

Efficiences 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 efficacité d'utilisation de l'azote (49% en moyenne). Les émissions brutes de gaz à effet de serre en équivalent CO₂ 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 CO₂-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 multispécies 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,

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 <i>et al.</i> , 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

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 CO₂ 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 CO₂, 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 eqCO₂ / 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 eqCO₂. 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).

2. RÉSULTATS

2.1. BILAN APPARENT DE L'AZOTE

Le bilan apparent en N est très peu excédentaire avec des pertes annuelles 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
<i>dont fermentation entérique</i>	<i>0,54</i>	<i>0,49</i>	<i>0,48</i>	<i>0,47</i>	<i>0,57</i>	<i>0,51</i>
<i>dont aliments achetés</i>	<i>0,02</i>	<i>0,01</i>	<i>0,03</i>	<i>0,03</i>	<i>0,06</i>	<i>0,10</i>
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 CO₂ (éqCO₂) 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 CO₂ 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 éqCO₂ 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 efficacité 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 CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ 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.