

## CAFE METABIO du 17 Avril 2026

### ➤ Circularité de l'azote et besoins énergétiques de fermes en agriculture biologique situées en Bretagne : enseignements d'une analyse de terrain

Quentin Bellanger<sup>1</sup>, Fabrice Beline<sup>1</sup>, Aurélie Wilfart<sup>1</sup>, Fanny Vergely<sup>1</sup>, George Maillard<sup>2</sup>, Yann Evenat<sup>3</sup>, Niels Bize<sup>4</sup>, Souhil Harchaoui<sup>1</sup>

<sup>1</sup> UMR SAS, Institut Agro Rennes, Rennes

<sup>2</sup> Groupement d'agriculteur biologique 22, Plérin

<sup>3</sup> Groupement d'agriculteur biologique 29, Daoulas

<sup>4</sup> Fédération Régionale des Agrobiologistes de Bretagne, Cesson Sévigné

## ➤ Plan de l'animation

- 1. Contexte et enjeux
- 2. Méthodes
- 3. Résultats
- 4. Discussion et perspectives



## ➤ 1. Contexte et enjeux

- Développement de l'agriculture biologique (AB) impulsé par l'UE (UE, 2020).
- Le développement de l'AB est limité par la disponibilité de l'azote (N) (Barbieri et al., 2021) et passe par un meilleur bouclage des cycles biogéochimiques (Billen et al., 2021) → mieux renseigner les pratiques de fertilisation des exploitations agricoles (EA)
- L'un des principes de l'AB sur la réduction de la consommation d'énergies fossiles est peu renseigné dans la littérature (Pimentel et Pimentel, 2007)



## ➤ 1. Contexte et enjeux

- Peu de connaissances sur le fonctionnement de l'azote à l'échelle des fermes, couplé aux besoins en énergie, et sur les interactions entre fermes (Chmelíková et al., [2021](#))
- Deux questions de recherche:
  1. Quels sont les flux de matières au sein des fermes en AB en Bretagne ?
  2. Quelles sont les quantités d'énergie nécessaires au fonctionnement des fermes en AB ?



**Comprendre le fonctionnement N-énergie des EA en AB**

## ➤ 2. Méthodes

### Un travail d'enquête sur 8 EA

➤ SAU: 47.1ha

➤ Ferti : litière accumulée porc, déjections porc et brebis



➤ SAU: 29.9ha

➤ Ferti : production fumier bovin, déjections



➤ SAU: 11.3ha

➤ Ferti : compost et broyat déchets verts, tourteau ricin (40t/an)



➤ SAU: 40ha

➤ Ferti : Fumier ovins, déjections



➤ SAU: 0.6ha

➤ Ferti : feuilles, foin (2.8t/an); couverts vgtx



➤ SAU: 44.5ha

➤ Ferti : import fumier volaille et bovins (130t/an)



- ◆ Polyculture élevage
- Céréaliier
- Maraichage

➤ SAU: 0.7ha

➤ Ferti : Couverts vgtx, compost et broyat déchet vert (7t/an)



➤ SAU: 47.1ha

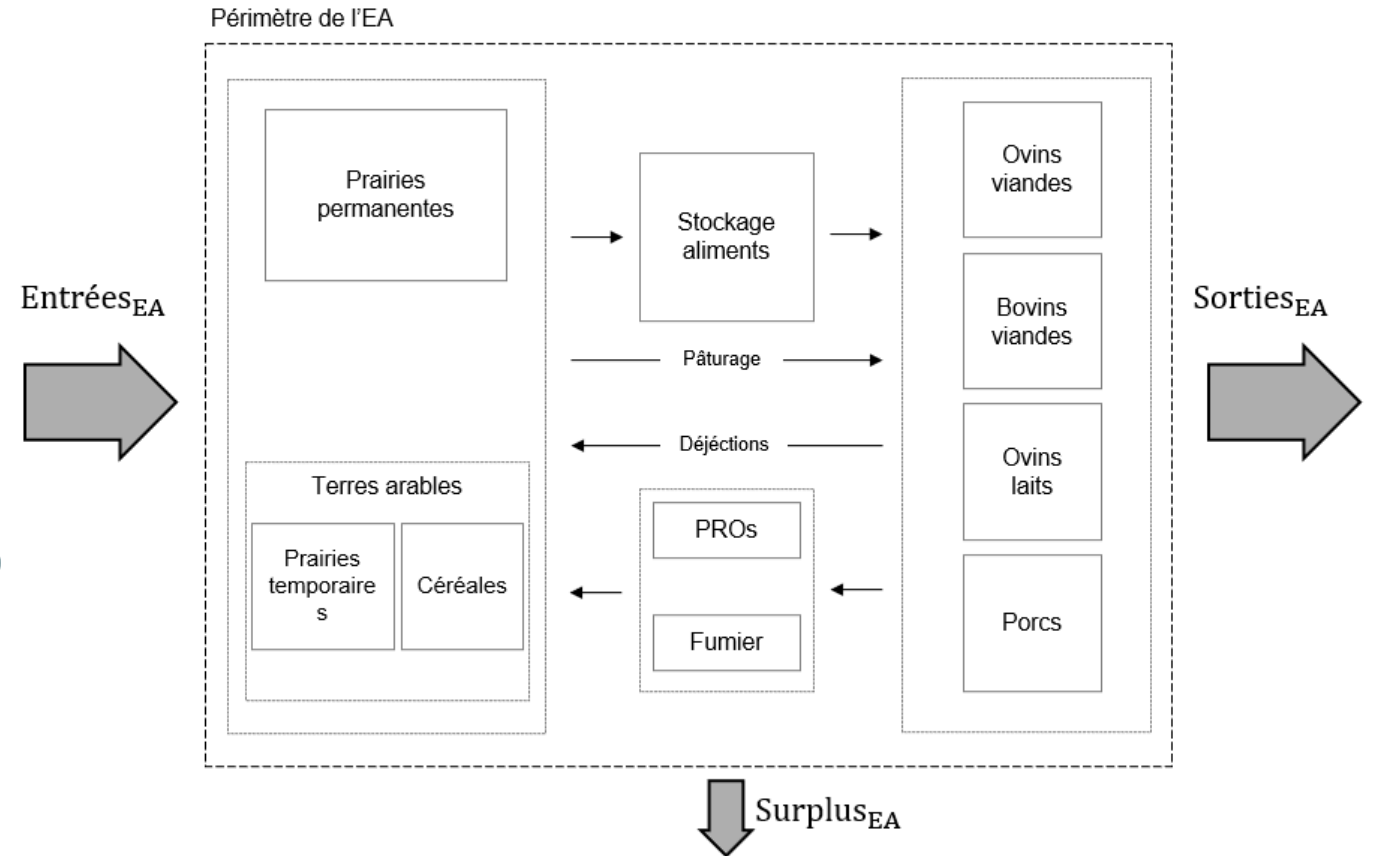
➤ Ferti : Fumier bovins, déjections



## ➤ 2. Méthodes

### Conceptualisation

- Périmètre de l'étude → SAU
- Compartimentation des ateliers productifs et de stockage
- Analyse des flux de matières annuels : flux externes et internes d'N ( $\text{Kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ )
- Hypothèse: Pas de changement de stock d'N annuel



## ➤ 2. Méthodes

### Implémentation

**Dep. Atm. :**

12 kg N·ha<sup>-1</sup>·an<sup>-1</sup> (FAO, 2023)

**Fix. Symb. :**

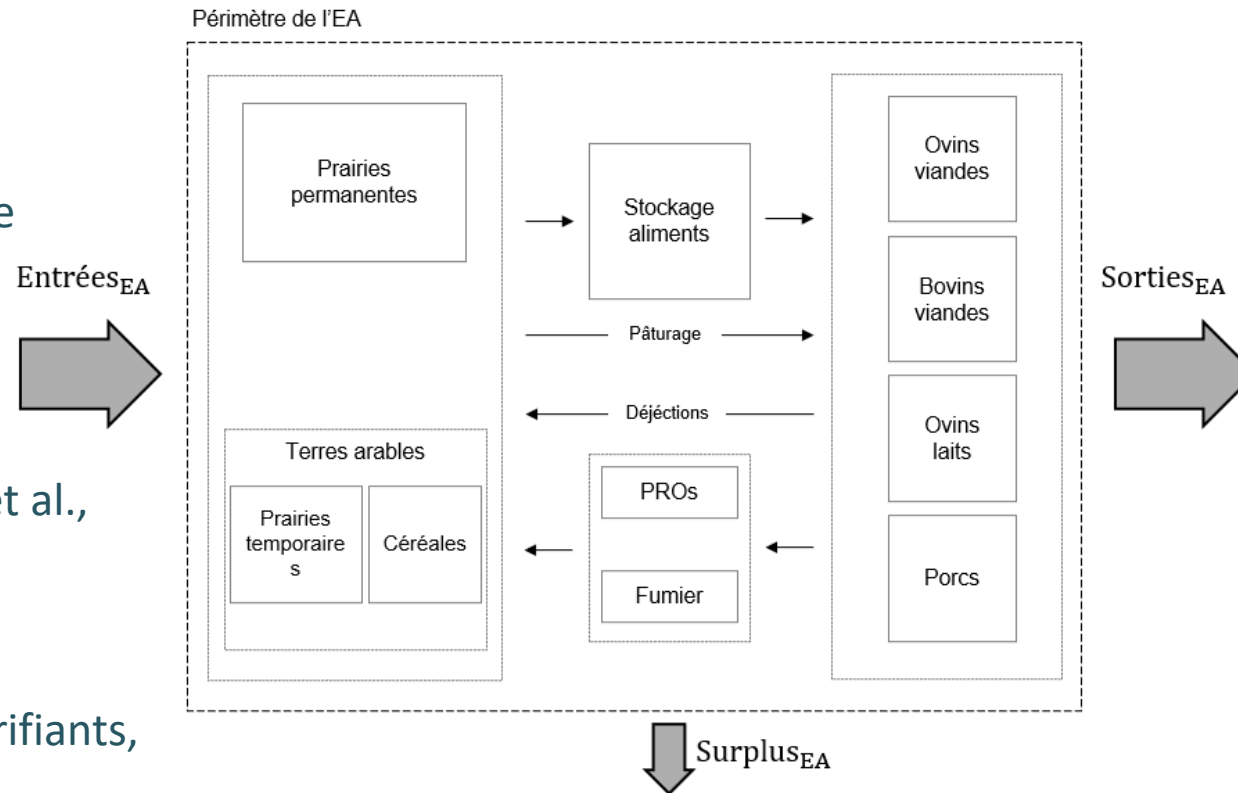
- Anglade et al. (2015)
- PP et PT : % leg X ha X coeff. de fixation

**N produits importés :**

Coeff. X quantité  
(Lassaletta et al., 2014; Agabriel et al., 2007...)

**Energie :**

- Directe (électricité, diesel, lubrifiants, ETA, transport) (Agribalyse)
- Humaine (Fluck, 1992)



**N produits exportés :**  
Coeff. X quantité  
(Lassaletta et al., 2014;  
Agabriel et al., 2007...)

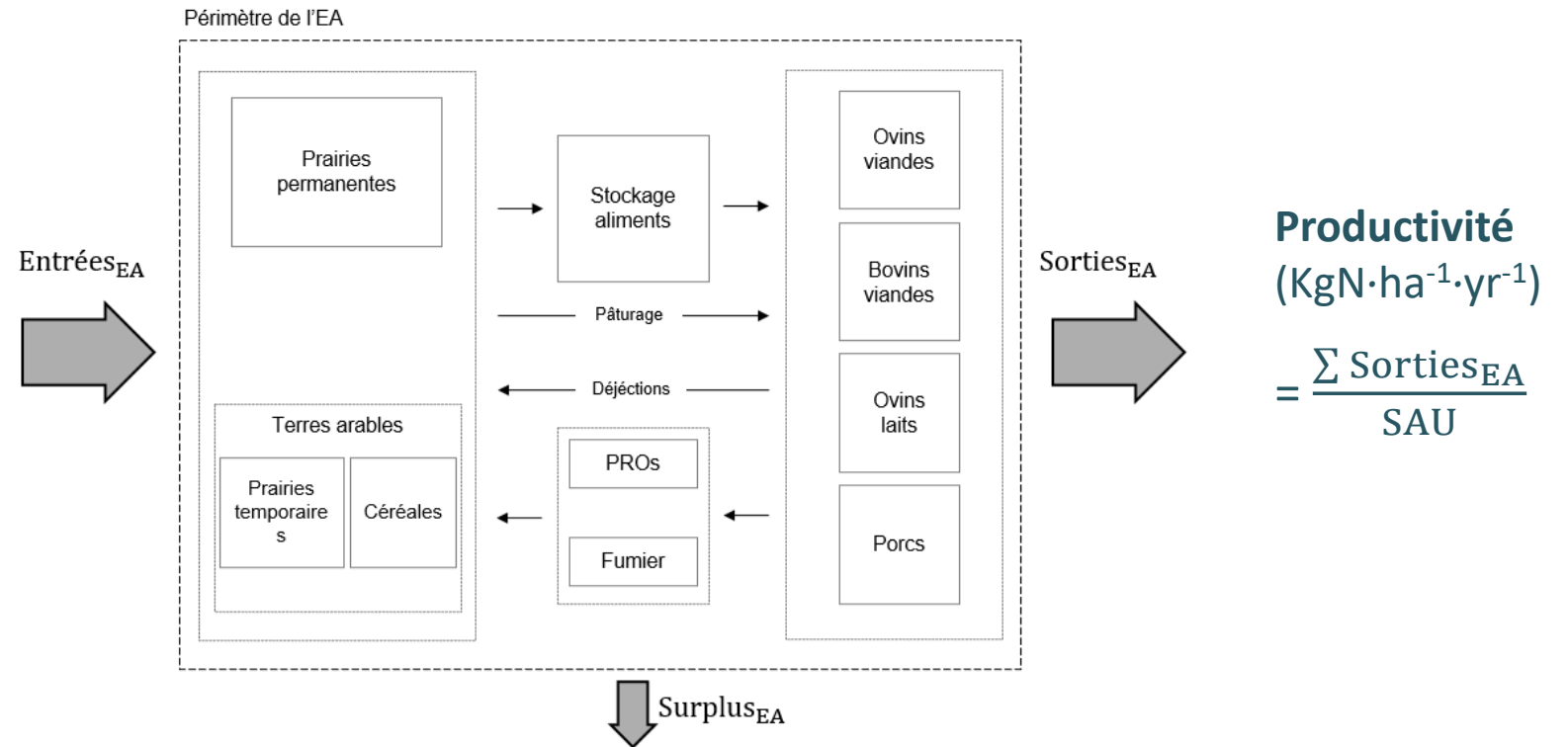
## ➤ 2. Méthodes

Indicateurs agronomiques, d'autonomies, d'efficacités et d'énergie

$$\text{Entrées (Kg N}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}) = \frac{\sum \text{Entrées}_{EA}}{\text{SAU}}$$

$$\text{Autonomie (\%)} = \frac{(\text{Dep.atm.} + \text{fix.symb.})}{\text{Entrées}_{EA}}$$

$$\text{Energie investie (GJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}) = \frac{(\text{Directe} + \text{Humaine})}{\text{SAU}}$$



$$\text{Surplus (KgN}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}) = \frac{\text{Entrées}_{EA} - \text{Sorties}_{EA}}{\text{SAU}}$$

$$\text{Efficience d'utilisation d'N (\%)} = \frac{\text{Sorties}_{EA}}{\text{Entrées}_{EA}}$$



**INRAE**

Circularité de l'azote et énergie en AB  
17 avril 2026 / CAFE METABIO / Bellanger Q.

## ➤ 2. Méthodes

### Indicateurs de circularité

Matrice	$H_1$	$H_2$	$H_3$	$H_4$	$H_5$	sorties	surplus
entrée	$Z_{01}$	$Z_{02}$	$Z_{03}$	$Z_{04}$	$Z_{05}$	0	0
$H_1$	0	$f_{12}$	$f_{13}$	$f_{14}$	$f_{15}$	$e_{10}$	$r_{10}$
$H_2$	$f_{21}$	0	$f_{23}$	$f_{24}$	$f_{25}$	$e_{20}$	$r_{20}$
$H_3$	$f_{31}$	$f_{32}$	0	$f_{34}$	$f_{35}$	$e_{30}$	$r_{30}$
$H_4$	$f_{41}$	$f_{42}$	$f_{43}$	0	$f_{45}$	$e_{40}$	$r_{40}$
$H_5$	$f_{51}$	$f_{52}$	$f_{53}$	$f_{54}$	0	$e_{50}$	$r_{50}$

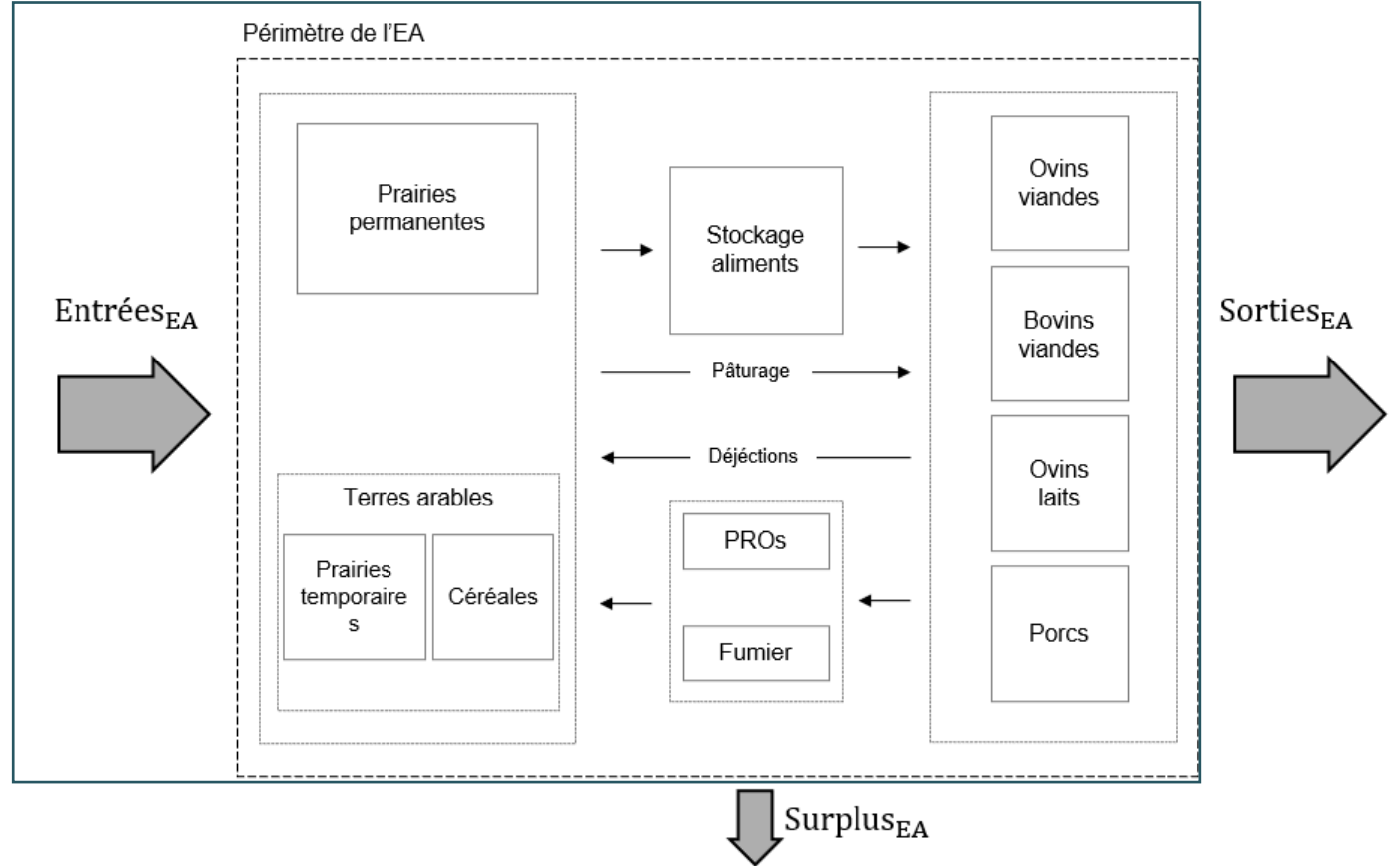
Ti  
REi

TT : Total internal activity

TST : Total System Throughflow

TSTc : Efficience de recyclage relative

TSTc = Ti + REi



$$ICR, \% = \frac{TT}{TST}$$

$$FCI = \frac{TSTc}{TST}$$



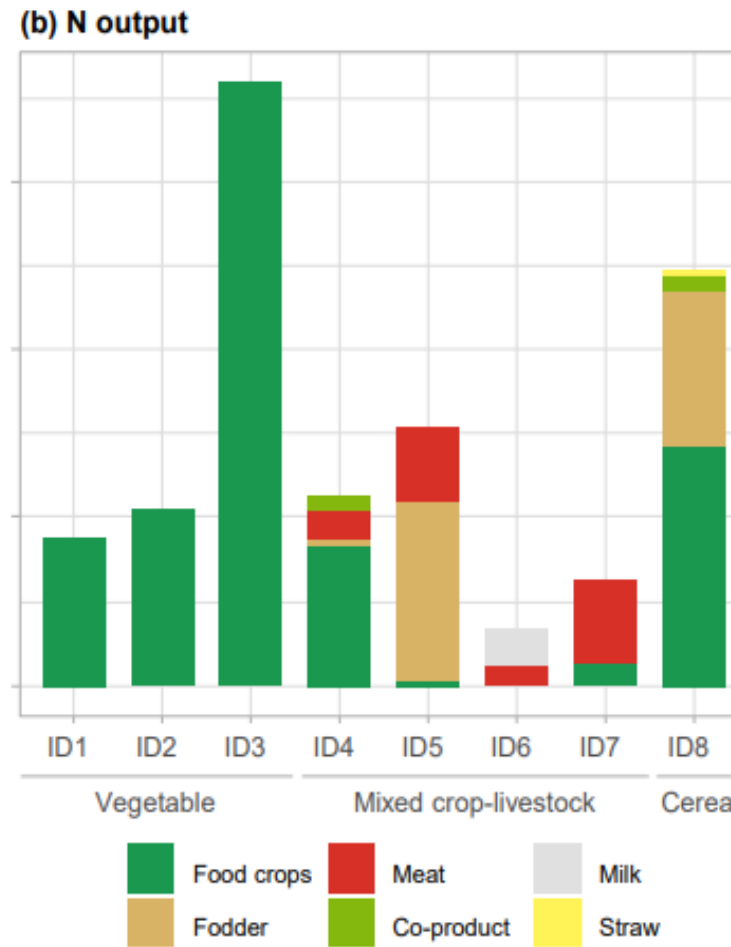
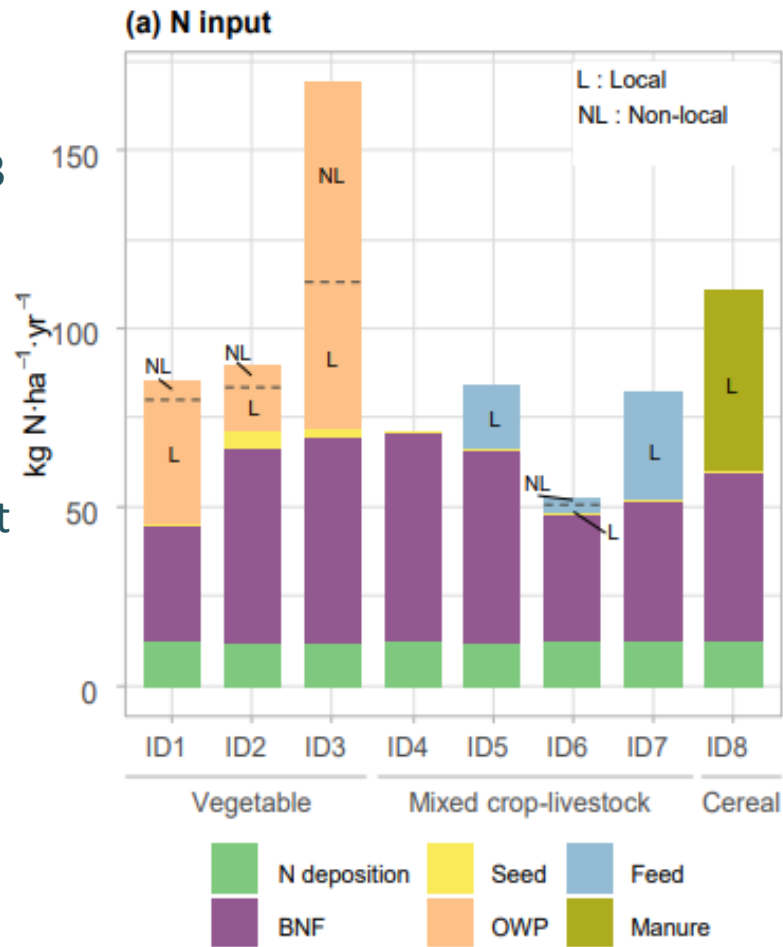
INRAE

Circularité de l'azote et énergie en AB  
17 avril 2026 / CAFE METABIO / Bellanger Q.

# ➤ 3. Résultats

## Indicateurs azote : bilan

- Entrées variant de 53 à 169 kg N·ha<sup>-1</sup>·an<sup>-1</sup>
- BNF : 35% à 85% des entrées de N
- L'appro de N provient à 70% d'un rayon < 50km de l'EA



- Sorties variant de 10 à 108 kg N·ha<sup>-1</sup>·an<sup>-1</sup>
- Mraichages : des EA plus productives
- Polyculture poly-élevage : des sorties plus diversifiées



## ➤ 3. Résultats

Indicateurs azote : efficacité et autonomie

- Des surplus d’N 1.3x supérieurs aux autres EA

- Une NUE faible, due à la faible conversion d’N des ateliers d’élevage

- Une autonomie élevée grâce à des échanges de matière entre EA et industrie agro-alimentaires

indicateur	Unité	Maraichage			Polyculture poly-élevage				Céréale
		ID1	ID2	ID3	ID4	ID5	ID6	ID7	ID8
<b>Surplus<sub>EA</sub></b>	Kg·N·ha <sup>-1</sup>	59	58	61	37	37	42	63	37
<b>NUE<sub>EA</sub></b>	%	31	35	64	48	55	19	23	67
<b>Autonomie<sub>EA</sub></b>	%	52	74	41	100	79	91	63	54
<b>Autonomie<sub>locale</sub></b>	%	95	84	65	100	100	97	100	100



INRAE

Circularité de l’azote et énergie en AB  
17 avril 2026 / CAFE METABIO / Bellanger Q.

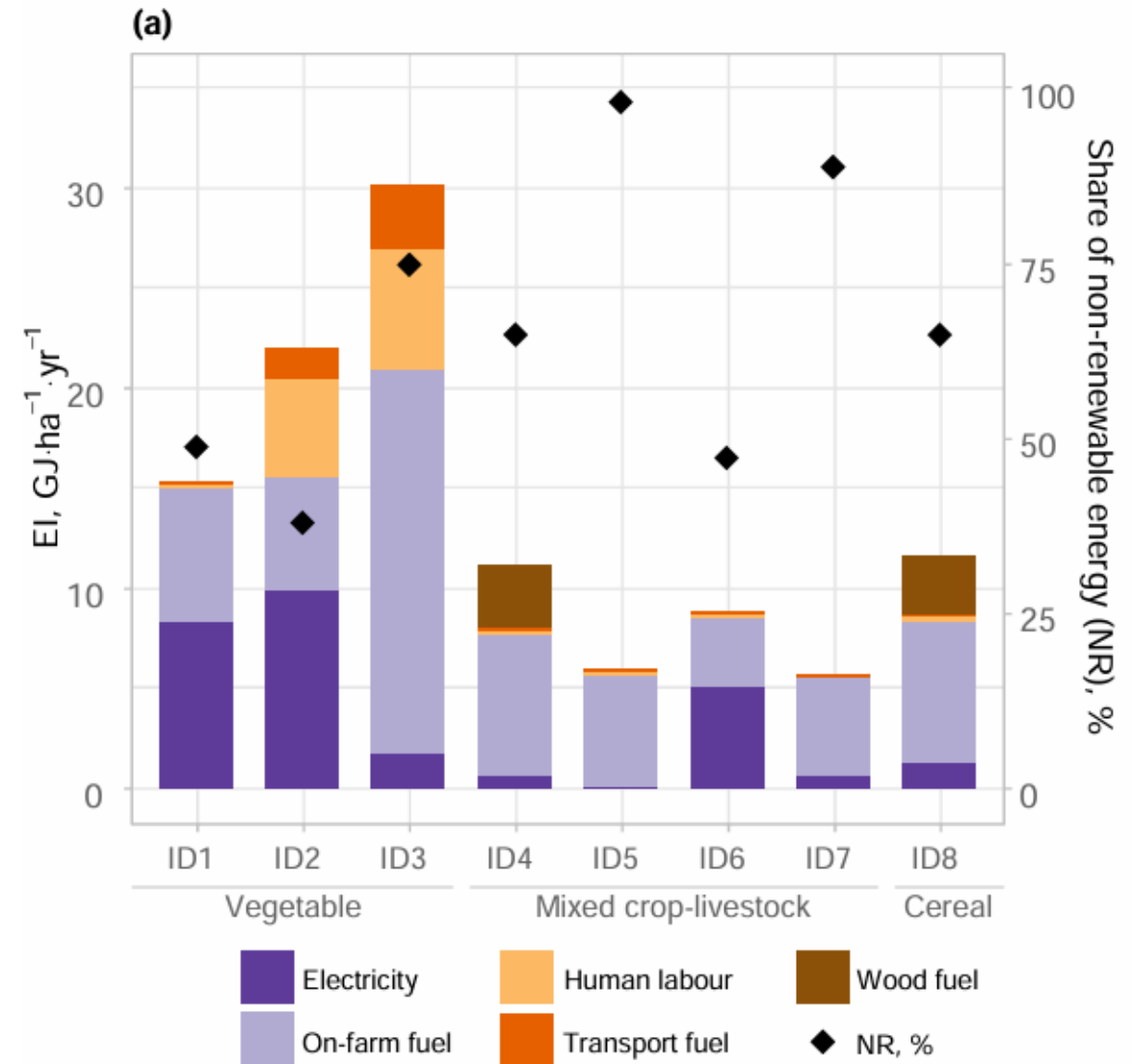
Source: (Bellanger et al. [2025a](#))

p. 11

## ➤ 3. Résultats

### Indicateurs d'énergie

- L'énergie directe investie varie entre 6 et 30  $\text{GJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$
- Polyculture-élevage ( $8 \text{ GJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$ ) < Céréaliers ( $13 \text{ GJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$ ) < Maraichers ( $22 \text{ GJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$ )
- Le travail humain → 2% à 20% de l'énergie investie
- La part d'énergie non renouvelable est plus faible dans les EA consommant (i) de l'électricité et (ii) du bois



# 3. Résultats

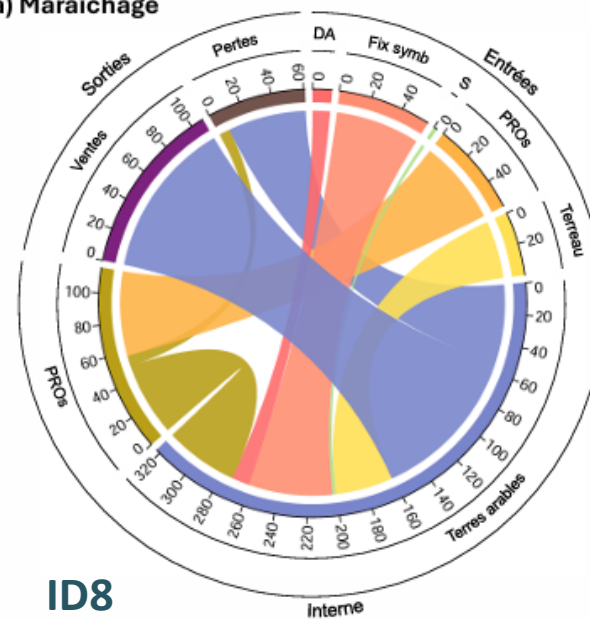
## Indicateurs de circularité

Indicateur	Unité	Maraichage			Polyculture poly-élevage				Céréale
		ID1	ID2	ID3	ID4	ID5	ID6	ID7	ID8
FCI	-	0	0	0	0.40	0.45	0.53	0.53	0
ICR	%	29	0	41	72	66	85	77	29

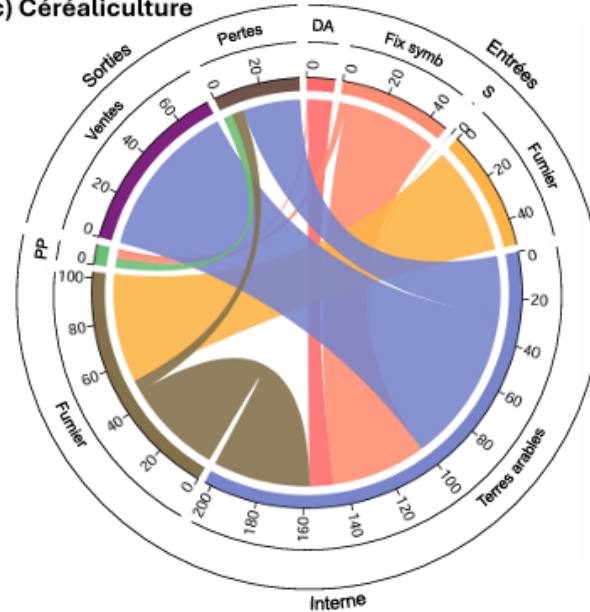


Un FCI de 0 pour les maraichers et céréalier car la quantité d'azote circulant dans l'EA ne contribue pas assez à la circularité de l'ensemble des flux

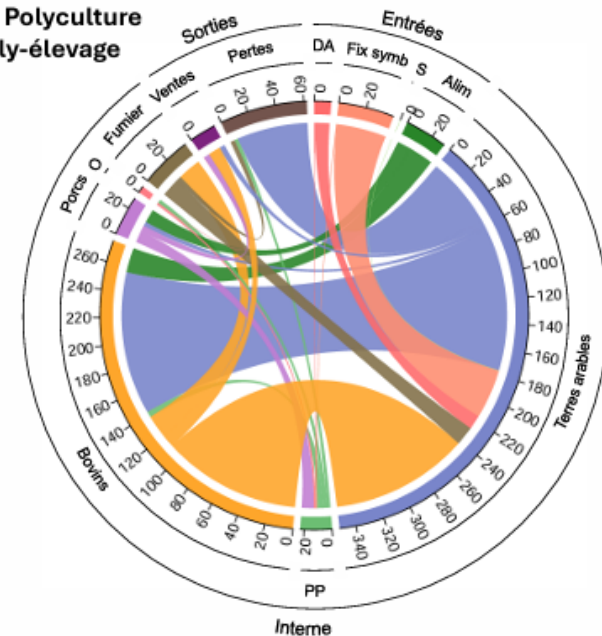
**ID3**  
(a) Maraichage



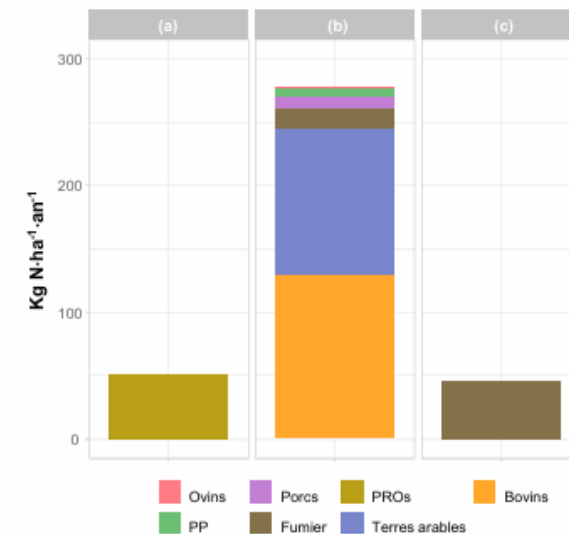
**ID8**  
(c) Céréaliculture



**ID7**  
(b) Polyculture poly-élevage



(d)



INRAE

Circularité de l'azote et énergie en AB  
17 avril 2026 / CAFE METABIO / Bellanger Q.

## ➤ 4. Discussion et perspectives

### Meta-analysis of nutrient budgets in organic farms across Europe

Marie Reimer  · Kurt Möller  ·  
Tobias Edward Hartmann 



- Des résultats conformes à Reimer et al. (2020) sur d'autres pays de l'UE

Typologies	entrées <sub>farm</sub> (Kg N·ha <sup>-1</sup> ·yr <sup>-1</sup> )	Prod <sub>farm</sub> (Kg N·ha <sup>-1</sup> ·yr <sup>-1</sup> )	Surplus <sub>farm</sub> (Kg N·ha <sup>-1</sup> ·yr <sup>-1</sup> )	NUE <sub>farm</sub> (%)
Maraîchage	178 – 515 (448)	84 – 285 (195)	89 – 230 (253)	19 – 75 (49)
Maraîchage*	<b>85 – 169 (115)</b>	<b>26 – 108 (55)</b>	<b>58 – 61 (59)</b>	<b>32% - 64% (43)</b>
Polyculture poly- élevage	15 – 95 (70)	15 – 27 (20)	-12 – 78 (50)	18 – 183 (61)
Polyculture-poly- élevage*	<b>52.6 – 83.3 (72)</b>	<b>10.2 – 46.1 (27)</b>	<b>36.7 – 63.1 (45)</b>	<b>19% – 55% (36)</b>
Céréales	91 – 245 (154)	73 – 195 (131)	-35 – 50 (23)	70 – 138 (91)
<b>Céréales*</b>	<b>111.3</b>	<b>74.7</b>	<b>36.6</b>	<b>67%</b>

Min – Max (Moyenne)

\* Résultats de cette étude

- EA maraîchères moins productives mais autant efficaces
- EA polyculture poly-élevage moins efficaces
- EA céréalières moins productives et moins efficaces



INRAE

Circularité de l'azote et énergie en AB  
17 avril 2026 / CAFE METABIO / Bellanger Q.

## ➤ 4. Discussion et perspectives

- Mieux intégrer la dynamique du N des sols et la temporalité dans les approches de bilan de flux N, P notamment pour rendre compte de l'impact des aléas climatiques
- Développer des outils génériques pour rendre compte de la circularité de l'N et de l'énergie en AB pour mieux accompagner son développement territorial: passage de l'échelle EA à l'échelle territorial (projet DESCALÉ)
- Spatialiser les flux d'échange de matière des EA en AB dans un territoire pour plus de circularité et consolider les synergies entre collectivités et acteurs privés



## ➤ Conclusion

- Une diversité de pilotage de la fertilisation de l'N, influençant les besoins en énergie et des EA qui tirent avantage des ressources locales de nutriments (fertilisation et alimentation)
- Analyser conjointement les flux d'échanges en nutriments et les consommations en énergie
- Développer et accompagner les circuits courts pour limiter les dépendances en énergies fossiles des EA
- Le développement d'autres infrastructures (e.g. méthanisation) pourrait capter les gisements de matières et concurrencer les approvisionnements des EA

## ➤ Merci pour votre attention



Nous remercions vivement tous les agriculteurs et agricultrices  
enquêtés et les partenaires du réseau GAB-FRAB

- Quentin Bellanger : [quentinbellanger@agrocampus-ouest.fr](mailto:quentinbellanger@agrocampus-ouest.fr)
- Souhil Harchaoui : [souhil.harchaoui@inrae.fr](mailto:souhil.harchaoui@inrae.fr)
- Bellanger, Q., Beline, F., Wilfart, A., Vergely, F., Maillard, G., Evenat, Y., ... & Harchaoui, S. (2025a). Exploring nitrogen-flow networks and energy performance of contrasting organic farms. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 130(1), 111-127. <https://doi.org/10.1007/s10705-024-10384-3>
- Bellanger, Q., Beline, F., Wilfart, A., Vergely, F., Maillard, G., Evenat, Y., ... & Harchaoui, S. (2025b). Circularité de l'azote et besoins énergétiques de fermes en agriculture biologique situées en Bretagne: enseignements d'une analyse de terrain. *Innovations Agronomiques*, 106, 42-53. <https://doi.org/10.17180/ciag-2025-vol106-art04>

Financements: Circul'AB, Région Bretagne – Recherche et Société 2021  
et INRAE METABIO – inTAB (2022-2024)