalités négatives associées (émissions de GES et d'ammoniac) (Henessy et al. 2022).
A l'échelle de l'animal, malgré l'utilisation exclusive et limitée de tourteau de colza, la production laitière répond aux objectifs fixés, tant en quantité qu'en qualité, grâce à la part croissante d'herbe dans la ration. La poste « aliments concentrés » du bilan apparent est de ce fait relativement stable depuis 2019 mais beaucoup plus faible qu'en 2018.
Finalement, le poste intrants azotés sur l'exploitation affiche une baisse de 11kgN ha^{-1} entre 2018 et 2021. Pour autant, les sorties d'azote n'ont pas changé (+1 kgN ha^{-1} en 4 ans). L'exploitation a donc gagné en efficience d'utilisation de l'azote. Cette efficience, associée au faible surplus azoté, traduit une gestion optimisée de l'azote sur l'exploitation, aussi bien à l'échelle du troupeau (alimentation) qu'à l'échelle des cultures (fertilisation), et une bonne combinaison entre ces 2 ateliers.

Les émissions de GES suivent la même tendance que les pertes azotées. Elles diminuent depuis 2018, quels que soient le périmètre (atelier laitier ou exploitation) ou l'unité fonctionnelle utilisée (litre de lait corrigé ou ha). La baisse des émissions de GES exprimée par litre de lait (-14% en 2021/2018) n'est pas le fait de leur « dilution » permise par une intensification laitière. Elle est également observée à l'échelle de l'exploitation qui montre une réduction, en 4 ans, de plus de 1,1 tonne eq CO_2 par ha de SAU, sur une surface qui est restée inchangée.
Comme évoqué précédemment, la réduction de l'âge au vêlage des génisses explique en partie cette baisse.
De même, l'utilisation limitée de tourteau de colza, dont l'origine n'est pas associée à un changement d'occupation des sols (déforestation), est synonyme d'un faible impact environnemental indirect.
Le gain d'efficience observé sur la gestion de l'azote est également identifié sur ce volet GES. En effet, du fait de la réduction des intrants sur l'exploitation, et notamment de l'aliment concentré, la part des émissions liées à ces intrants (émissions indirectes) s'est considérablement réduite. Elles sont d'ailleurs intégralement compensées en 2021 par le stockage de carbone permis par les sols prairiaux et par la partie racinaire de haies. Il s'agit d'une certaine forme de neutralité climatique puisqu'il ne reste que les émissions liées au fonctionnement biologique de l'exploitation, dont la principale origine est le méthane entérique. Une partie de ces émissions est même compensée en 2021 par le stockage complémentaire dans la biomasse aérienne non valorisée des haies de Trévarez.

CONCLUSION

Le mot d'ordre sur le dispositif Bas Carbone de Trévarez est d'utiliser le plus efficacement possible les ressources disponibles sur l'exploitation et de limiter le recours aux intrants, dont les coûts environnementaux ne sont pas négligeables, notamment en ce qui concerne les émissions de GES liées à leur fabrication ou à leur transport, et qui peuvent également être synonymes de pertes azotées.
L'amélioration des pratiques est donc un levier pour répondre aux enjeux environnementaux, avant de penser à d'autres solutions industrielles, certainement plus coûteuses pour l'éleveur. L'étude économique prévue sur les années de suivi de ce système Bas Carbone de Trévarez permettra de compléter cette analyse.
Enfin, il est de nécessaire de rappeler l'intérêt de l'approche globale et intégrée des différents facteurs impliqués dans le fonctionnement des systèmes laitiers dans l'évaluation de leurs performances environnementales et de ne pas se focaliser sur un seul indicateur, ou une seule unité fonctionnelle, au risque de ne pouvoir atteindre les objectifs fixés de réduction des émissions de GES et autres pertes vers le milieu.

Cette étude a bénéficié du soutien financier de l'Europe dans le cadre du projet Interreg Atlantic Area Dairy-4-Future, et du compte d'affectation spéciale développement agricole et rural attribué par France Agrimer dans le cadre du projet STRACE²

Arrouays D., Balesdent J., et *al*., 2002. Stocker du carbone dans les sols agricoles de France ? Rapport d'expertise collective, réalisé par l'INRA à la demande du Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable. Paris. 334 p
Brocard V., Tranvoiz E., et al., 2020. Renc. Rech. Ruminants 2020. 554-559
Colombie S., Ligneau L., et *al*., 2020. Carbocage, vers la neutralité carbone des territoires, Ademe, 40 p
Delagarde R., Caillat H., Fortin J., 2017. Actes du congrès AFPF 2017, 117-124
Dollé, J.-B., Faverdin, P., Agabriel, J., Sauvant, D., Klumpp, K., 2013. Fourrages, 181–191
Faverdin P., Van Milgen J., 2019. INRAE Productions Animales, 32(2), 305-322
Foray S., Gaborit M., et al. 2020. Renc. Rech. Rumi., 25, 115-119
Foray S., Manneville V., 2019. À la reconquête de la qualité de l'eau en France, Idele, 39 p
Foray S., Billy C., et *al.* 2017. Gestion de l'azote dans les systèmes d'élevages herbivores, Idele, 98 p
Goumand, E., Castellan, E. 2021. https://idele.fr/en/detail-dossier/fiches-references-cap2err-edition-2021
Henessy D., O'Donovan M., 2022. Management and establishment of grass-white clover swards. Moorepark Dairy Levy research Update. Teagasc, 32p.
Pellerin S., Bamière L., et *al.* 2013. Quelle contribution de l'agriculture française à la réduction des émissions de gaz à effet de serre ? Potentiel d'atténuation et coût de dix actions techniques. Synthèse du rapport d'étude, INRAE (France).
Soussana J.F., Tallec T., Blanfort V., 2010. Animal, 4 : 334-350
Van der Werf H., Trydeman Kundsen M., Cederberg C., 2020. Nature Sustainability, 3, 419-425

Efficience d'utilisation de l'azote et empreinte carbone d'un système bovin laitier agroécologique basé sur des ressources fourragères diversifiées

NOVAK S. (1), GUYARD R. (1), CHARGELEGUE F. (1), AUDEBERT G. (1), FORAY S. (2)
(1) INRAE, Ferlus, 86600 Lusignan, France, DOI : 10.15454/1.5572219564109097E12
(2) IDELE, Monvoisin, 35650 Le Rheu, France

RESUME
Le système de polyculture-élevage OasYs, basé sur une diversification des ressources fourragères, la maximisation du pâturage, le développement des légumineuses et une stratégie d'élevage adaptée (2 périodes de vêlage, allongement des lactations à 16 mois, croisement 3 races) est mis en place depuis juin 2013 (72 vaches laitières, 91 ha) dans une zone soumise à des sécheresses estivales. Conduit sans irrigation et avec peu d'intrants, sa production laitière annuelle moyenne a été de 6746 l lait corrigé sur la matière utile /vache de 2017 à 2020. Ses performances environnementales ont été évaluées sur cette période avec l'outil CAP'2ER. OasYs présente un bilan apparent de l'azote très peu excédentaire avec de faibles pertes (48 kg N ha^{-1} en moyenne sur les 4 années) et une bonne efficience d'utilisation de l'azote (49% en moyenne). Les émissions brutes de gaz à effet de serre en équivalent CO_2 par litre de lait corrigé sont faibles (0,78 en 2020) et inférieures aux autres systèmes de plaine basés sur l'herbe. Elles sont essentiellement dues aux fermentations entériques des bovins (59% en moyenne) et dans une moindre mesure à la gestion des effluents (23%). Le stockage de carbone dans les sols est en revanche moins élevé que celui d'autres systèmes herbagers basés sur la prairie permanente car OasYs comporte quasi exclusivement des prairies temporaires.

Nitrogen use efficiency and carbon footprint of an agroecological dairy system based on diversified resources

NOVAK S. (1), GUYARD R. (1), CHARGELEGUE F. (1), AUDEBERT G. (1), FORAY S. (2)
(1) INRAE, Ferlus, 86600 Lusignan, France, DOI : 10.15454/1.5572219564109097E12

SUMMARY
A mixed crop-dairy system called OasYs, based on diversification of fodder resources, maximisation of grazing, development of legumes and an adapted breeding strategy (2 calving periods, extension of lactation length to 16 months, three-way crossbreeding) was implemented since 2013 (72 dairy cows, 91 ha) in a plain area affected by summer droughts. Conducted without irrigation and with limited inputs, its average annual fat and protein corrected milk production was 6746 l milk /cow from 2017 to 2020. Its environmental performance was assessed over this period by the CAP'2ER tool. OasYs showed small average N surpluses (48 kg N ha^{-1} on average for the 4 years) and good N use efficiency (49% on average). Greenhouse gases gross emissions expressed in kg CO_2-equivalent per litre of corrected milk were low (0.78 in 2020) and lower than other grassland-based systems from lowland areas. They were mainly due to enteric fermentation of cattle (59% on average) and to a lesser extent to manure management (23%). Carbon storage in soils is lower than in other systems based on permanent grassland because OasYs is almost exclusively composed of temporary grassland.

INTRODUCTION

L'élevage laitier doit relever de nombreux défis : faire face à l'augmentation des aléas climatiques et du prix des intrants, préserver l'environnement et veiller au bien-être animal, tout en garantissant des conditions de travail et de rémunération attractives. La plupart des systèmes laitiers actuels n'arrivent pas à répondre conjointement à l'ensemble de ces objectifs, exceptés les systèmes herbagers économes dont les bons résultats technico-économiques et environnementaux sont souvent mis en avant (Journet, 2003 ; Delaby *et al*., 2020). Cependant, ces systèmes herbagers à faible niveau d'intrants sont majoritairement situés dans des zones climatiques jusque-là favorables à la pousse de l'herbe, mais qui pourraient ne plus l'être autant dans les années à venir sous l'effet du changement climatique (Laanaia *et al.*, 2016). Pour répondre à tous les défis de l'élevage laitier, y compris celui de l'adaptation au changement climatique et de son atténuation, un nouveau système bovin a été co-conçu en mobilisant différents leviers agroécologiques tant au niveau du système fourrager que de la stratégie d'élevage. Ce système, nommé OasYs (Novak *et al.*, 2013) est basé sur une diversification des ressources fourragères, la maximisation du pâturage, le développement des légumineuses et une stratégie d'élevage adaptée (2 périodes de vêlage, allongement des lactations à 16 mois, croisement 3 races). Il est mis en œuvre grandeur nature depuis juin 2013 sur un site d'INRAE à Lusignan. Une précédente étude a montré que ce système pouvait permettre de rémunérer 1,5 UMO à 2 Smic chacune (Novak et al., 2020a). Nous étudions ici les performances environnementales d'OasYs, vues sous l'angle des flux d'azote et des émissions de gaz à effet de serre (GES) sur la période 2017-2020.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. CARACTERISTIQUES DU SYSTEME LAITIER OASYS

Le système étudié est composé d'un troupeau de 72 vaches laitières, des génisses de renouvellement et de 91,5 ha de SAU en rotation cultures - prairies temporaires. Il est situé à Lusignan (INRAE Ferlus, Vienne) sur des sols limono-argileux à bonne réserve utile, dans une zone classiquement soumise à des sécheresses estivales. Le système fourrager est basé sur trois rotations, dont deux, représentant chacune 26% de la SAU, ont pour objectif de fournir, par le pâturage, l'essentiel de l'alimentation des animaux. Pour cela, elles comportent cinq années de prairies temporaires multiespèces riches en légumineuses et deux années de cultures annuelles. Celles-ci sont dédiées à allonger la période de pâturage pour l'une des rotations et à être utilisées à double-fin pour la deuxième (Novak *et al.*, 2018). La troisième

rotation (44 % SAU) a pour vocation de fournir des stocks fourragers équilibrés (mélanges céréales-protéagineux, sorgho monocoupe associé à une légumineuse), de la paille et des cultures de vente (blé, protéagineux). Ces cultures de vente sont parfois utilisées comme fourrage si besoin. Les cultures ne sont pas irriguées et sont conduites avec peu d'intrants exogènes (< 5 kg N minéral / ha, IFT (hors prairies) < 0,5). La diversification des fourrages repose sur une diversité intra parcellaire, avec des mélanges prairiaux associant diverses graminées (fétuque élevée, dactyle, ray-grass anglais, hybride ou d'Italie), légumineuses (trèfles, luzerne, sainfoin, lotier) et dicotylédones (chicorée, plantain). Elle repose également sur une diversité à l'échelle de l'assolement, avec des couverts différant par leur composition, leur précocité et leur aptitude à pousser aux différentes saisons et sous des conditions climatiques variées. Les plantations de ligneux sur 5 parcelles d'environ 3 ha, et de 1040 m de haies, réalisées entre 2014 et 2018 sont un élément supplémentaire de cette diversification fourragère, tout en ayant également d'autres fonctions (abri, ombrage, fertilité du sol, stockage de carbone, diversification des produits, …) (Novak *et al.*, 2020b). La stratégie d'élevage a pour principaux objectifs de limiter les émissions de GES, de valoriser les ressources du milieu, de préserver l'environnement et de favoriser le bien-être animal (Novak *et al.*, 2014). Ainsi 2 périodes de vêlage, centrées sur le printemps et l'automne, ont été mises en place en 2014 afin de valoriser les fourrages au maximum par le pâturage. Des vêlages à 24 mois et un allongement des lactations à 16 mois visent à limiter les périodes improductives durant la carrière de la vache. L'allongement des lactations a également pour objectif d'augmenter la longévité des vaches afin de réduire la taille du troupeau de renouvellement et les impacts environnementaux qui y sont associés. De plus depuis juin 2013, le troupeau est engagé dans un croisement rotatif à 3 races (Holstein, Rouge Scandinave, Jersiaise) afin de disposer de vaches laitières plus rustiques, avec de bonnes capacités de production et de reproduction, et bien adaptées au pâturage. Le croisement avec la Jersiaise vise en outre à améliorer les taux de matière utile du lait, mais aussi à limiter l'impact des températures élevées sur la production laitière (Smith *et al.*, 2013).

1.2. EVALUATION ENVIRONNEMENTALE

L'évaluation du bilan apparent de l'azote, de son efficience d'utilisation, des émissions de GES et du stockage de carbone a été réalisée à l'échelle de la ferme de 2017 à 2020 à l'aide de l'outil CAP'2ER (https://cap2er.fr/Cap2er/). Cet outil, développé par l'Institut de l'Elevage, est basé sur l'analyse du cycle de vie. Il prend en compte les différents compartiments de la ferme à l'origine de pertes azotées ou d'émissions de GES, telles que la fermentation entérique, la gestion des déjections (bâtiment, stockage, épandage, pâturage), les consommations d'énergie directe et les intrants (émissions de CO_2 générées lors de leur fabrication et de leur transport) mais aussi les émissions liées à l'application des engrais minéraux. Les émissions de GES, converties en équivalent CO_2, sont calculées sur l'ensemble de l'exploitation, et prennent en compte les ateliers lait et cultures de vente. A l'échelle de l'atelier lait, ces émissions sont ramenées à la production laitière standard en protéines et matières grasses (kg eqCO_2 /l lait corrigé) sur la base de l'allocation biophysique lait/viande préconisée par la Fédération Internationale Laitière. L'empreinte carbone nette du lait est calculée en retranchant le stockage de carbone dans les sols aux émissions brutes de GES en eqCO_2. Le stockage de carbone a été estimé à 570 kg C/ha/an pour les prairies permanentes, selon les travaux de Soussana *et al.* (2010) et Schulze *et al.* (2009). Pour les surfaces en rotation intégrant des prairies temporaires, le stockage/déstockage de carbone est fonction de la durée de présence de la prairie dans la rotation en considérant qu'une prairie stocke 570 kg C/ha/an et que les cultures suivantes déstockent 950 kg C/ha/an, en lien avec le retournement de la prairie. Les résultats moyens obtenus avec CAP'2ER sur OasYs de 2017 à 2020 ont été comparés à des références nationales sur deux systèmes type « herbe de plaine » ou « herbe-maïs de plaine » comportant respectivement moins de 10% ou de 10 à 30 % de maïs dans leur SFP. Pour les indicateurs sur les flux d'azote, les références proviennent des fermes du réseau d'élevage Inosys évaluées sur les années 2009 à 2013 (Foray *et al.*, 2017). Pour les émissions de GES, nous utilisons comme référence les résultats de la « Ferme Laitière Bas Carbone » obtenus avec CAP'2ER de 2013 à 2019 (Gourmand et Castellan, 2021).

Tableau 1 : bilan apparent de l'azote et efficience d'utilisation de l'azote sur OasYs comparés à des systèmes type

	OasYs				Données Inosys Réseau d'Elevage 2009-2013 (Foray *et al.*, 2017)	
kg N ha^{-1} SAU an^{-1}	2017	2018	2019	2020	Système herbe de plaine n=46	Système herbe-maïs de plaine n=126
Fourrages achetés	0	0	4	0	10	6
Concentrés achetés	9	3	7	9	37	43
Engrais minéraux	25	15	15	6	45	65
Fixation symbiotique	47	73	74	47	18	19
TOTAL des entrées	91	101	110	72	120	145
TOTAL des sorties	52	44	41	45	40	49
Bilan apparent N	39	57	69	27	80	96
Efficience N (%)	57	44	37	62	33	34

2. RÉSULTATS

2.1. BILAN APPARENT DE L'AZOTE

Le bilan apparent en N est très peu excédentaire avec des pertes anuelles représentant de 27 à 69 kg N ha^{-1} selon les années (tableau 1). Le poste principal correspond à la fixation symbiotique par les légumineuses qui représente de 52 à 72 % du total des entrées d'azote dans le système et qui est à l'origine de la fluctuation du bilan entre les années. Les engrais azotés minéraux de synthèse ne comptent que pour 8 à 27% des entrées d'azote. L'efficience d'utilisation de l'azote à l'échelle de la ferme varie de 37 à 62% selon les années, également en lien avec la proportion de légumineuses présentes dans les prairies.

	OasYs				Données CAP'2ER sur 2013-2019 (Goumand & Castellan, 2021)	
	2017	2018	2019	2020	Système herbe de plaine n=347	Système herbe-maïs de plaine ; n=1208
SAU (ha)	91,5	91,5	91,5	91,5	124	119
Prairies dans la SAU (%)	67	64	64	65	80	58
Lait corrigé (litres vache^{-1})	6624	6468	6915	6978	5507	7187
Concentrés (g litre^{-1})	42	28	54	63	130	161
Autonomie protéique (%)	93	97	91	93	87	73
Emissions brutes GES (kg éq CO_2 litre^{-1} lait corrigé)	0,90	0,83	0,83	0,78	0,99	0,96
dont fermentation entérique	*0,54*	*0,49*	*0,48*	*0,47*	*0,57*	*0,51*
dont aliments achetés	*0,02*	*0,01*	*0,03*	*0,03*	*0,06*	*0,10*
Stockage C (kg éq CO_2 litre^{-1} lait corrigé)	0,05	0,06	0,06	0,05	0,32	0,15
Emissions nettes GES (kg éq CO_2 litre^{-1} lait corrigé)	0,85	0,78	0,77	0,73	0,67	0,82
Emissions brutes GES (kg éq CO_2 ha^{-1} SAU)	6492	5450	5407	5111	5768	6866

Tableau 2 : émissions de GES et empreinte carbone d'OasYs comparé à des systèmes type
GES : gaz à effet de serre

2.2. EMPREINTE CARBONE

Sur la période 2017-2020, la production laitière annuelle a varié de 6468 à 6978 l lait corrigé sur la matière utile /vache et les concentrés ont représenté en moyenne 47 g/l de lait (tableau 2).

Les émissions brutes de GES exprimées en kg équivalent CO_2 (éqCO_2) par litre de lait corrigé ont diminué de 2017 (0,90) à 2020 (0,78). Elles sont essentiellement dues (59% en moyenne) aux fermentations entériques des animaux et dans une moindre mesure à la gestion des effluents (23% en moyenne), alors que les émissions liées aux aliments achetés sont très faibles (4% au maximum). La diminution entre 2017 et 2020 des émissions brutes de GES en général et du méthane en particulier, est surtout liée à la baisse de l'effectif du troupeau de renouvellement sur cette période. Celui-ci avait fortement augmenté les premières années de mise en place du système pour procéder au croisement rapide du troupeau initialement constitué uniquement de vaches de race Holstein. En 2020, la taille du troupeau de renouvellement constitué de 30 génisses croisées, s'est rapprochée de celle visée par le système en rythme de croisière (24 génisses).

Le stockage de carbone dans les sols des prairies et sous les haies et les arbres agroforestiers est relativement constant sur les 4 années (0,05 kg éq CO_2 litre^{-1} lait corrigé), la surface totale en prairies et en éléments boisés variant peu d'une année à l'autre sur l'assolement.

Les émissions brutes ont également diminué au cours du temps à l'échelle de l'exploitation : elles passent de 6492 à 5111 kg éqCO_2 par ha de SAU entre 2017 et 2020 (tableau 2).

3. DISCUSSION

Le bilan apparent de l'azote obtenu sur OasYs (48 kg N ha^{-1} en moyenne) est très peu excédentaire comparativement à celui observé en moyenne sur des systèmes herbagers (80 kg N ha^{-1}) ou mixtes maïs-herbe (96 kg N ha^{-1}). De même, son efficience d'utilisation de l'azote (49% sur 2017-2020) est meilleure que celle obtenue en moyenne sur ces systèmes (33 et 34%). Ces bons résultats sont vraisemblablement liés à la très faible utilisation d'engrais minéraux azotés et de concentrés sur le système OasYs. La forte autonomie protéique du système (94% en moyenne), s'appuie sur le pâturage de prairies diversifiées riches en légumineuses et sur des stocks réalisés avec des fourrages variés (Novak *et al.*, 2022). Les bons niveaux d'autonomie protéique et fourragère sont également la résultante des leviers mis en place au niveau de l'élevage, notamment la diminution de la taille du troupeau de renouvellement.

Les émissions brutes de GES en kg éq CO_2 par litre de lait corrigé (0,84 en moyenne) sont inférieures à celles des références nationales des systèmes « herbe » (0,99) et « herbe-maïs » (0,96). L'ensemble des leviers mis en place sur le système concourt à ces faibles émissions par litre de lait corrigé, en réduisant le nombre d'animaux improductifs (grâce aux lactations allongées et à des races à bonne capacité de reproduction), en limitant les émissions de GES sur les autres postes (grâce à l'allongement du pâturage et à la faible utilisation d'engrais minéraux de synthèse et de concentrés) tout en conservant une production laitière satisfaisante avec des taux élevés en matière utile (grâce à la race Jersiaise, l'allongement des lactations et l'alimentation diversifiée et pauvre en concentrés).

En revanche, le stockage de carbone dans les sols est trois à six fois plus élevé pour les systèmes « herbe-maïs » et « herbe » que pour OasYs (0,6 kg éq CO_2 litre^{-1} lait corrigé en moyenne), car ils comportent des prairies permanentes qui, stockent davantage de carbone que les rotations d'OasYs comportant des prairies temporaires de 4 ou 5 ans. Cependant, la valeur de stockage annuel de carbone dans les sols des prairies utilisée par CAP'2ER est une valeur moyenne, identique quelle que soit l'âge de la prairie, les conditions pédoclimatiques ou les modes de gestion, alors que ces paramètres peuvent avoir un effet important sur la quantité de carbone stockée (Angers *et al.*, 2020). Par ailleurs, le carbone stocké dans la biomasse aérienne des arbres n'est pas encore pris en compte dans CAP'2ER, ce qui désavantage le système OasYs qui comporte de nombreuses parcelles en agroforesterie.

Au global, l'empreinte carbone nette en kg éq CO_2 litre^{-1} lait corrigé d'OasYs (0,78), comptabilisée en retranchant aux émissions brutes le stockage de carbone, est meilleure que celle des systèmes maïs-herbe (0,82), mais moins bonne que celle des systèmes tout herbe (0,67).

Exprimées en kg éq CO_2 par ha de SAU, les émissions brutes sont également plus faibles sur OasYs (5615 en moyenne) que sur les systèmes « herbe » (5768) et herbe-maïs (6866) (tableau 2).

La réduction des émissions de GES sur OasYs entre 2017 et 2020 à la fois par litre de lait et par ha montre par ailleurs le gain d'efficacité réalisé par le système au cours du temps.

CONCLUSION

Le système bovin laitier agroécologique OasYs, basé sur des ressources fourragères diversifiées et riches en légumineuses et une stratégie d'élevage innovante, a montré sur 2017-2020 de bonnes performances environnementales, à la fois au niveau du bilan apparent de l'azote et des émissions de GES. La reconception de systèmes laitiers avec une approche agroécologique semble donc être une voie prometteuse pour réduire leur impact sur l'environnement.
Son bilan environnemental pourrait encore être amélioré en allongeant la durée des prairies pour augmenter le stockage de carbone dans les sols. Il faudrait cependant que les prairies ainsi prolongées continuent de fournir un fourrage de qualité et en quantité suffisante, y compris durant les périodes de sécheresse. Il reste également quelques leviers techniques à actionner comme la diminution du travail du sol, la couverture de la fosse ou une amélioration dans l'épandage des effluents organiques liquides, même s'ils sont peu chargés. Par ailleurs, la meilleure prise en compte par CAP'2ER de certaines pratiques innovantes mises en place sur le système, comme l'agroforesterie ou l'utilisation de plantes riches en tanins condensés limitant la méthanogenèse, permettrait d'évaluer plus finement ce système innovant.

Nous remercions tous les agents d'OasYs pour leur engagement dans la mise en œuvre et l'évaluation du système. Cette étude a été co-financée par le Fonds Européen de Développement Régional dans le cadre du projet Interreg de l'Espace Atlantique Dairy-4-Future.

Angers, D., Augusto, L., *et al.* 2020. Expertise Collective INRAE.
Delaby, L., Finn J.A., *et al.* 2020. Front. Sustain. Food Syst., 4, 543587.
Foray, S., Billy, C., *et al.* 2017. https://idele.fr/en/detail-article/gestion-de-lazote-dans-les-systemes-delevage-herbivores
Goumand, E., Castellan, E. 2021. https://idele.fr/en/detail-dossier/fiches-references-cap2err-edition-2021
Journet, M. 2003. Fourrages, 173, 63-88.
Laanaia, N., Carrer, D., *et al.* 2016. Clim. Risk Manag., 13, 31-42.
Novak, S., Delagarde, R., *et al.* 2013. Fourrages, 215, 241-246.
Novak S., Chargelegue F., *et al.* 2014. Renc. Rech. Rumi., 21, 357**.**
Novak, S., Audebert, G., *et al.* 2018. Fourrages, 233, 27-34.
Novak, S., Godoc, B., *et al*. 2020a Renc. Rech. Rumi., 25, 120-124.
Novak, S., Chargelègue, F., *et al.* 2020b. Fourrages, 242, 71-78.
Novak, S., Didiot, C., *et al*. 2022 Renc. Rech. Rumi., 26.
Smith, D. L., Smith, T., *et al.* 2013. J. Dairy Sci., 96, 3028-3033.
Soussana, J.F., Tallec, T., Blanfort, V. 2010. Animal, 4, 334-350.
Schulze, E.D., Luyssaert, S., *et al.* 2009. Nat. Geosci. 2, 842-850.

Nature et agriculture : les leçons du réensauvagement agricole et du réseau *Paysans de nature*

MONDIERE A.(1), THOMAS V.(2), CORSON M.(1), DIRAISON M.(3), DULAC P.(3), SIGUIER D.(3), VAN DERF WERF H.(3)
(1) Sol Agro-hydrosystèmes et spatialisation (UMR 1069 SAS) INRAE – InstitutAgro - 65 rue de Saint-Brieuc CS 84215 35042 Rennes Cedex - France
(2) Centre for Rural Policy Research (CRPR). Exeter - Royaume-Uni
(3) *Paysans de nature* (*Paysans de nature*). *Paysans de nature* - Beauvoir sur Mer - France

RESUME
Le concept de réensauvagement, prônant la restauration de la capacité des processus écologiques à agir avec pas ou peu d'intervention humaine, peut être interprété de façon très diverse selon le contexte géographique. En Angleterre le « réensauvagement domestiqué » émerge. En comparaison au réensauvagement présent dans d'autres pays, il est applicable à plus petite échelle, avec des ambitions moindres en termes d'augmentation de la biodiversité, de restauration des écosystèmes et de leur fonctionnement naturel, et implique plus d'interventions humaines, notamment en termes d'introduction et de gestion d'animaux domestiques (Thomas, 2021). Plus globalement, le réensauvagement agricole est une forme de gestion des terres située entre l'agroécologie et le réensauvagement « classique » (Corson *et al.*, 2021). Il combine un objectif principal de restauration des processus écologiques avec une modeste production agricole (le plus souvent animale). En parallèle, le réseau *Paysans de nature*® fédère des paysans dont l'objectif principal est de restaurer l'environnement naturel au sein de paysages agricoles tout en maintenant une production agricole, des revenus décents pour les agriculteurs et un lien fort entre les agriculteurs et le reste de la société (*Paysans de nature*, 2021). Le réensauvagement domestiqué et le réensauvagement agricole sont assez similaires en termes de gestion de terres mais ont un angle d'approche différent. Par comparaison, l'approche *Paysans de nature* est mise en place sur des fermes, donc sur des surfaces assez faibles par rapport aux projets de réensauvagement. Cette approche est multifonctionnelle (restauration des écosystèmes, production agricole, ouverture sociale...) répondant aux problématiques sociétales actuelles, notamment en lien avec le déclin de la biodiversité au sein des paysages agricoles. Nous avons analysé deux projets de réensauvagement agricole en Angleterre et deux fermes du réseau *Paysans de nature* en France. Ceci a permis d'identifier leurs caractéristiques principales et leurs similitudes et différences en termes de contexte (origine des porteurs de projet, type de territoire et échelle du projet), d'objectifs (objectif principal de restauration des écosystèmes avec prise en compte plus ou moins forte des dimensions économique et sociale) et de stratégies pour atteindre ces objectifs. Le bilan de ces caractéristiques, combiné aux impressions des coauteurs sur les points forts et faibles, est présenté à travers une analyse SWOT (forces, faiblesses, opportunités, menaces) des deux approches. Un bilan a ensuite été réalisé pour identifier les caractéristiques sur lesquelles se baser pour faciliter voire étendre des projets de réensauvagement agricole et de *Paysans de nature* afin de laisser plus de place à la nature dans les paysages agricoles. Les deux approches permettent des productions de qualité et la restauration des écosystèmes. Elles ont une bonne image auprès du grand public et pourront profiter d'opportunités financières futures (subventions ou investissements) grâce à la prise de conscience environnementale globale. Elles doivent mieux démontrer leur intérêt général pour l'ensemble de la population rurale afin d'être plus facilement acceptées et être attentives au risque de concurrence entre la préservation de la nature et la production alimentaire.

Farming with nature: lessons from rewilding agriculture and *Paysans de nature*

MONDIERE A.(1), THOMAS V.(2), CORSON M.(1), DIRAISON M.(3), DULAC P.(3), SIGUIER D.(3), VAN DERF WERF H.(3)
(1) Sol Agro-hydrosystèmes et spatialisation (UMR 1069 SAS) INRAE – InstitutAgro - 65 rue de Saint-Brieuc CS 84215 35042 Rennes Cedex - France

SUMMARY
Rewilding is a multifaceted concept, with distinct interpretations depending on its geographical location. A form of domesticated English rewilding is emerging; compared to rewilding at other locations, it operates at smaller spatial scales; has somewhat lower ambitions for increasing biodiversity, restoring ecosystem functioning and favouring natural functioning; and involves more human intervention (Thomas, 2021). More generally, agricultural rewilding is an emerging form of land use conceptually positioned between agroecology and rewilding (Corson *et al.*, 2021). It combines restoration of ecological processes with some degree of agricultural production, most often of animals. In parallel, the French *Paysans de nature*® network federates farmers whose main objective is to conserve and restore natural environments while producing food in an economically viable way (*Paysans de nature*, 2021). Domesticated English rewilding and agricultural rewilding largely correspond to the same type of land use, perceived from different angles. In comparison, the *Paysans de nature* approach aims to reconcile agricultural production and wildlife in all its forms. These approaches, which currently concern relatively small areas, may provide multifunctional models for the transition of livestock farms to respond better to societal demands, in particular for restoration of biodiversity in agricultural landscapes. We performed a SWOT (strengths, weaknesses, opportunities, threats) analysis of environmental, social, and economic characteristics of the two approaches. We conclude by summarizing our view of the potential of both.

INTRODUCTION

Liens entre agriculture et déclin de la biodiversité

L'agriculture est considérée comme la cause principale du déclin de la biodiversité (Tscharntke *et al.*, 2005), principalement liée au modèle agricole majoritaire actuel basé sur l'intensification de la production (Chappell et LaValle, 2011). L'intensification entraîne simplification et homogénisation des paysages agricoles et des rotations culturales, et augmente le recours à la mécanisation et aux intrants chimiques (engrais et pesticides). Ceci impacte directement la biodiversité à l'échelle de la parcelle et du paysage. L'expansion des systèmes agricoles intensifs dans les écosystèmes naturels (Tscharntke *et al.*, 2005) est aussi directement néfaste pour la biodiversité. La diminution de la qualité des écosystèmes via d'autres impacts environnementaux (par exemple le changement climatique) va aussi venir impacter indirectement la biodiversité (Alejandre *et al.*, 2019). Des systèmes agroécologiques, qui reposent davantage sur les processus écologiques que sur les intrants, pourraient remédier à cette perte de biodiversité (Therond *et al.*, 2017). La transition d'un système basé sur des intrants vers un système agroécologique dont la production dépend des processus naturels au sein de l'agroécosystème peut donc favoriser la biodiversité, en particulier celle qui soutient la production agricole. Cette biodiversité peut être gérée en appliquant une approche paysagère à l'échelle de la ferme (Duru *et al.*, 2015). Certains concepts, tels que le réensauvagement agricole et l'approche du réseau d'agriculteurs français *Paysans de nature*, vont encore plus loin en considérant la restauration de la biodiversité comme l'objectif principal d'un système agroécologique.

Emergence du réensauvagement agricole en Angleterre

Les principes du réensauvagement sont utilisés à des fins de restauration écologique depuis une quarantaine d'années en Angleterre (Taylor, 2011). Le terme a cependant été adopté plus récemment, et le concept de « rewilding » anglais est distinct du concept original apparu et développé aux Etats-Unis (Lorimer *et al.*, 2015). En effet, le réensauvagement en Angleterre s'est développé indépendamment, dans un contexte « approprié à une île surpeuplée, plutôt qu'à une échelle continentale » (Taylor, 2011, p.14). Ce contexte spécifique influence la trajectoire d'évolution du réensauvagement anglais de manière significative. Compte tenu de la densité de population et de l'anthropisation millénaire de l'Angleterre, ses paysages, notamment agricoles, sont très culturels (Sandom et Macdonald, 2015) et tout projet de réensauvagement doit s'y intégrer. Sa géographie insulaire induit aussi une intervention humaine pour réintroduire certaines espèces disparues (Clancy et Ward, 2020). Ainsi, l'intégration au sein des paysages et la nécessité d'une intervention humaine « domestiquent » le réensauvagement en Angleterre (Thomas, 2021) en (i) opérant à des échelles plus petites que dans d'autres pays (par exemple, à l'échelle de la ferme), (ii) permettant une anthropisation plus forte (par exemple, le pâturage extensif du bétail), (iii) en étant un minimum productif d'un point de vue agricole, (iv) en limitant les espèces réintroduites et (v) en limitant l'effet des facteurs non humain dans le processus de réensauvagement. En raison de ces adaptations, on assiste à l'émergence du "réensauvagement agricole", une forme d'utilisation des terres qui combine la restauration des processus écologiques avec un certain degré de production agricole. Il se situe donc conceptuellement entre l'agroécologie et le concept original de réensauvagement (Corson *et al.*, 2021) et correspond mieux aux géographies sociales et environnementales de l'Angleterre que les autres formes de réensauvagement.

Emergence de *Paysans de nature* en France

Paysans de nature (PdN) est une association visant à allier restauration de la biodiversité et production agricole. Elle s'est développée en France à l'échelle régionale puis s'est étendue à l'échelle nationale depuis une dizaine d'années (*Paysans de nature*, 2021). C'est un réseau d'agriculteurs qui s'engagent à respecter une charte commune les incitant à gérer leur exploitation comme une "réserve naturelle agricole". PdN promeut des accords entre la marque *Paysans de nature* et des acteurs locaux. Ces derniers peuvent aussi s'engager directement en faveur du réseau (accueil de stagiaires, d'événements etc.). Tout ceci permet de diffuser l'approche portée par l'association. Plus de 5000 ha sont aujourd'hui gérés par les agriculteurs adhérents. Les acteurs environnementaux voisins de chaque ferme participent à un audit visant à valider (ou non) le statut PdN des fermes. Cet audit, basé sur les enjeux de biodiversité identifiés par les gestionnaires d'espaces naturels locaux, vise à adapter la gestion de la ferme à son contexte naturel. Ainsi, l'approche PdN crée un système socio-écologique qui accroît l'harmonie entre la société, les pratiques agricoles et la nature. Elle souligne l'importance de la biodiversité au sein de l'exploitation tout en maintenant une présence humaine avec une gestion "douce" et une philosophie renforçant l'aspect sauvage de l'agroécosystème de la ferme. Les agriculteurs PdN se distinguent des autres tendances agricoles émergentes en (i) se considérant comme faisant partie d'une communauté d'autres êtres vivants, (ii) considérant que toutes les espèces ont leur place dans la valorisation de la faune et la flore de leurs exploitations et (iii) apprenant à connaître la biodiversité de leurs exploitations pour en tenir compte dans leur gestion. Ils sont installés au sein de divers agroécosystèmes en France mais sont plus présents là où un certain niveau de biodiversité est déjà présent (zones de déprise agricole et/ou difficile à cultiver).

1. MATERIEL ET METHODES : Comparaison des 2 approches via l'analyse de projets les appliquant

Deux projets de réensauvagement agricole anglais et deux fermes PdN appliquant les 2 approches ont été analysées afin d'identifier leurs caractéristiques générales et de mettre en évidence leurs similitudes et différences (Tableau 1). Bien que l'échelle des deux projets de réensauvagement agricole soit plus petite que celle des projets de réensauvagement traditionnels, chacun d'eux reste relativement important : une grande ferme (450 ha pour le bloc sud de Knepp Wildland) ou un petit paysage (4402 ha pour Wild Ennerdale). Knepp Wildland résulte d'un système polyculture élevage en faillite, tandis que Wild Ennerdale a été mis en place dans un parc national, où l'enjeu de conservation de la biodiversité était déjà présent. Dans les deux projets l'introduction d'espèces domestiques (notamment bovines) adaptés aux conditions locales a été une des étapes du réensauvagement. Ces espèces jouent le rôle d'ingénieurs des écosystèmes tout en permettant un faible niveau de production (de viande la plupart du temps) Les deux projets hébergent aussi des espèces sauvages, souvent spécifiques à l'écosystème local et parfois réintroduites. D'autres actions visant à favoriser le réensauvagement sont aussi mises en place, comme la gestion des espèces domestiques (prélèvement, surveillance de la mise bas), la restauration d'habitats ou encore le pâturage extensif. Les activités sociales (bénévolats etc.) et économiques (production de viande, tourisme etc.) sont centrées sur l'objectif principal de restauration de l'écosystème. Les deux fermes qui illustrent l'approche PdN sont très différentes l'une de l'autre (tableau 1). Grand Laval est une petite exploitation en polyculture élevage très diversifiée avec une grande majorité de surface arable. La Barge est une exploitation allaitante plus grande, avec la

Approche	Nom, date de mise en place, surface, type de gestion[1]	Type de projet et localisation	Espèces clés		Actions en faveur du réensauvagement	Acteurs liés aux projets	Activités économiques
			Domestiques	sauvages			
Réensauvagement agricole	Bloc sud de la Knepp Wildland, 2001, 450 ha, P	Ferme en faillite transformée en réserve de faunes sauvages (Sussex, GB)	Porc Tamworth, Poney Exmoor, Vache long-horn cattle	Castor d'Eurasie, différentes espèces de cerfs, papillon empereur pourpre, cigogne	Pâturage extensif, restauration des habitats, réintroduction d'espèces, gestion des animaux domestiques	Volontariat	Tourisme, éducation à l'environnement, production animale
	Wild Ennerdale, 2003, 4402 ha, G-P-N	Réensauvagement dans le parc national 'Lake District' (Cumbria, GB)	Vache Galloway	Chevreuil, cerf rouge, écureuil rouge, faune aquatique	Pâturage extensif, restauration des habitats, plantation d'arbres, gestion des cerfs	Volontariat, Réseau de partenaire	Production animale
Paysans de nature	La ferme du Grand Laval, 2006, 25 ha, P-N	Ferme bio. en polyculture élevage diversifiée intégrant faune et flore sauvages dans sa gestion (Drôme, France)	Brebis, volaille, verger, légume, grandes cultures	Oiseaux, chauves-souris, petits mammifères	Nichoirs, haies, bandes enherbées, paillage, culture de sources de nectar	Volontariat, vente directe à la ferme	Production diverses de produits animaux et végétaux
	GAEC La Barge, 2006, 171 ha, P-N	Ferme bio. allaitante sur prairie permanente de marais avec fort engagement dans la préservation de la biodiversité (Vendée, France)	Vache maraîchine, chevaux, autres espèces domestiques locales	Amphibiens, oiseaux endémiques des marais, autres espèces d'oiseaux	Inondation des prairies, création d'étangs, pâturage extensif, réduction de la mécanisation, augmentation du ratio pâturage/fauche	Volontariat, vente directe à la ferme, événements culturels à la ferme, marchés, promenades dans la nature	Production de viande et vente de fourrage

Tableau 1. Caractéristiques de deux projets de réensauvagement agricole et de deux fermes du réseau Paysan de nature. (Sources : sites Internet de Rewilding Britain, Grand Laval et La Barge)
[1] G: gouvernementale, P: privée, N: organisation non gouvernementale

quasi-totalité de sa surface en prairie permanente. Toutes deux gèrent de nombreuses espèces animales ou végétales domestiquées, adaptées (par exemple, la vache maraîchine) ou non à leur contexte naturel, avec pour objectifs principaux la production agricole et le maintien d'une biodiversité importante sur l'exploitation. Différentes pratiques de gestion sont mises en œuvre pour restaurer le fonctionnement de l'écosystème et/ou héberger une biodiversité importante sur l'exploitation. Ces exploitations influencent la communauté locale via de la vente directe, le recours à des bénévoles et l'organisation de divers évènements. Leurs revenus sont exclusivement liés à leur production agricole.

2. RESULTATS : Similitudes et différences entre les 2 approches

Les analyses précédentes et la littérature portant sur le résensauvagement agricole et le réseau PdN ont permis d'identifier des similitudes et des différences entre les deux approches (Tableau 2). Bien qu'elles aient des origines différentes et qu'elles soient appliquées à des échelles et dans des contextes différents, elles visent à restaurer le fonctionnement de l'écosystème tout en considérant d'autres objectifs socio-économiques. Des interventions humaines plus ou moins intenses sont aussi mises en places.
Les projets de réensauvagement agricole sont initiés par des acteurs privés ou gouvernementaux sur de grandes surfaces, pas nécessairement sur des exploitations agricoles et dans des contextes pédoclimatiques variés. Sans avoir de chartes ou de cahiers des charges communs, ils mettent en place des pratiques de gestions assez proches (par exemple, la restauration des écosystèmes par l'introduction de grands herbivores). En comparaison, les fermes PdN sont des exploitations privées soutenues par des associations locales et un réseau national. Leurs productions sont diverses (comprenant généralement au moins une production animale). Elles adaptent donc leurs stratégies de restauration des écosystèmes à leur système respectif tout en respectant une charte commune.
Bien que tous deux visent à restaurer la biodiversité, les objectifs principaux des deux approches diffèrent. Les projets de réensauvagement agricole se concentrent sur la restauration des écosystèmes, en considérant la production et les revenus agricoles ou l'intégration dans la communauté locale comme des objectifs secondaires. En revanche, les fermes PdN visent à équilibrer la restauration des écosystèmes, la production alimentaire, les revenus agricoles et l'intégration dans la communauté locale. Les projets de réensauvagement agricole ne disposent pas d'une ligne directrice commune, ce qui conduit à une grande variété de pratiques de gestion, ayant pour point commun une faible intervention humaine et quelques activités secondaires (tourisme, production agricole etc.). En revanche, les fermes PdN ont un engagement commun au sein d'un réseau national les soutenant dans leurs activités. Même si leurs pratiques à faible niveau d'intrants contribuent à améliorer la biodiversité, l'intervention humaine y est plus importante que dans les projets de réensauvagement agricole, en particulier dans les systèmes polyculture-élevage. Bien que les deux approches visent à restaurer le fonctionnement des écosystèmes, leurs différences nécessitent une réflexion approfondie sur les actions à mener pour favoriser leur développement.

	Réensauvagement agricole	*Paysans de nature*
Vision globale portée	Les herbivores et autres espèces ingénieurs de l'écosystème peuvent transformer des surfaces agricoles marginales et/ou d'autres zones en un écosystème diversifié, qui permet une certaine production agricole. L'objectif principal est la restauration du fonctionnement de l'écosystème.	Des exploitations agricoles gérées comme des " réserves agricoles naturelles " pour conserver et restaurer les milieux naturels, améliorer la biodiversité, nourrir les citoyens et assurer un revenu aux agriculteurs. L'implantation de *Paysans de nature* dans une région protège sa faune et sa flore plus efficacement que ne le font les réglementations traditionnelles.
Type de systèmes	De grandes surfaces où une diversité d'herbivores et parfois d'autres espèces sont gérées pour créer des écosystèmes autonomes permettant de restaurer la biodiversité indigène et les processus écologiques. L'intervention humaine varie selon les projets et la production agricole est limitée.	Une variété de de systèmes de production agricoles, combinant souvent cultures et élevage, majoritairement biologiques produisant principalement pour les marchés locaux. Organisées en réseaux, avec un engagement envers une charte commune combinant objectifs agricoles et environnementaux.
Pratiques de résensauvagement mises en place	Introduction et prélèvement régulier d'espèces domestiques rustiques et d'herbivores sauvages, restauration d'habitats, plantation d'arbres.	Restauration d'habitats, plantation d'arbres.
Pratiques agricoles mises en place	Pâturage extensive.	Utilisation de variétés végétales et de races animales rustiques, faibles niveaux d'intrants, absence de produits chimiques de synthèse, pratiques agricoles compatibles avec la préservation de la biodiversité.
La dimension économique	Production agricole combinée à d'autres sources de revenus (par exemple, le tourisme).	Production agricole comme seule source de revenus.
La dimension sociale	Différents types d'acteurs gèrent les projets, dont les objectifs varient.	Les agriculteurs s'ouvrent à d'autres acteurs pour partager leur vision de l'agriculture, de la biodiversité et des relations entre acteurs ruraux.

Tableau 2. Caractéristiques des approches de réensauvagement agricole et de P*aysans de nature*

3. DISCUSSION : SWOT des 2 approches pour identifier des pistes de développement

Sur la base de l'analyse précédente, une analyse SWOT (forces, faiblesses, opportunités et menaces) des deux approches a été effectuées par l'ensemble des coauteurs afin d'identifier comment les promouvoir (Tableau 3). Les points forts communs aux deux approches sont la combinaison d'une production alimentaire de haute qualité et de l'amélioration du fonctionnement des écosystèmes, ainsi qu'une bonne image pour la société et/ou d'éventuels futurs porteurs de projets. La diversification des revenus (revenus « basés sur la nature » avec par exemple le tourisme mais aussi la production de viande) et la combinaison de bénéfices environnementaux et sociaux (différents types d'acteurs à l'initiative de tels projets) ainsi que son implantation possible à différentes échelles et dans différents contextes sont les principales forces du réensauvagement agricole. La structuration en réseau avec une charte à l'interface entre agriculture et environnement, la mise en place à l'échelle de la ferme, l'autosuffisance en terme de production et le revenu basé sur la production de la ferme sont les principales forces de PdN. Le fait que ce soit une preuve par les faits que la production agricole et la vie sauvage peuvent coexister est aussi considérée comme une force majeure de PdN. Cependant, le compromis entre production agricole et restauration de l'environnement au sein du réensauvagement agricole peut aussi être considéré comme une faiblesse en terme d'efficacité de restauration des écosystèmes, notamment avec la nécessité d'une surface relativement importante (même à l'échelle de l'exploitation), mais malgré tout trop faible pour héberger certaines espèces. Aussi, sa définition assez large ne permettant pas d'identifier clairement les systèmes s'y rattachant ainsi que l'utilisation du suffixe "re-" pouvant être considéré comme un retour en arrière sont aussi perçus comme des faiblesses. La nécessité d'avoir des compétences en matière de réensauvagement pour bien comprendre et gérer de tels projets est aussi une faiblesse. Concernant PdN, Les principales faiblesses sont les difficultés à créer des liens avec des acteurs locaux autres que des naturalistes et des experts agricoles, des attentes et un enthousiasme qui dépassent la capacité du réseau à les gérer, des difficultés à "exporter" le concept à l'étranger, des revenus modestes et une gestion agricole plus complexe sans évaluation de la contribution de la ferme à l'amélioration réelle de l'état de la biodiversité. Parmi les opportunités communes aux deux approches figurent la sensibilisation croissante de la société aux questions environnementales, pouvant générer de nouveaux investissements et/ou subventions en faveur de ces systèmes, mais aussi l'intérêt accru actuel ou à venir de la profession agricole et des scientifiques pour de tels approches et/ou disciplines et enfin leur attrait touristique. Une autre opportunité pour le réensauvagement agricole serait sa vision "gagnant-gagnant" (restauration des écosystèmes et production agricole). Pour PdN la tendance actuelle au "déclin agricole" offre l'opportunité d'établir de nouvelles fermes PdN sur d'anciennes zones agricoles plus intensives. Les deux approches peuvent être menacées par des facteurs externes tels que le scepticisme des populations rurales (mais aussi des écologistes, pour le réensauvagement agricole). Le réensauvagement agricole pourrait également être considéré comme une approche "perdant-perdant" (pas assez de restauration de l'écosystème et de production agricole) et pourrait concurrencer la production alimentaire dans un contexte d'insécurité alimentaire mondiale ou être boudé par les consommateurs qui délaissent la consommation de viande. Pour PdN, les autres menaces sont l'incapacité à étendre le soutien au-delà d'un petit groupe de citoyens engagés, le conflit avec le modèle agricole dominant et le manque de vocation pour le métier d'éleveur.

CONCLUSION

En résumé, les deux approches bénéficient d'une bonne image du publique et de futures opportunités économiques (subventions ou investissements) en raison de la forte sensibilisation à l'environnement des dernières années. Mais elles doivent démontrer leurs avantages aux populations rurales pour être plus largement acceptées. Le réensauvagement agricole doit être défini plus précisément pour être mieux compris, et il bénéficierait de l'élaboration de lignes directrices générales. Cependant, chaque projet doit prêter attention aux compromis entre la conservation de la nature et la production alimentaire dans son contexte.

	Réensauvagement agricole (4 experts)	*Paysans de nature* (5 experts)
S	(4) Production de viande de haute qualité et durable, accompagnée d'une restauration du fonctionnement des écosystèmes. (2) Nouvelles économies fondées sur la nature par la diversification des sources de revenus. (1) Applicable à de multiples échelles et dans différentes régions. (1) Apprécié et mis en place par différents acteurs. (1) Bonne image publique. (1) Un concept de compromis qui offre des avantages sociaux et environnementaux.	(5) Réseau d'agriculteurs et de citoyens locaux ayant un engagement commun en faveur de la biodiversité. (3) Interface entre l'agriculture et l'environnement. (2) Réalisable sur une surface relativement petite (exploitation agricole). (2) Bonne image publique et attrait pour de futurs adhérents potentiels. (1) Revenu basé sur la production de la ferme. (1) Production alimentaire de haute qualité. (1) Autosuffisance. (1) Preuve par les faits de la coexistence de l'agriculture et de la vie sauvage.
W	(2) Définition large sans limites claires. (2) La restauration des écosystèmes est moins efficace qu'avec un réensauvagement « classique ». (1) Le "re-" dans le terme lui-même peut être perçu comme une menace pour les non initiés. (1) Nécessite une surface relativement importante, même à l'échelle de l'exploitation. (1) Nécessite un état d'esprit et des compétences en matière de réensauvagement. (1) La surface peut être trop petite pour accueillir certaines espèces.	(2) Une seule source de revenus. (2) Difficile de s'engager avec les parties prenantes autres que les naturalistes et les experts agricoles. (1) Revenu modeste. (1) Pas d'évaluation du degré de restauration de la biodiversité. (1) Les attentes et l'enthousiasme dépassent la capacité du réseau à les gérer. (1) L'exportation à l'international peut être difficile. (1) Complexité accrue de la gestion de la production agricole.
O	(3) Les nouvelles règles en matière de subventions agricoles et les nouvelles opportunités commerciales peuvent le favoriser. (2) Intérêt des agriculteurs et des scientifiques intéressés par l'agroécologie. (1) Approche potentielle "gagnant-gagnant". (1) Tourisme environnemental.	(5) Les questions environnementales sont actuellement appréhendées par l'ensemble de la société (3) Les anciennes zones d'agriculture conventionnelle deviennent disponibles en raison d'abandons de nombreuses exploitations. (1) Tourisme environnemental. (1) Futurs agriculteurs avec plus de compétences et d'intérêts naturalistes.
T	(4) Scepticisme des populations rurales et des écologistes. (2) Compromis entre l'autosuffisance alimentaire et la préservation de la nature. (1) Viabilité économique dans un contexte concurrentiel. (1) Déplacement de la consommation de viande. (1) Approche potentiellement "perdante".	(2) Scepticisme des populations rurales. (2) Manque d'attraits pour le métier d'éleveur. (2) Partenariat et consommation réservés aux plus fervents partisans. (1) Conflits avec le modèle agricole dominant.

Tableau 3. SWOT des deux approches. (-) : nombre de co-auteurs qui ont mentionné l'élément

En comparaison, PdN peut continuer à s'appuyer sur son réseau, ses produits de haute qualité et les nouvelles surfaces agricoles disponibles tout en maintenant un revenu acceptable pour les agriculteurs. Cependant, il doit prêter attention à la manière de se développer par rapport au modèle agricole dominant et attirer davantage d'éleveurs.

Alejandre, E.M., van Bodegom, P.M. and Guinée, J.B. (2019). Towards an optimal coverage of ecosystem services in LCA. Journal of Cleaner Production 231: 714-722.

Benton, T.G., Vickery, J.A., Wilson, J.D. (2003). Farmland biodiversity: is habitat heterogeneity the key? Trends in Ecology and Evolution 18: 182-188.

Chappell M. J. and LaValle L. A. (2011). Food security and biodiversity: can we have both? An agroecological analysis. Agriculture and Human Values 28: 3-26.

Clancy, C. and Ward, K. (2020). Auto-rewilding in Post-industrial Cities: The Case of Inland Cormorants in Urban Britain. Conservation and Society 18: 126-136.

Corson, M.S., Mondière, A., Morel, L., van der Werf, H.M.G., 2022. Beyond agroecology: Agricultural rewilding, a prospect for livestock systems. Agricultural Systems 199.

Duru, M., Therond, O., Martin, G., Martin-Clouaire, R., Magne, M.A., Justes, E., Journet, E.P., Aubertot, J.N., Savary, S., Bergez, J.E. and Sarthou, J.P. (2015). How to implement biodiversity-based agriculture to enhance ecosystem services: a review. Agronomy for Sustainable Development 35: 1259-128.

Lorimer, J., Sandom, C., Jepson, P., Doughty, C., Barua, M. and Kirby, K. (2015). Rewilding: science, practice, and politics. Annual Review of Environment and Resources 40: 39-62.

***Paysans de nature* (2021).** Charte des *Paysans de nature*. Disponible sur:https://www.paysansdenature.fr/wp-content/uploads/2021/12/charte-des-paysans-de-nature.pdf. Consulté le 25/02/2021.

Sandom, C.J. and Macdonald, D.W. (2015). What next? Rewilding as a radical future for the British countryside. In: Macdonald, D.W. and Feber, R.E. (eds) Wildlife conservation on farmland volume 1: Managing for nature on lowland farms. Oxford University Press, pp. 291-316.

Taylor, P. (ed.) (2011). Rewilding: ECOS writing on wildland and conservation values. Ethos, Walton Hill, UK, 491 pp.

Therond, O., Duru, M., Roger-Estrade, J. and Richard, G. (2017). A new analytical framework of farming system and agriculture model diversities. A review. Agronomy for Sustainable Development 37.

Thomas V. (2021). Domesticating rewilding: interpreting rewilding in England's green and pleasant land. Environmental Values doi: 10.3197/096327121X16328186623841.

Tscharntke, T., Klein, A.M., Kruess, A., Steffan-Dewenter, I. and Thies, C. (2005). Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity – ecosystem service management. Ecology Letters 8: 857-874.

Empreinte carbone et énergie de la production de luzerne déshydratée, de l'implantation à la sortie de l'usine.

Carbon and energy footprint of dehydrated alfalfa production, from sowing to factory gate

THIEBEAU P., RECOUS S.
INRAE, Université de Reims Champagne Ardenne, UMR FARE, 2 Esplanade R. Garros, F-51100 Reims

INTRODUCTION

Le réchauffement climatique que nous connaissons depuis quelques années conduit à considérer le stockage de carbone réalisé par les cultures comme un élément à prendre en compte pour quantifier les impacts de l'activité agricole sur l'environnement, et un levier possible de l'atténuation de ses impacts sur le climat (Arrouays *et al*., 2002 ; Durand *et al.*, 2010). Un autre moyen d'action réside aussi dans la réduction du recours aux énergies non renouvelables (ENR).
La filière de production de luzerne déshydratée (LD), grande consommatrice d'énergie comme moyen de conservation du fourrage récolté, a engagé depuis plusieurs années des efforts pour réduire ses impacts sur l'environnement. Le bilan environnemental réalisé en 2011 montrait que le système de production approchait le point d'équilibre entre l'énergie contenue dans 1 t Matière Sèche (MS) de LD et celle consommée au cours du processus de production, du champ à la « sortie usine » (Thiébeau *et al*., 2011). Le travail présenté met à jour cette étude sur les mêmes postes d'inventaires.

1. MATERIEL ET METHODES

Les données industrielles proviennent de 4 unités de production (UP) du groupe Luzeal, collaborateur du travail réalisé en 2011. La période retenue couvre 4 années : 2016 à 2019, période 2 (P2). Elle est comparée aux résultats de l'étude précédente (2006-2009, P1). Les inventaires simplifiés « Energie » et « Carbone » (C-CO_2) sont construits comme des bilans. Les passifs comprennent : les consommations de carburants nécessaires du travail du sol au semis de la luzerne et à ses entretiens ; puis des récoltes aux transports champ-UP, et enfin, des consommations nécessaires au fonctionnement des fours (charbon, lignite, biomasses, électricité). L'actif des bilans est composé : du carbone atmosphérique fixé par la culture et stocké dans les biomasses racinaires, les collets et le fourrage récolté. L'énergie portée à l'actif des bilans est la valeur de l'Unité Fourragère Lait (UFL) en rapport avec la teneur en protéines de 18,2% observée en P2, soit : 0,77 UFL/kg MS correspondant à 5,7 GJ/t LD. In fine, les bilans « Energie » et « Carbone » comparent les données portées aux passifs à celles portées aux actifs. Cette méthode n'intègre pas les émissions potentielles vers l'atmosphère.

2. RESULTATS

L'échantillon analysé sur P2 représente une part plus importante de la production nationale de LD (29,3 ±0,5%) que celui de l'étude de P1 (16,8 ±1,7%).
En P1, il fallait près de 9,2 GJ pour produire 1 t MS de LD, alors qu'il n'en faut plus que 3,7 sur les campagnes de récolte 2018-2019. En P1, plus de 90% de cette énergie était issue d'ENR. Elle représente encore 62% de l'énergie consommée en 2018-2019. En P1, il fallait consommer en moyenne 315 kg de carbone pour produire 1 t MS de LD, dont 97% était issu d'ENR. En 2018-2019, cette quantité a été réduite à 155 kg C/t de LD, dont 62% provenait d'ENR.
Les bilans (= actifs – passifs) sont présentés par la **figure 1**. Le bilan « Energie » était déficitaire en P1. Il devient, en moyenne, à l'équilibre en P2 et est significativement excédentaire pour les années 2018 et 2019 : +1,2 GJ/t MS de LD. Le bilan « Carbone » a toujours été excédentaire, mais il s'est significativement amélioré au cours des dernières années, passant de +230 kg à +390 kg C/t MS de LD.

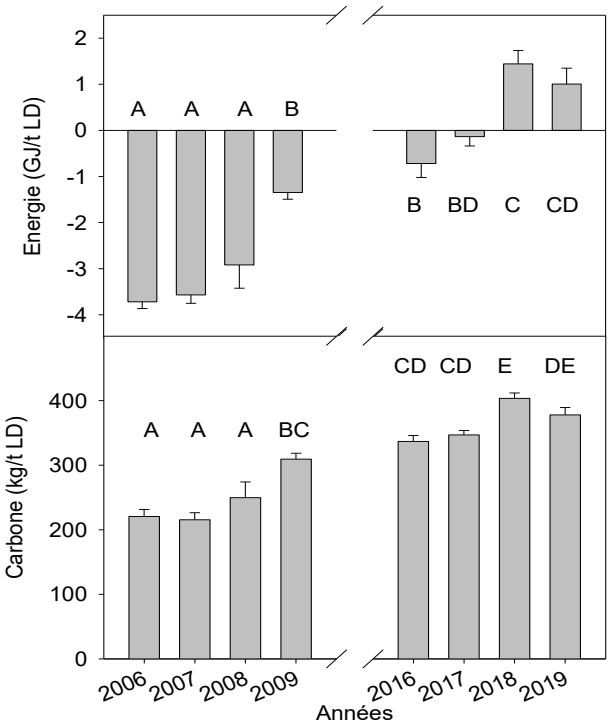


Figure 1: Dynamique des bilans énergie et carbone pour la production d'1 t de luzerne déshydratée (LD)

3. DISCUSSION

La généralisation du préfanage à plat au champ à l'ensemble des UP, la mise en œuvre de fours moins énergivores (250 vs 750°C) en capacité d'incorporer de la biomasse comme source d'énergie, ont favorisé ces améliorations significatives. La poursuite du renouvellement de l'outil industriel doit permettre de poursuivre l'amélioration des performances constatées. L'introduction de ces données dans Agribalyse/EcoAlim v8, outils d'Analyse de Cycle de Vie comprenant la fabrication et le transport des engrais, pesticides et semences jusqu'à la ferme, montre une réduction de 57% de l'impact de la filière LD sur le critère Changement Climatique : il passe de 1,150 en P1 à 0,494 kg équivalent (eq.) CO_2/kg MS de LD en P2. Ce dernier résultat est lui-même inférieur de 10% à l'impact du tourteau de soja Brésilien non associé à de la déforestation : 0,541 kg eq. CO_2/kg tourteau à 13% d'humidité (J. Auberger, communication personnelle).

CONCLUSION

L'empreinte environnementale de la filière s'est améliorée entre les deux périodes étudiées, et des marges de progression existent encore.

Nous remercions T. Hamerel, directeur général du groupe Luzeal, pour la production des données de cette étude.

Arrouays *et al*., 2002. Stocker du carbone dans les sols agricoles de France? Synth. Expertise Coll. INRAE Eds, 321p.
Durand *et al*., 2010. Changement climatique et prairies : l'essentiel des impacts. ADEME Eds, 336p.
Thiébeau *et al*., 2011. Renc. Rech. Ruminants, 18, 157-160