

MétaMétha

➤ Restitution du projet MétaMétha

Impacts de l'introduction de la méthanisation
à la ferme sur les bilans C et N de la fertilisation des
cultures : résultats de 3 ans de mesures

Antoine Savoie¹, Victor Moinard², Catherine Pasquier³, Sabine Houot²

(1) INRAE UEPAO, 37380 Nouzilly ; (2) INRAE ECOSYS, 78850 Grignon ; (3) INRAE UR Sols, 45000 Orléans



1. Présentation du projet MétaMétha
2. Résultats agronomiques
3. Cycle de l'azote à l'échelle de la parcelle
4. Vers une évaluation environnementale

A l'origine du projet...

Le site INRA de Nouzilly



Un historique d'utilisation des effluents d'élevage

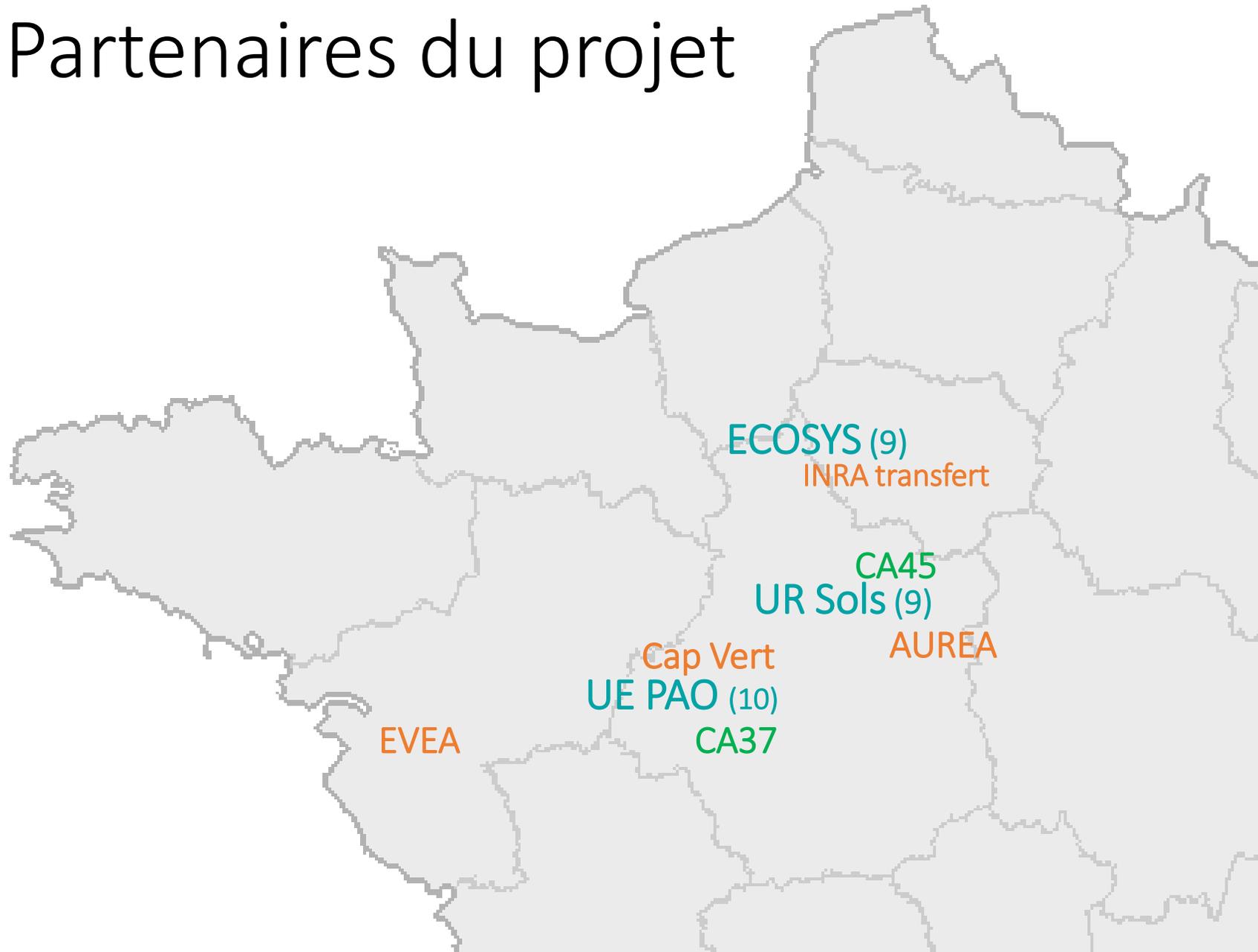
Site d'expérimentation INRA et Chambre d'agriculture

Montage d'un projet de méthaniseur sur le site (2008 à 2014)

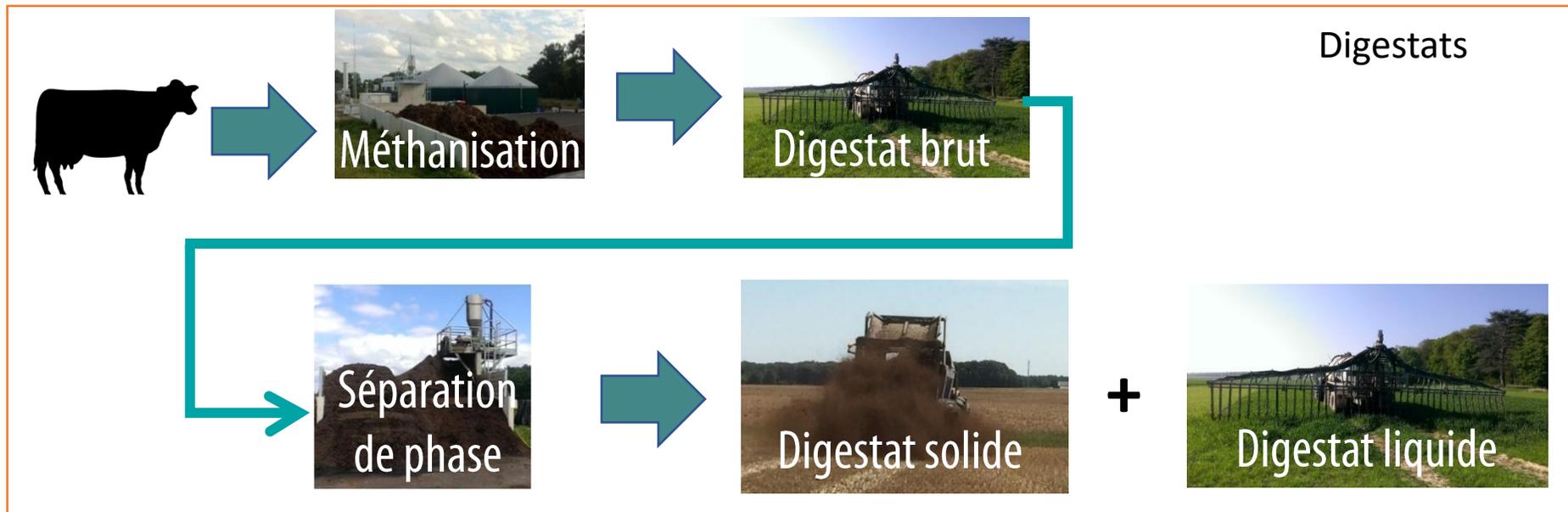
Montage du projet avec les partenaires => MétaMétha (APR2016)



Partenaires du projet



➤ 3 stratégies de gestion des effluents



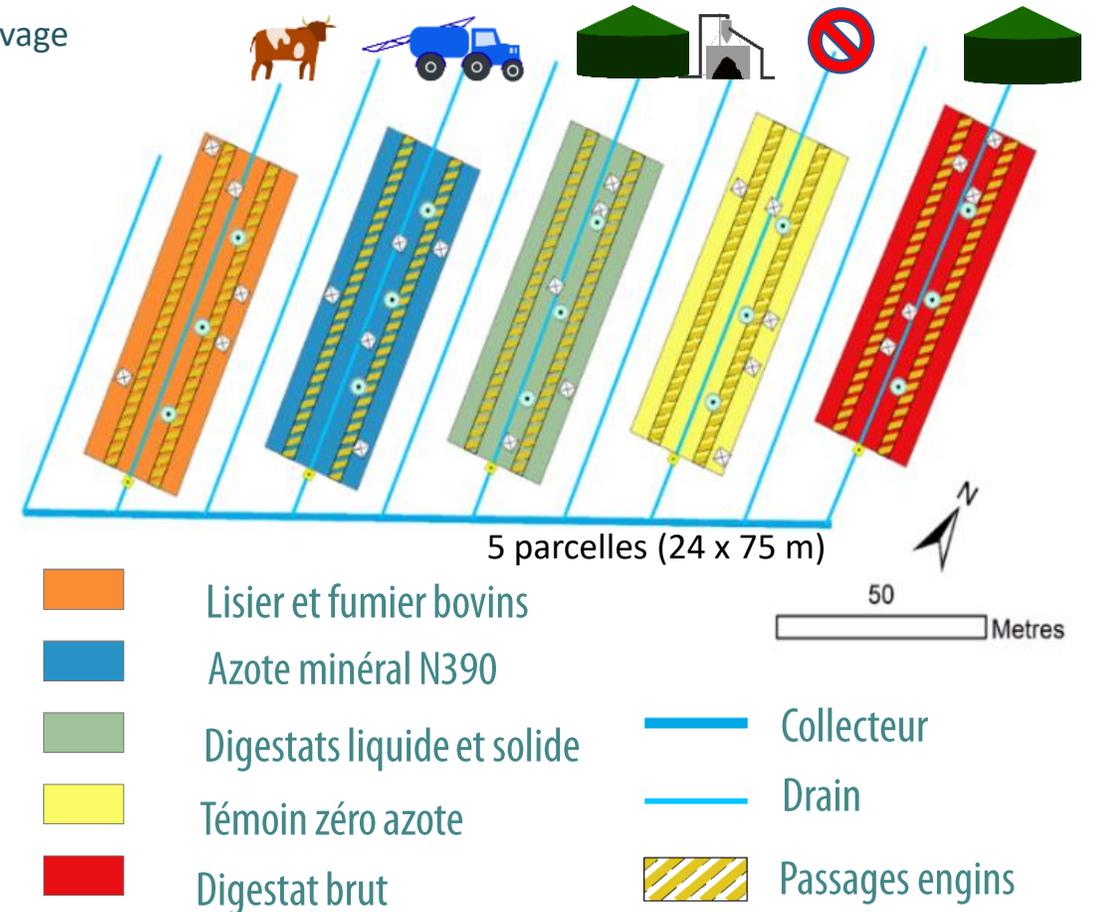
Solution azotée

(Témoin)

Le dispositif expérimental

Etude de l'arrivée de la méthanisation dans une exploitation en polycultures-élevage
Echelle parcelle : tenir compte des contraintes agricoles

Systèmes	Fertilisation	Amendement
Elevage bovin	Lisier	Fumier
Grande culture	Solution N390*	/
Elevage bovin + méthaniseur avec séparation de phase	Digestat liquide	Digestat Solide
Témoin 0 azote	/	/
Elevage bovin + méthaniseur	Digestat brut	Digestat brut

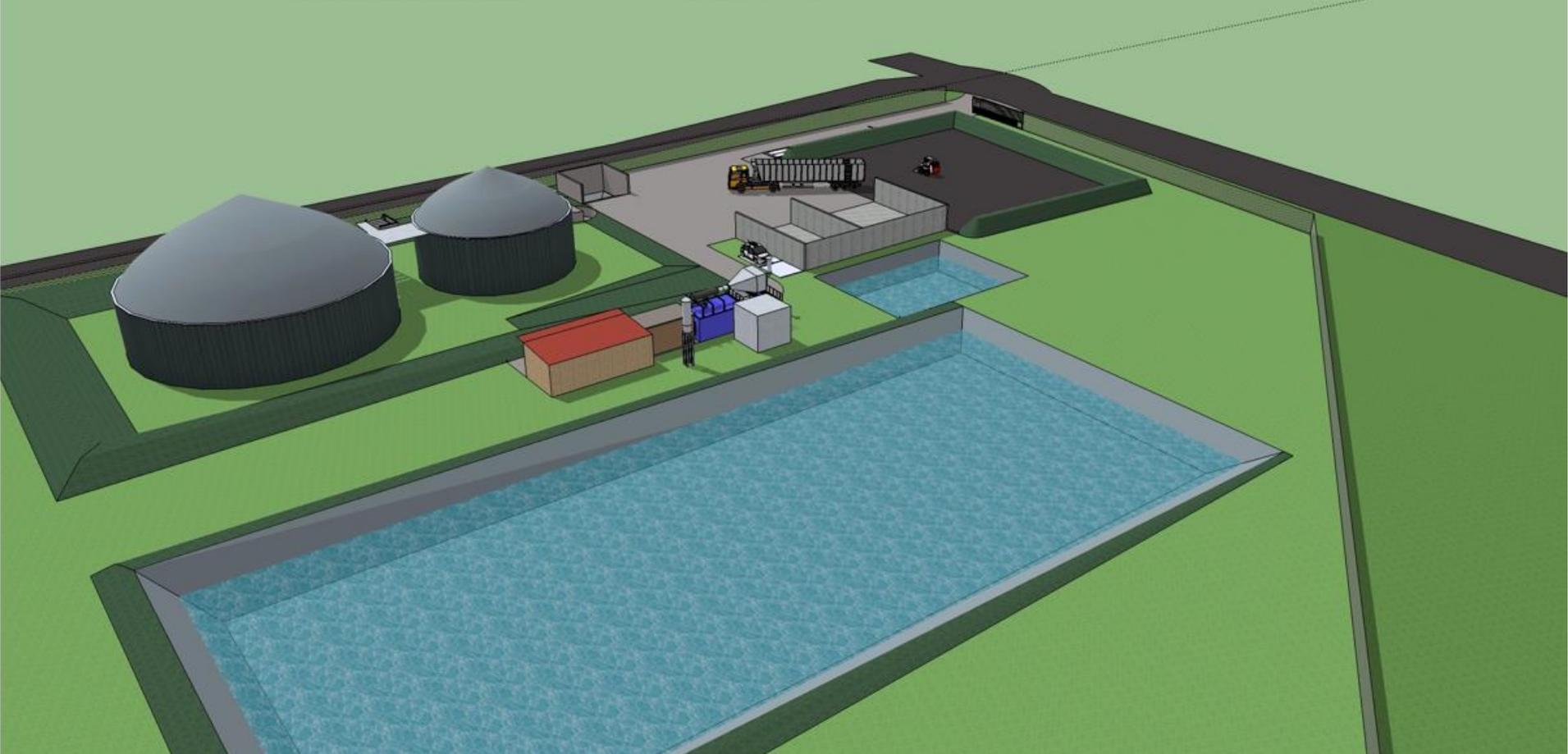


* 39 u N pour 100L, 30% d'azote (N) dont :

- 07,3 % Ne Nitrique,
- 07,3 % Azote Ammoniacal,
- 15,4 % Azote Uréique.







➤ Le Méthaniseur

Voie humide mésophile

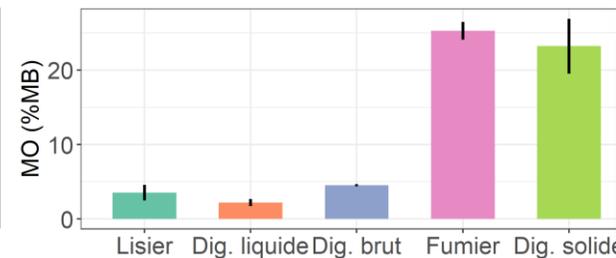
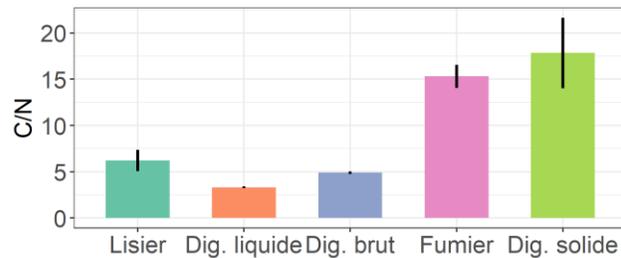
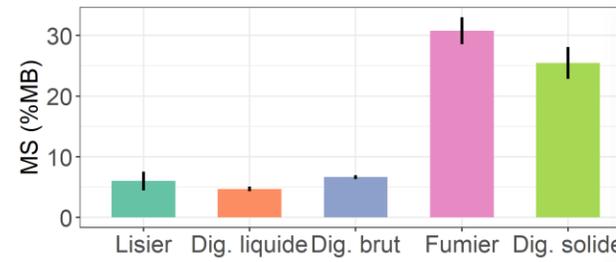
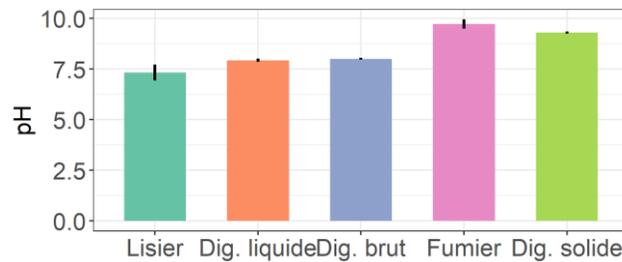
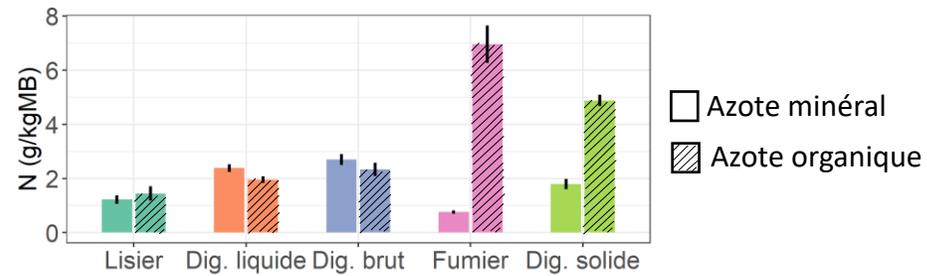
250 kW élec. et 220 kW therm.

Intrants : 12 000t/an : Effluents d'élevage, Boues de STEP, Déchets IAA



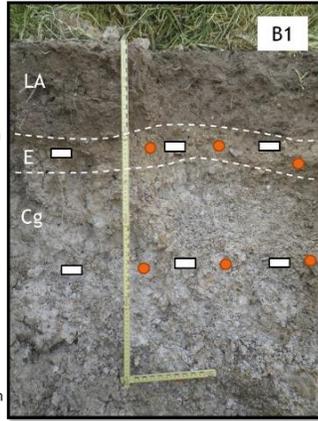
Presse à vis

Les PRO



Flux azotés mesurés au champ

Reliquats N



N exporté



Protoxyde d'azote



Nitrates



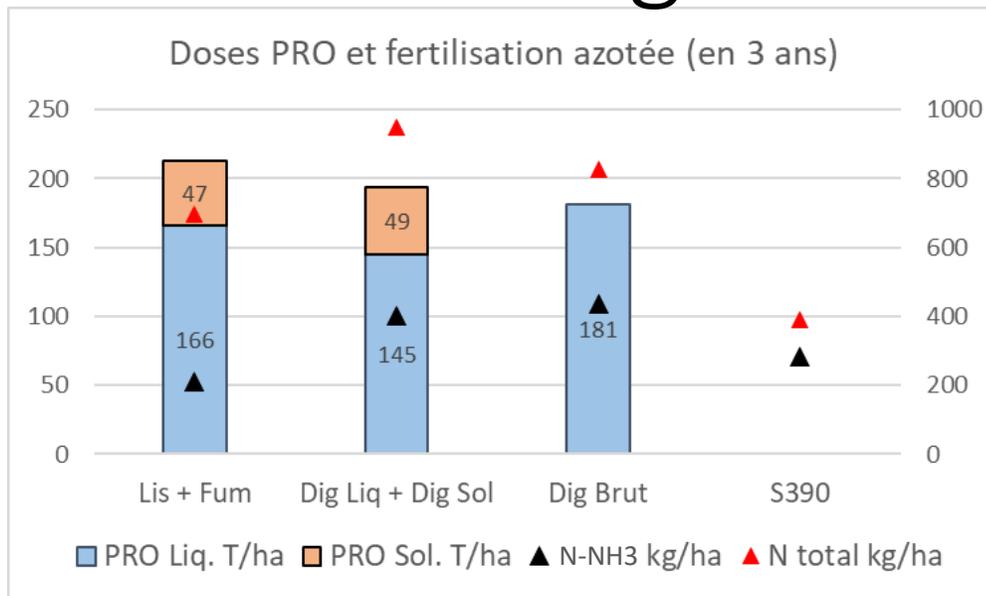
Ammoniac



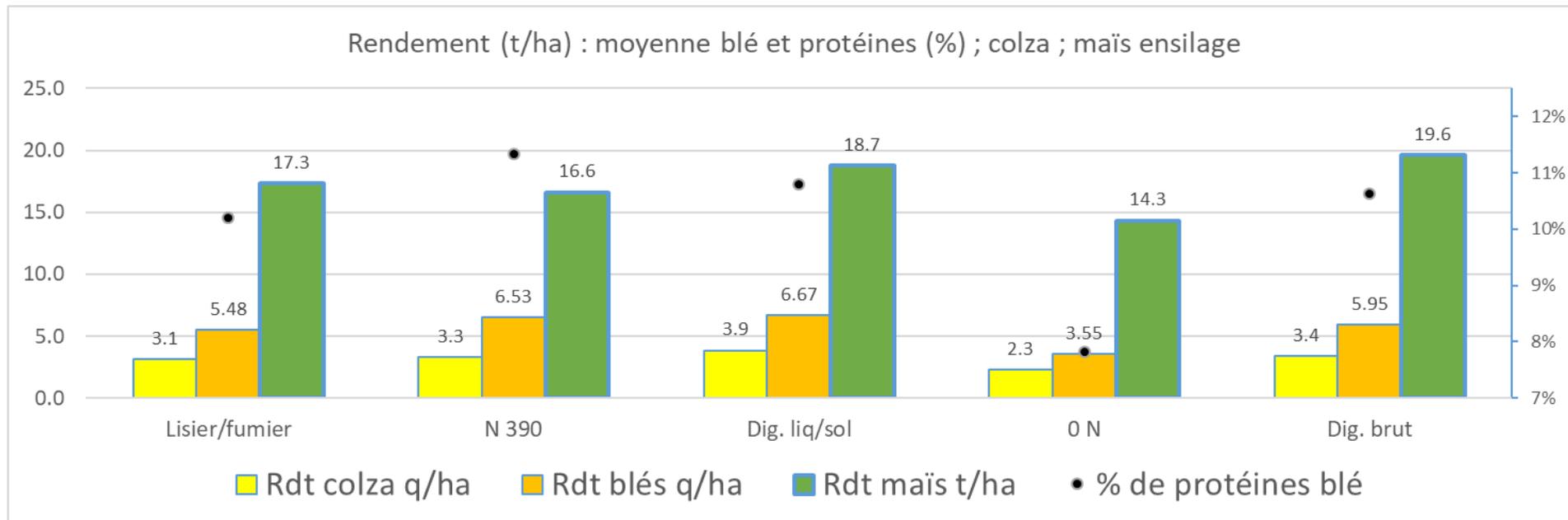


1. Présentation du projet MétaMétha
2. Résultats agronomiques
3. Cycle de l'azote à l'échelle de la parcelle
4. Vers une évaluation environnementale

Résultats agronomiques

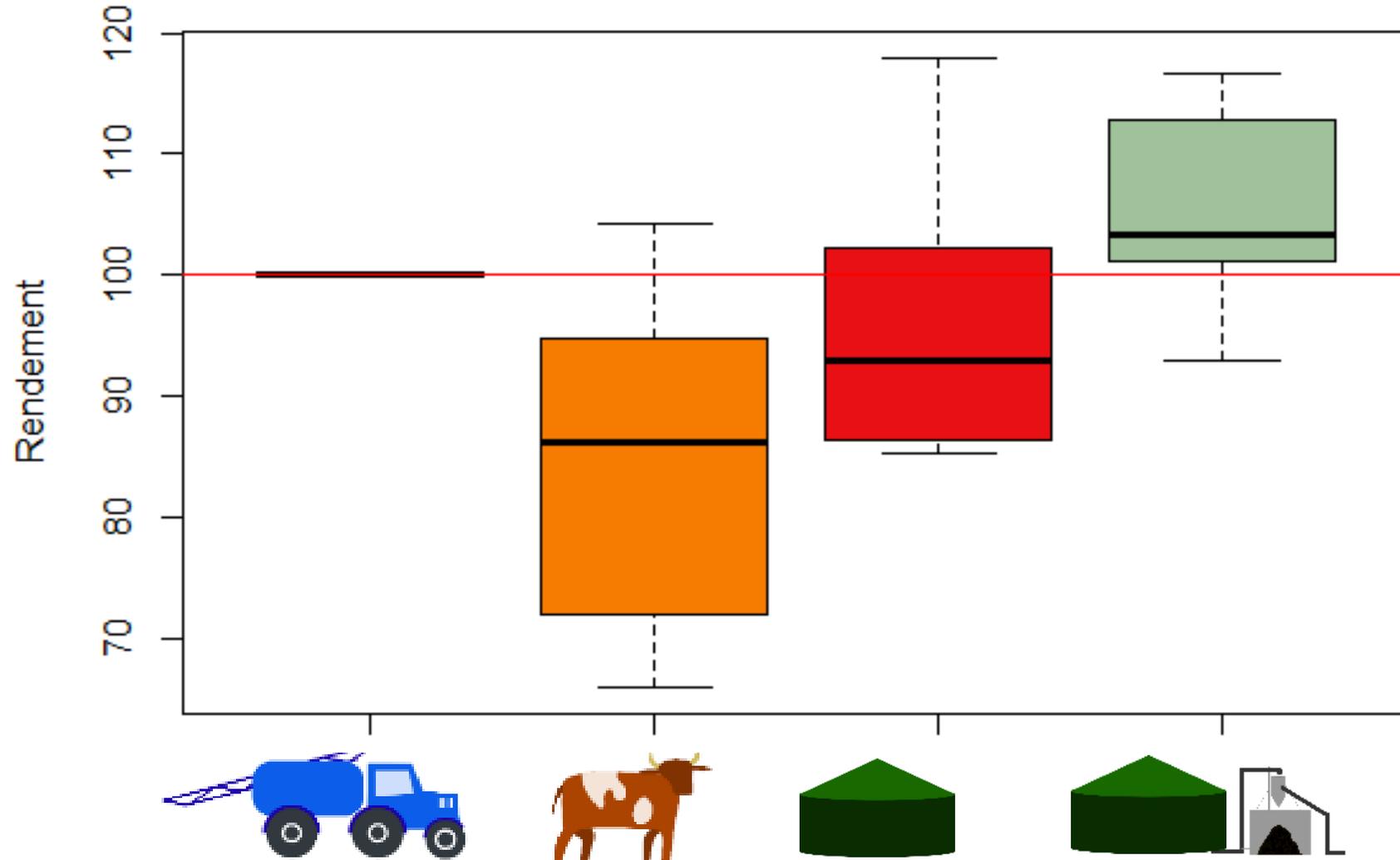


- Avec les mêmes tonnages de PRO épandus, on atteint de plus hauts niveaux de fertilisation avec les digestats
- Des rendements corrects peuvent être assurés grâce aux digestats
- Digestats > lisier
- Mais taux de protéines trop faibles car pas de « 3^e apport »
=> système mix



Rendements (base 100)

2017 à 2022



Blé 2017

Colza 2018

Blé 2019

Blé 2020

Maïs 2021

Blé 2022

Synthèse économique

→ Le lieu de stockage des PRO est proche du plan d'épandage (< 3km)

→ Prix des PRO = 0

en €/ha.an	Lis + Fum	Dig Liq + Sol	Dig Brut	S 390
PRODUITS	1427	1666	1481	1580
CHARGES OPE	203	197	197	288
CHARGES MECA	328	333	332	216
CHARGES MO	69	70	72	35
MARGE BRUTE	1224	1469	1284	1292
MARGE SEMI NETTE	897	1136	952	1076
MARGE SEMI NETTE - MO	828	1066	881	1041

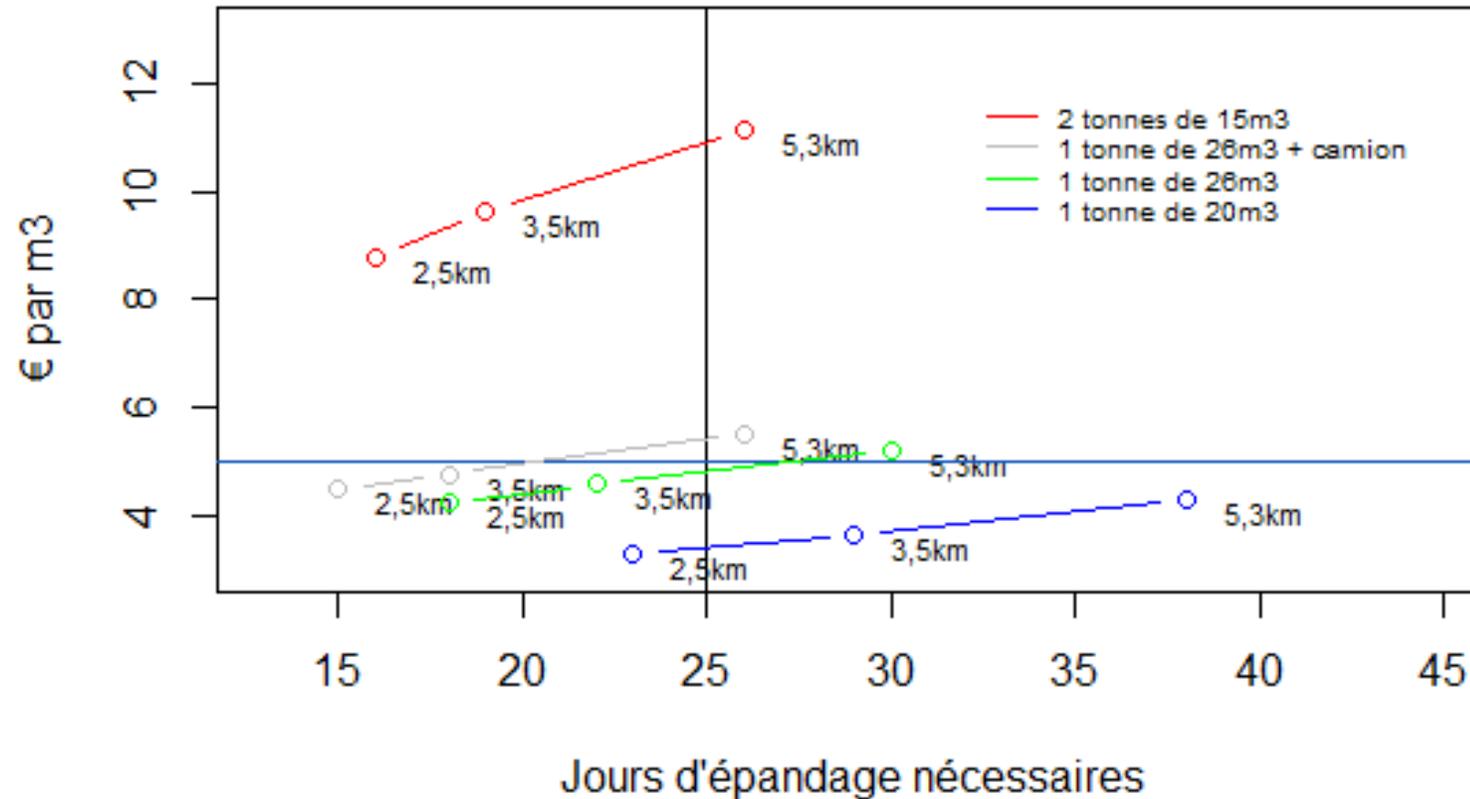
→ Après déduction de la Main d'œuvre, les systèmes Digestats séparés et N390 ont des marges semi-nettes équivalentes

→ Fertiliser avec des digestats n'impacte pas le bilan économique de l'activité agricole dans les conditions de l'étude (stockage proche)

Etude logistique

PRO liquides, moyenne 2018 à 2020 : 8 283 m³

Plan d'épandage comprend 2 îlots : 310 ha à 2 km des sources et 60 ha à 5 km



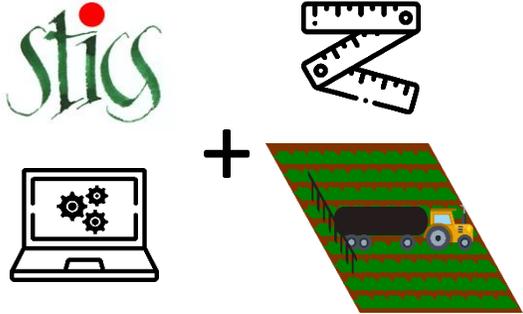
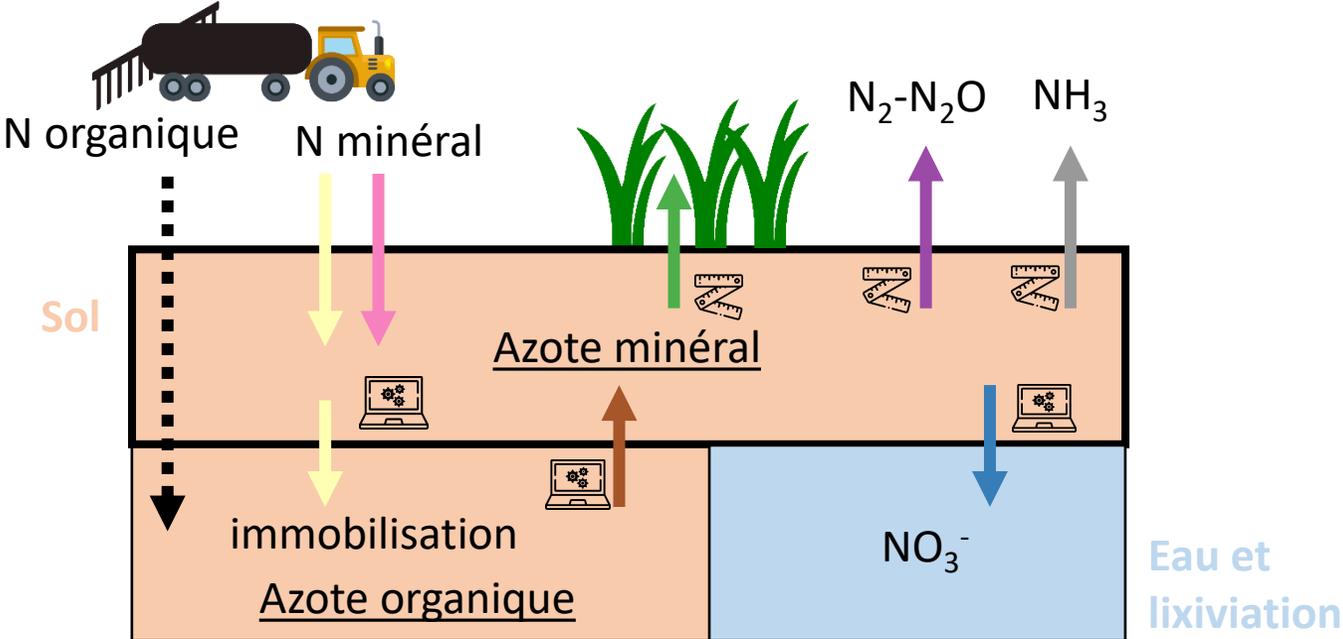
1 scénario = 1 combinaison : Matériel(s) d'épandage X Eloignement des parcelles



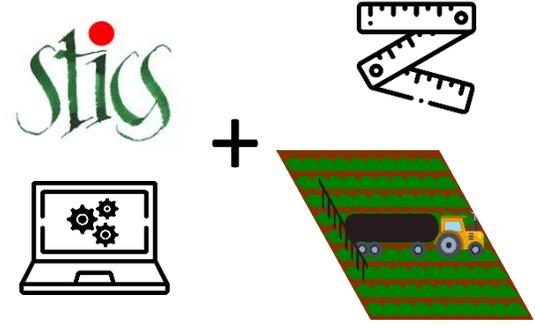
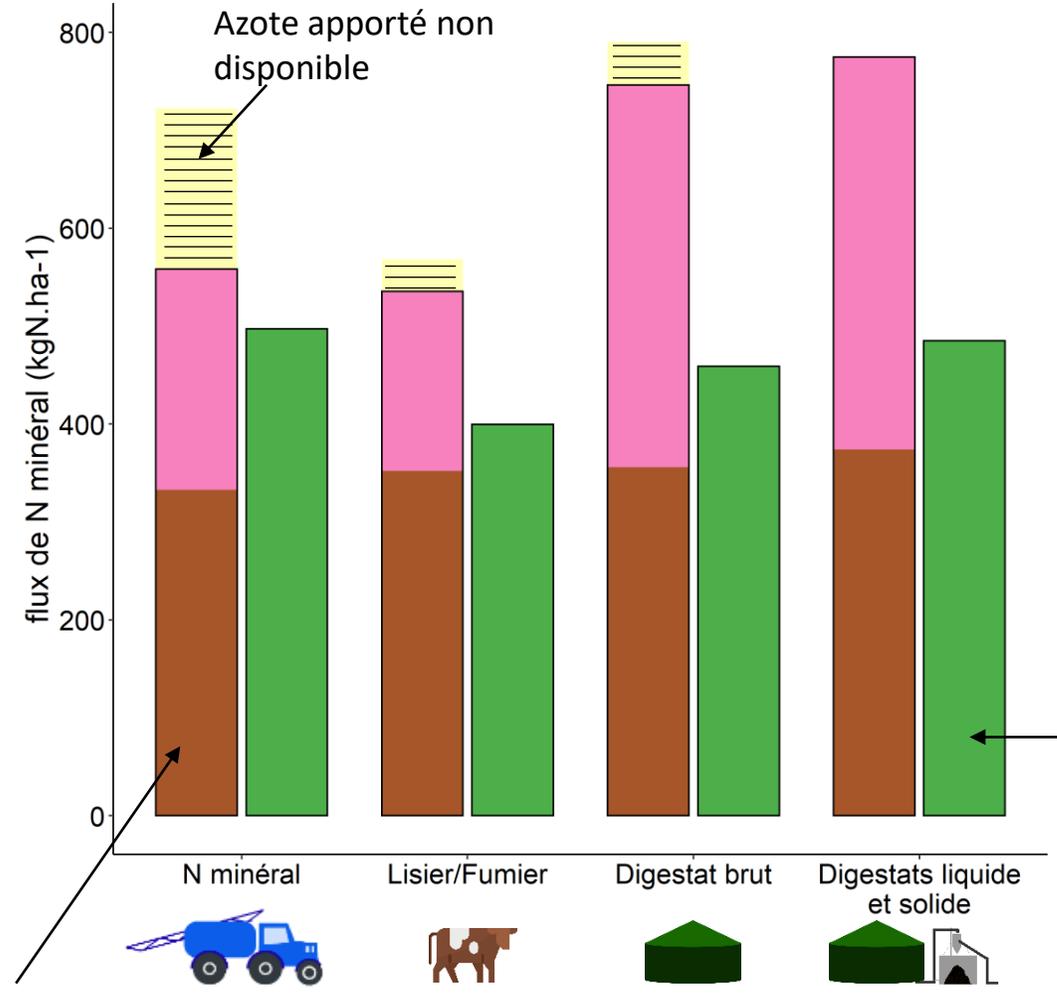
1. Présentation du projet MétaMétha
2. Résultats agronomiques
3. Cycle de l'azote à l'échelle de la parcelle
4. Vers une évaluation environnementale

Bilan d'azote minéral

Quel azote est disponible pour les plantes ?



Fourniture d'azote minéral et export d'azote par les plantes (3 ans)

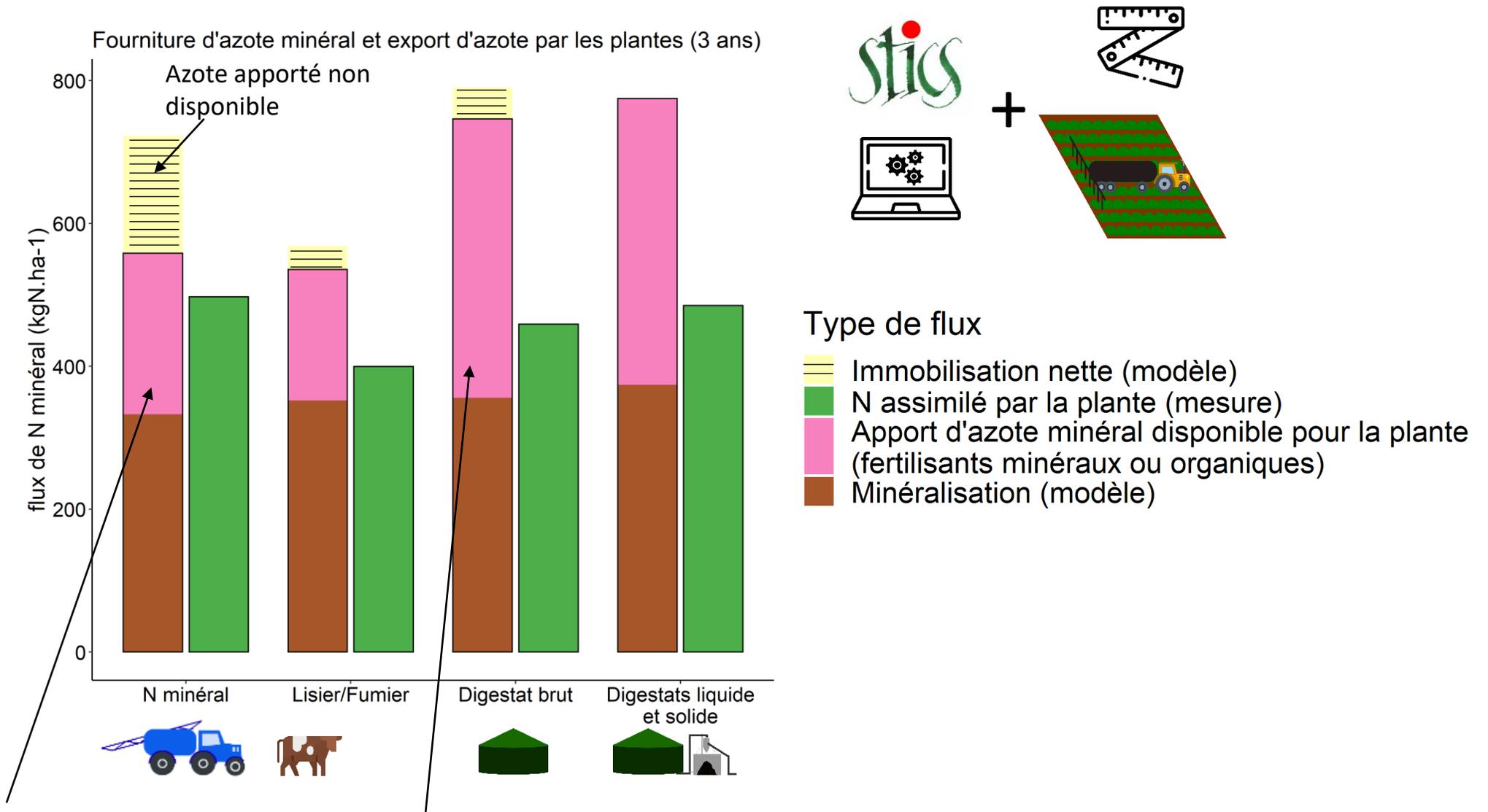


Type de flux

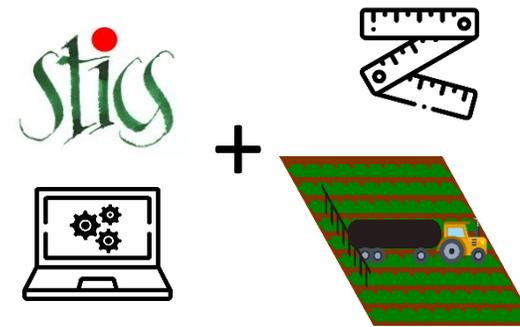
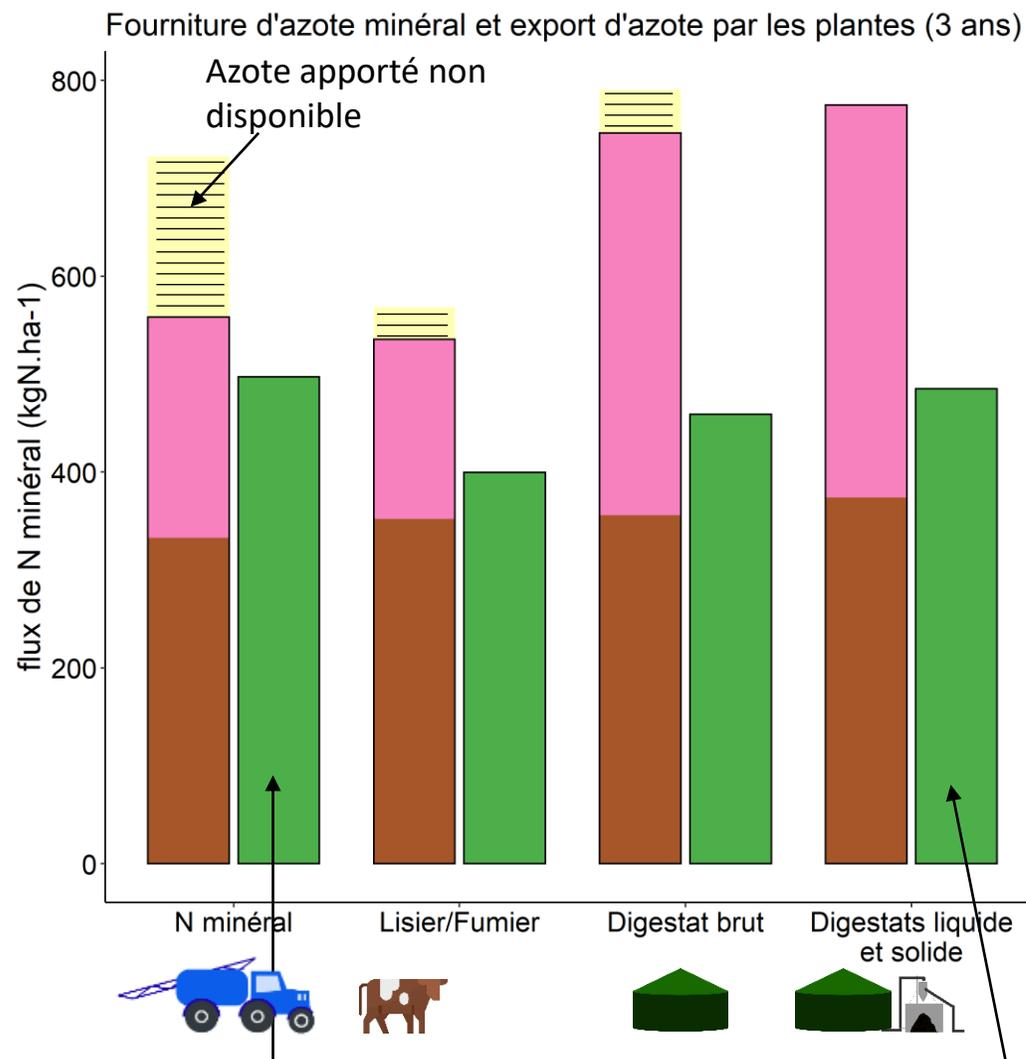
- Immobilisation nette (modèle)
- N assimilé par la plante (mesure)
- Apport d'azote minéral disponible pour la plante (fertilisants minéraux ou organiques)
- Minéralisation (modèle)

Droite = assimilation des plantes

Gauche = fourniture d'azote



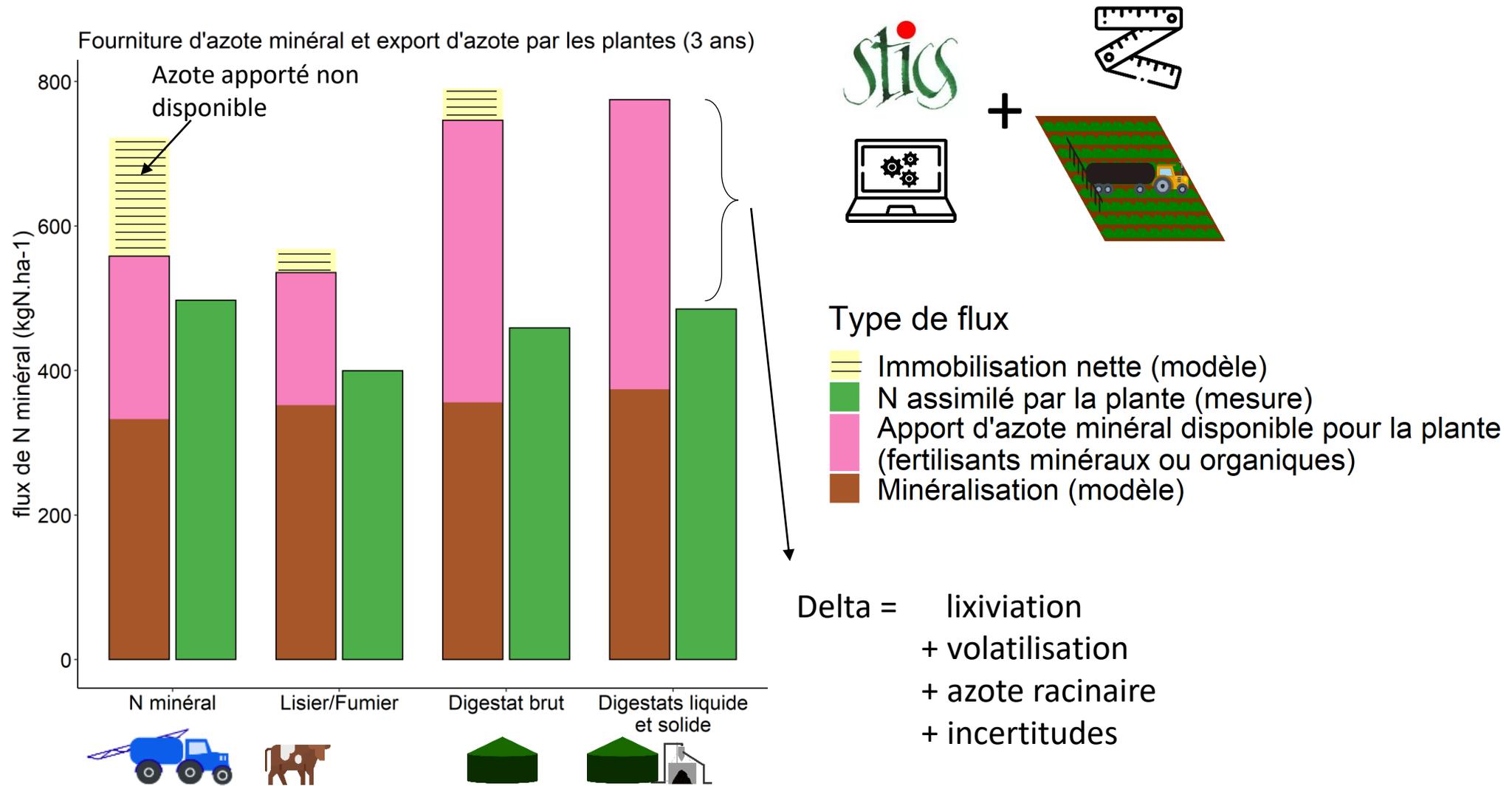
Les apports d'azote sont très importants en système digestats



Type de flux

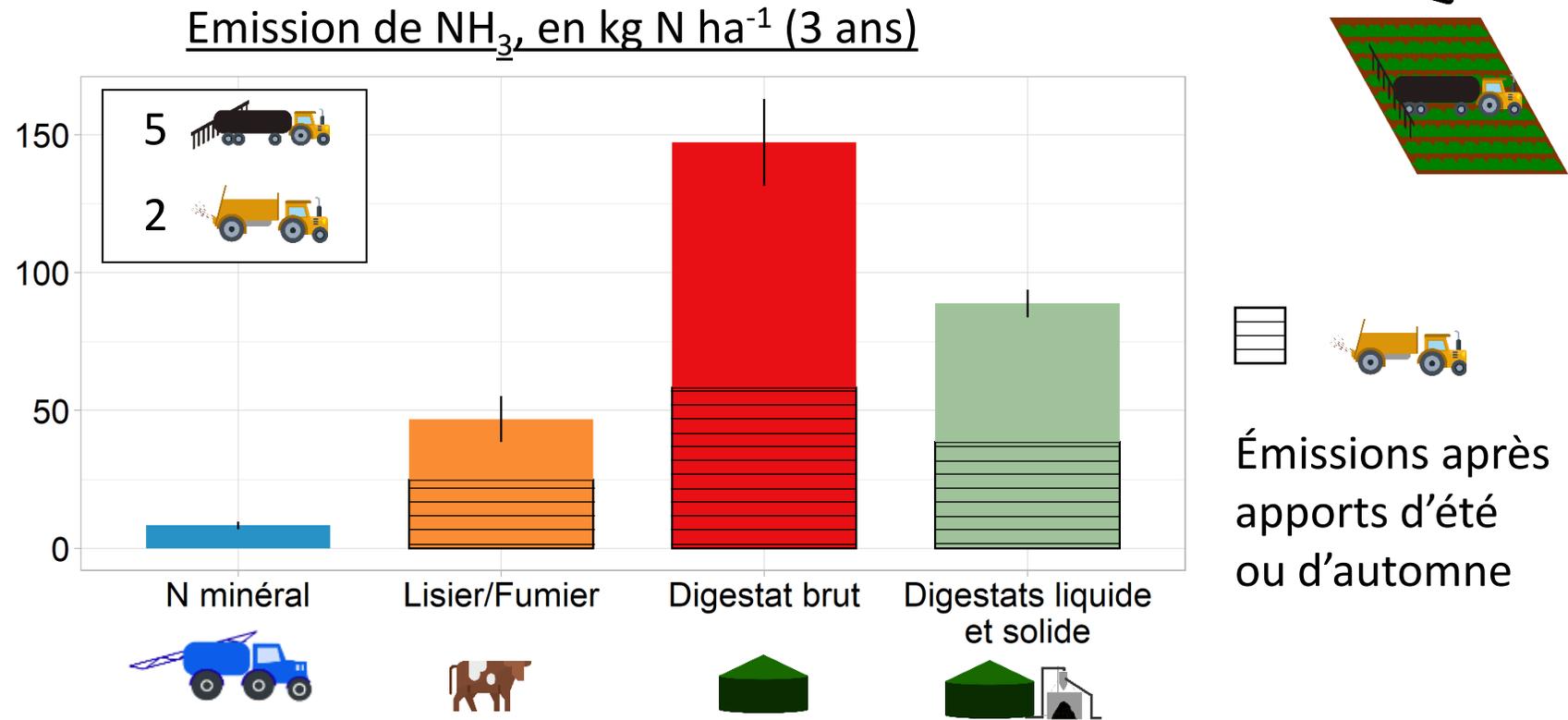
- Immobilisation nette (modèle)
- N assimilé par la plante (mesure)
- Apport d'azote minéral disponible pour la plante (fertilisants minéraux ou organiques)
- Minéralisation (modèle)

L'assimilation d'azote sur le système digestat est similaire au système engrais minéral : bon pouvoir fertilisant



Systèmes digestats : plus de risques de pertes d'azote

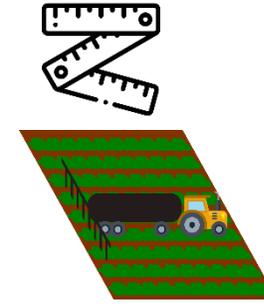
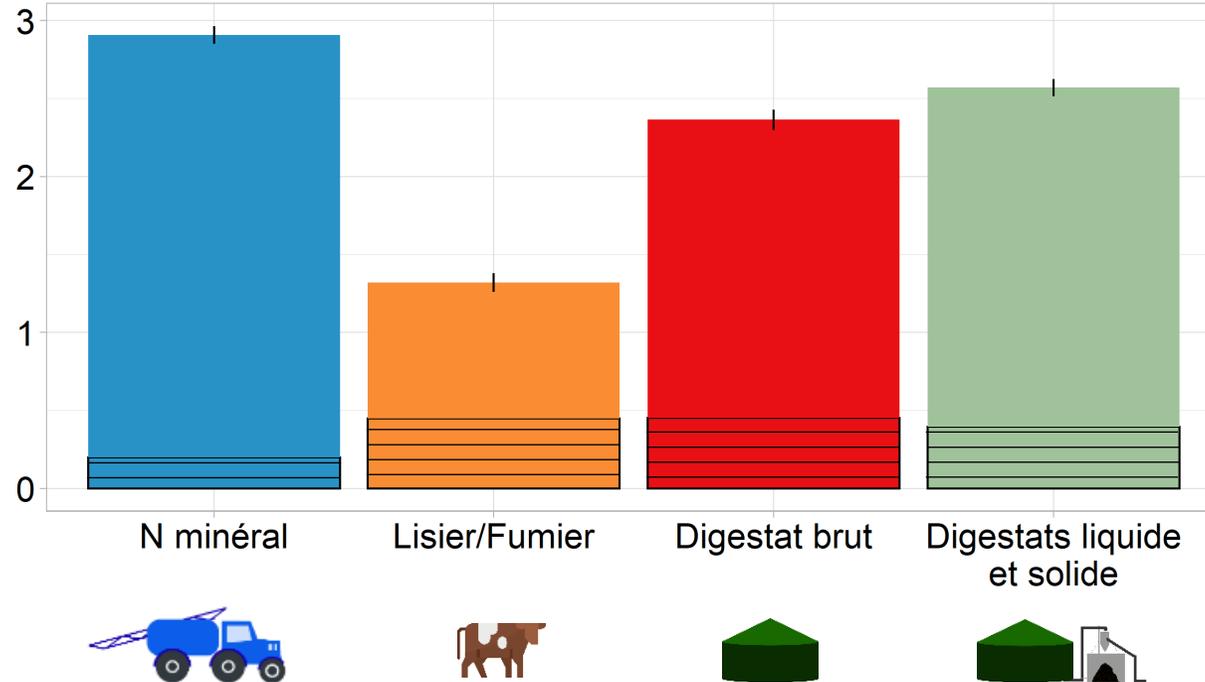
Pertes en N : volatilisation d'ammoniac



- Sensibilité des digestats à la volatilisation
- La volatilisation en été est forte
- La séparation de phase diminue la volatilisation

Pertes en N : émissions de N₂O

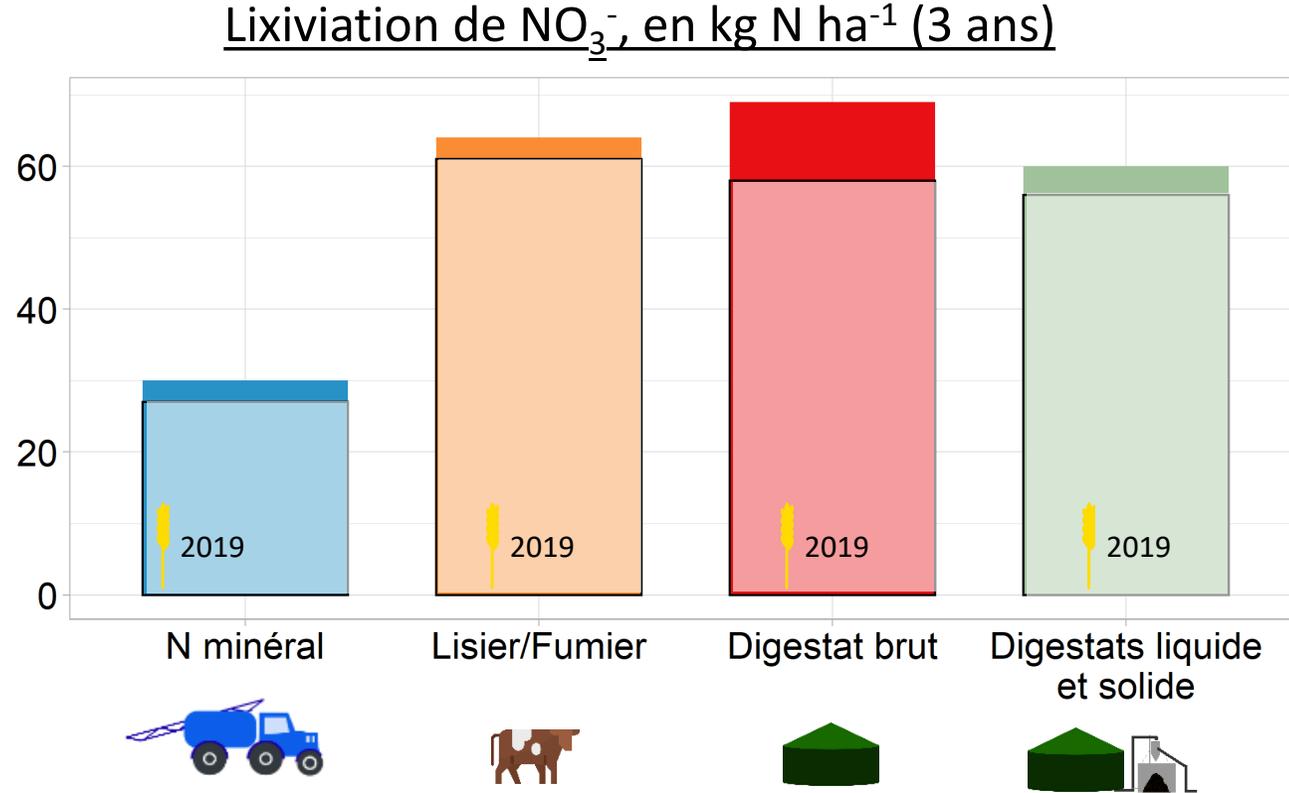
Emission de N₂O (3 ans, kgN ha⁻¹ an⁻¹)



Émissions après
apports d'été
ou d'automne

- Les importantes doses d'azote apportées avec les digestats favorisent les émissions de N₂O
- Les émissions après apports d'été ou d'automne sont faibles

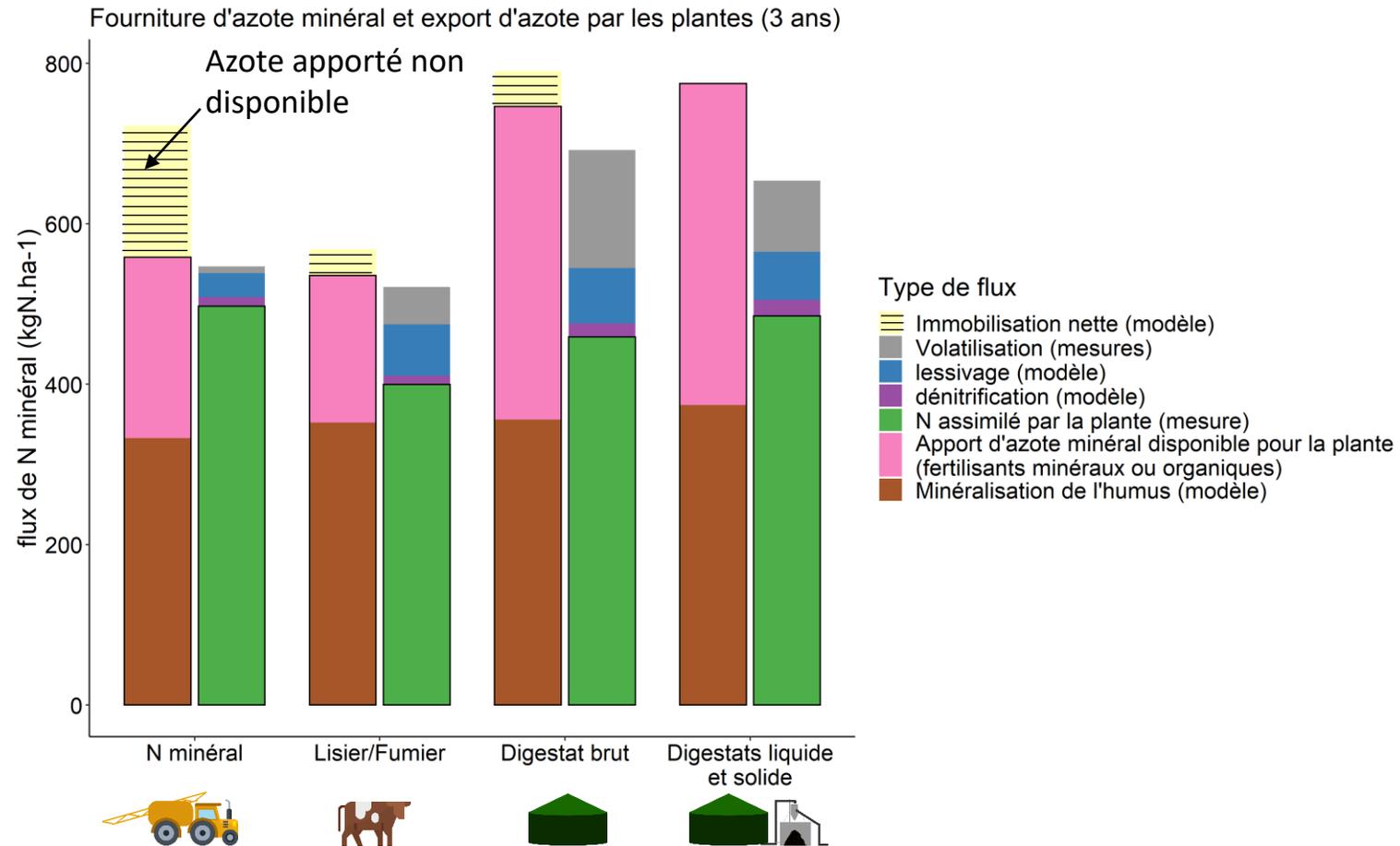
Pertes en N : lixiviation de nitrate



Hiver 2018 –
été 2019

- Presque toute la lixiviation sur une même période sur tous les systèmes : effet météorologique
- Lixiviation due aux doses et dates d'apports (apport de PRO devant blé)
=> Pratique à éviter (*réalisée ici pour les besoins de la Recherche*)
- La modélisation montre une lixiviation identique sur les systèmes organiques

Importances des fuites par rapports aux apports

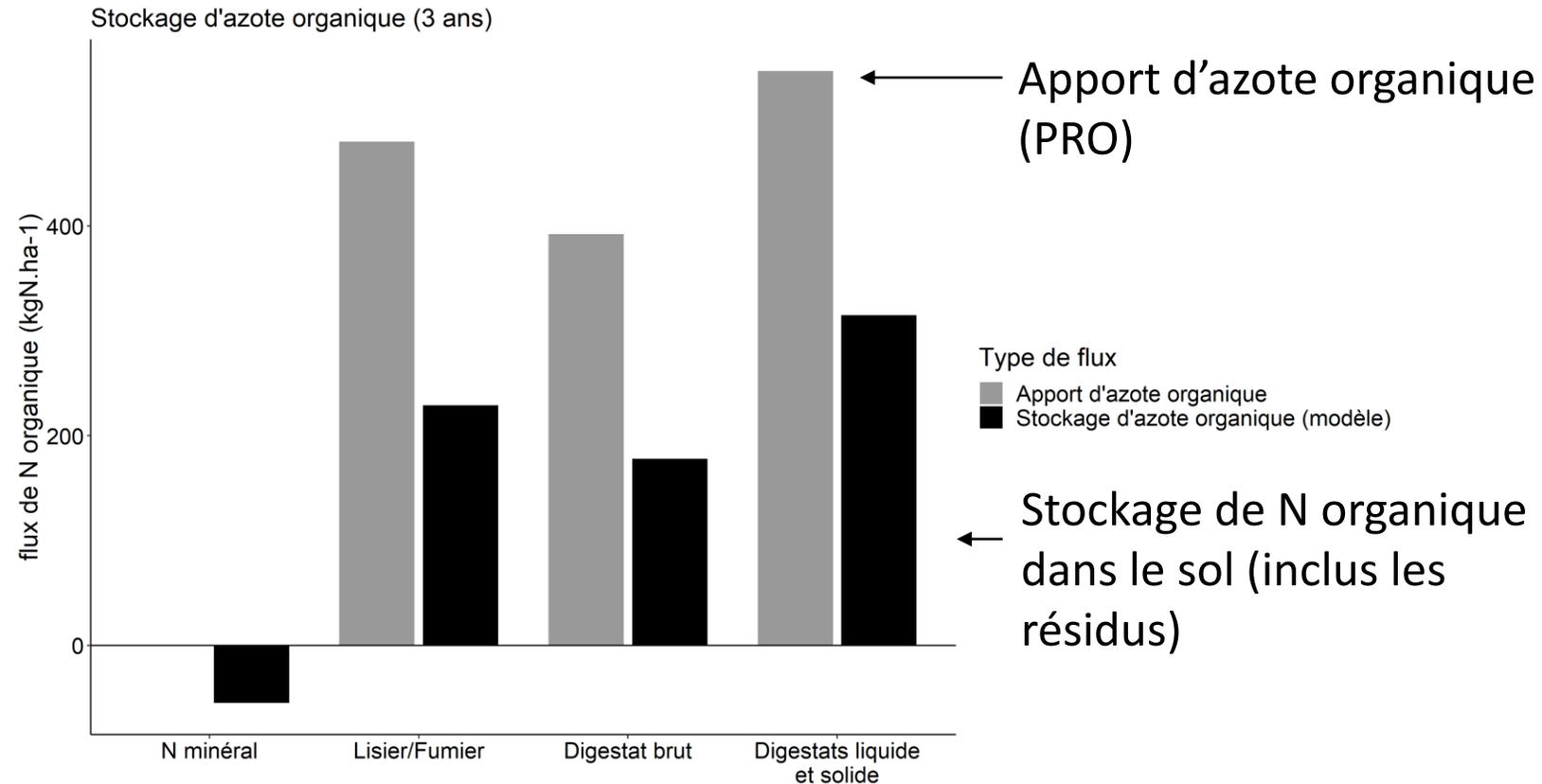


- Plus d'azote disponible avec les digestats :
 - ⇒ intéressant pour la fertilisation des cultures
 - ⇒ risque de fuites d'azote

Stockage de matière organique : vers une augmentation de la fertilité des sols



Stockage de N dans la MO du sol (modèle, 3 ans)



Les systèmes PRO stockent de la MO :
La fertilité (fourniture d'azote) du sol augmentera avec le temps

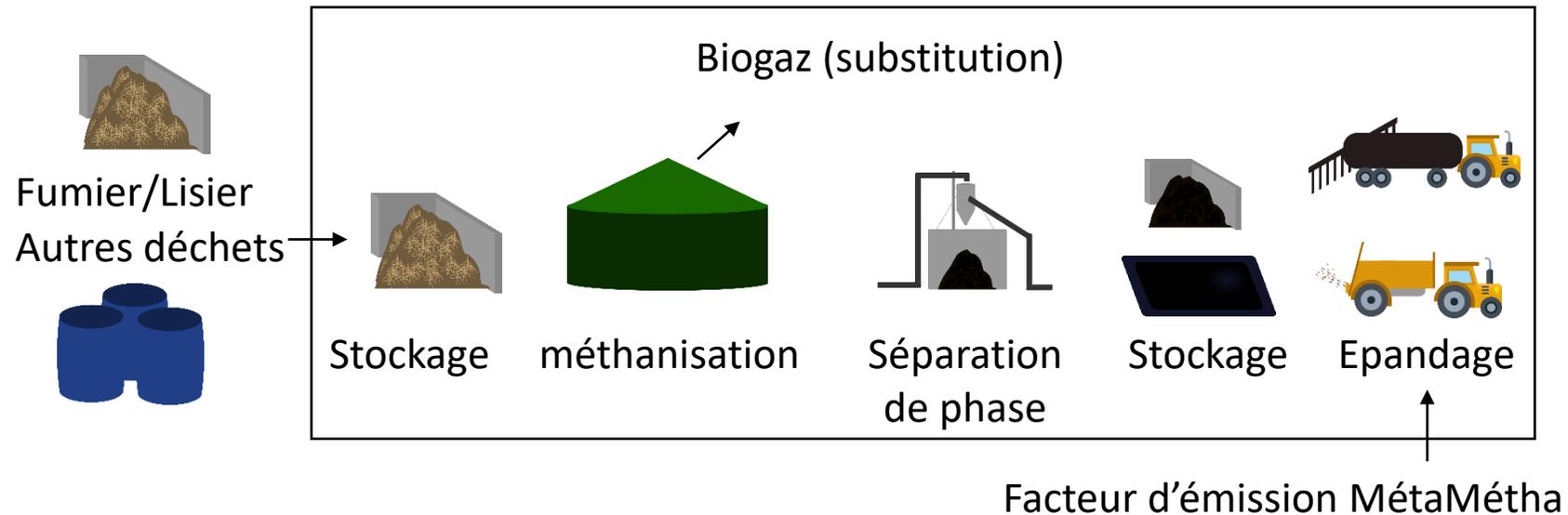


1. Présentation du projet MétaMétha
2. Résultats agronomiques
3. Cycle de l'azote à l'échelle de la parcelle
4. Vers une évaluation environnementale

ACV : systèmes et unité fonctionnelle



Objectif : Quel est l'impact de l'épandage par rapport aux autres impacts ?



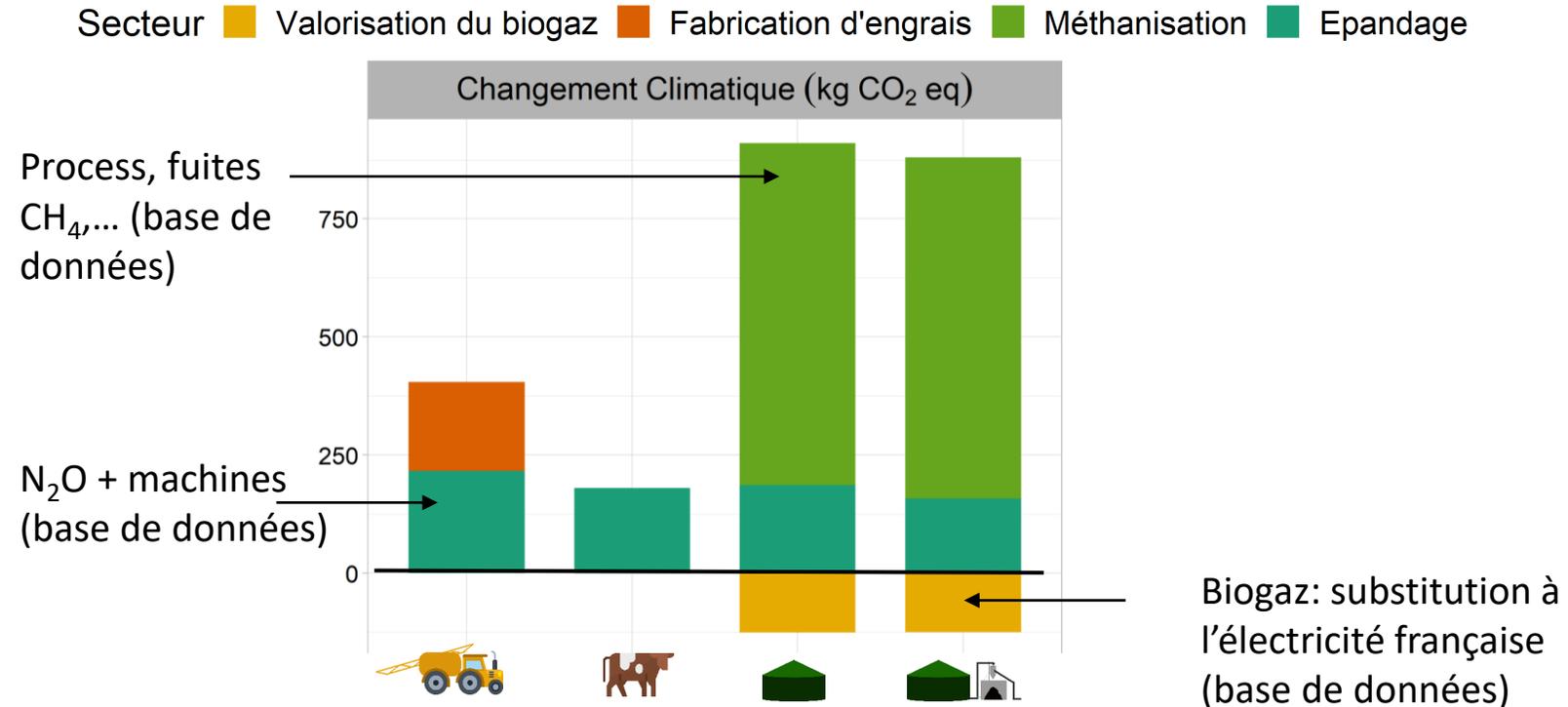
Unité fonctionnelle : « Apporter 170kg/ha d'azote total au champ »



Ne lire que des tendances !

Point de vue : la méthanisation sert à fabriquer des digestats principalement

Bilan carbone



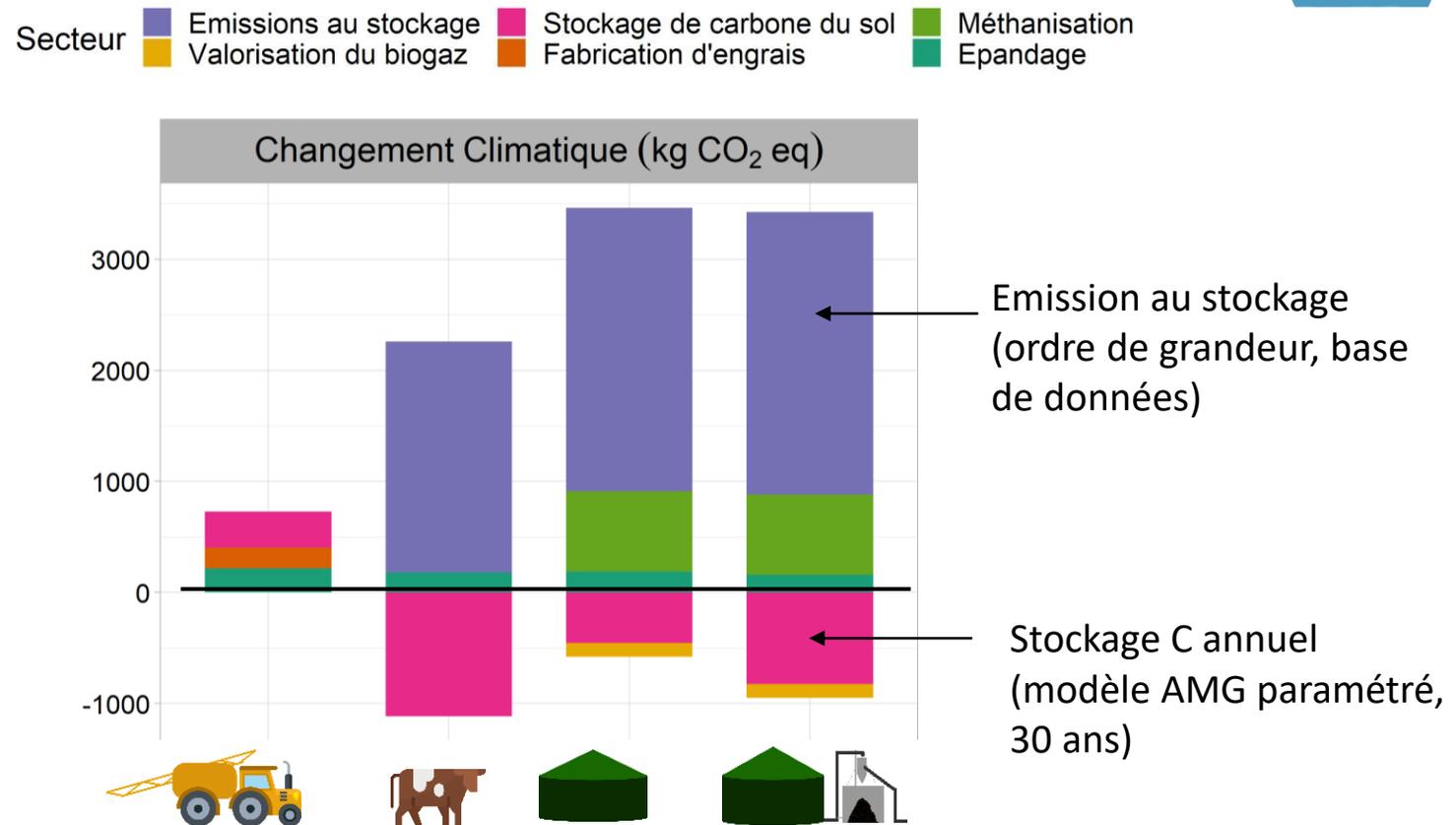
Changement climatique

Pas de grosses différences d'impact à l'épandage

Le process est important par rapport à l'épandage

Biogaz : avec le mix électrique français faiblement carboné, impact limité dans ces conditions !

Bilan carbone



Changement climatique

Les émissions au stockage seraient les flux de GES les plus importants

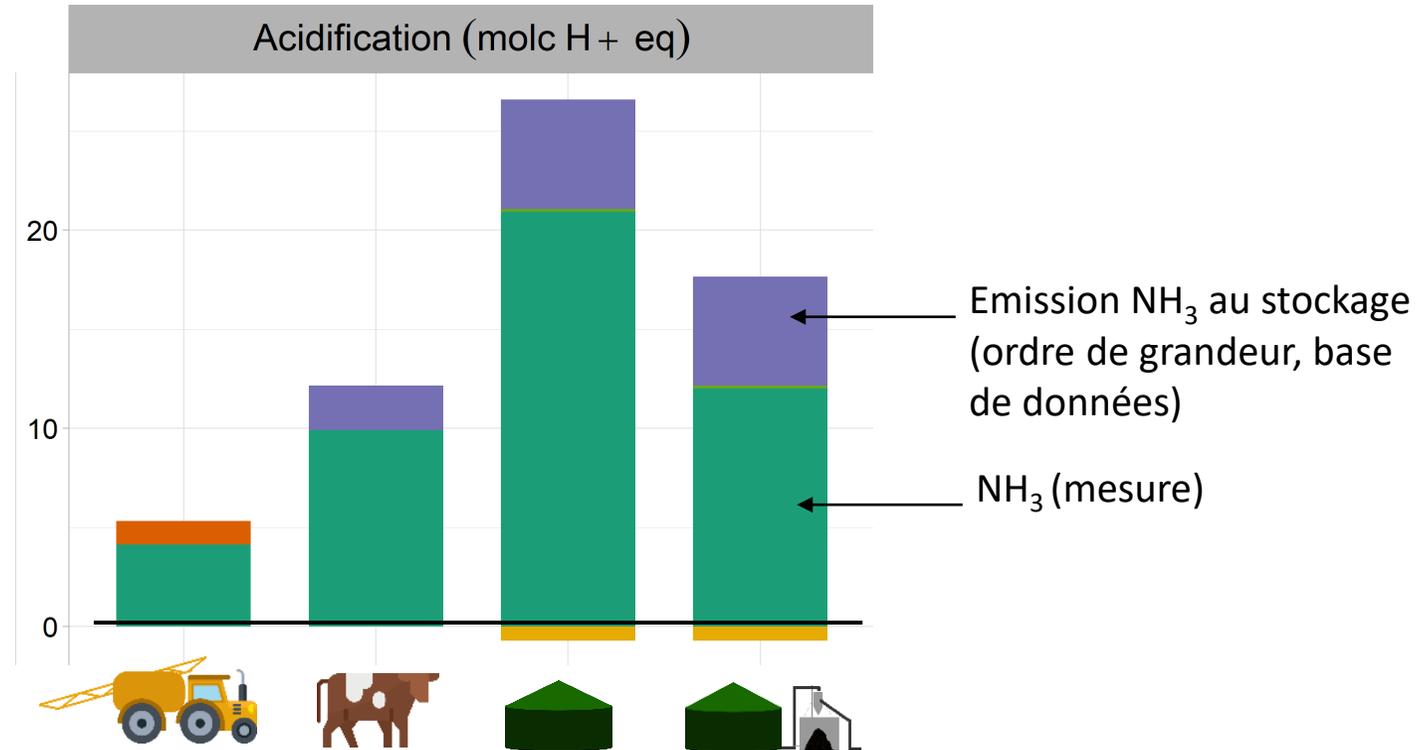
Le stockage de C représente des flux important (modèle AMG paramétré, 30 ans)

Acidification



Secteur

- Emissions au stockage
- Stockage de carbone du sol
- Méthanisation
- Valorisation du biogaz
- Fabrication d'engrais
- Epandage



Acidification

L'épandage est plus important que le traitement

Effet important de la séparation de phase

Vers une évaluation environnementale : ACV



Ordres de grandeur à retenir (résumé) :

- **Indicateur effet de serre (CO_2 eq)** kg CO_2 eq

<u>Emission au stockage</u> (déchets et digestats)		~2500
Process = stockage de C		~750
Transport et épandage (impact au champ) = fabrication des engrais		~200

- **Indicateur acidification atmosphérique (molc H^+ eq) (NH_3)**

Emission au champ (15) > Emission au stockage (5)

Questionnements méthodologique :

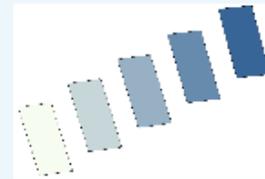
- allocation VS substitution du biogaz, mix énergétique français (nucléaire) VS biogaz,
- manque de connaissances sur les émissions au stockages des déchets, lors du process

Sorties du projet

Dataverse sur Data INRAE

Metametha dataset

Version 5.0



Pasquier, Catherine; Ayzac, Adeline; Carozzi, Marco; Générumont, Sophie; Giot, Guillaume; Goubard-Delaunay Yolaine; Houot, Sabine; Moinard, Victor; Voylokov, Polina; Savoie, Antoine, 2019, "Metametha dataset", <https://doi.org/10.15454/5MOZKJ>, Portail Data INRAE, V5, UNF:6:6yBQ3RLMV7mAxWm6s0Vlvg== [fileUNF]

Citer le dataset ▾

Pour en apprendre davantage sur le sujet, consulter le document [Data Citation Standards \[en\]](#).

<https://data.inrae.fr/dataverse/root/?q=m%C3%A9tam%C3%A9tha>

Tous les livrables sur HAL INRAE

hal-03222164, version 1

Rapport

Analyse de cycle de vie (projet MétaMétha)

Antoine Savoie ¹ [Détails](#)

¹ UE PAO - Unité Expérimentale de Physiologie Animale de l'Orfrasière

Résumé : Le projet a consisté en l'équipement et la caractérisation d'un dispositif expérimental composé de 4 parcelles (24x75 m) correspondant à 4 systèmes (effluents bruts ; digestat brut ; digestats après séparation de phase ; engrais minéral) sur lesquels différents produits résiduels organiques (PRO) ont été épandus au cours d'une rotation blé, colza, blé. Des mesures ont été effectuées sur le terrain (azote du sol, lessivage, gaz à effet de serre, exportation par les récoltes, etc.). En complément, la modélisation a permis d'aboutir au bilan azoté de chaque système. Suite à l'étude de la qualité de la matière organique des PRO, le stockage dans le sol de la matière organique a été simulé à long terme : les digestats permettent un stockage légèrement inférieur au effluent non méthanisés. Enfin, une analyse de cycle de vie (ACV) à l'échelle de la parcelle a été conduite : les scénarios impliquant des digestat se positionnent de façon intermédiaire vis-à-vis des autres scénarios (le point de vigilance porte sur les émissions de nitrates).

en

Mots-clés : [Digestats](#) [carbone](#) [azote](#) [volatilisation](#) [ammoniac](#) [méthanisation](#) [ACV](#)

<https://hal.inrae.fr/hal-03196292>

Le cas de Nouzilly : principaux enseignements

Fertilisation avec du digestat par rapports aux effluents bruts

	Effluents bruts	Digestats
Fertilisation des cultures	Limitants car pas assez riche en azote ammoniacal	Satisfaisant mais il n'est pas possible de substituer à 100% la fertilisation minérale
Economie	Marge réduite	Comparable au système N minéral sous certaines conditions
Matière organique du sol	Amendant	Amendant, légèrement moins efficace
Ammoniac (pollution de l'air)	Sensible	Très sensible : possible perte de valeur fertilisante
Vers de terre (cf. V. Moinard, 2021)	Possible toxicité en surface à l'épandage (<2%) Croissance des populations dès 2 à 3 ans d'apports (+150%)	

Intéressant agronomiquement pour la fertilisation des cultures

Plus de risques de fuites en azote qui peuvent être réduits par l'observation de bonnes pratiques

Les enjeux GES semblent se jouer plutôt au traitement qu'au champ

Suite du projet

MétaMétha : **suivi agronomique** maintenu sur le dispositif => évolution du stock de C du sol

Site associé au réseau **SOERE PRO**

Thèse de Victor Moinard qui s'appuie sur les données de MétaMétha

+ étude vers de terre (2019/2020)

DigestEauSol (INRAE Transfert/ INRAE) : impact des PRO sur les caractéristiques du sol (2021)

Données MétaMétha versées au **SI PRO** du SOERE PRO (2022)

Thèse Maxence Dodin : télédétection des épandages (2022)

Projet sur les émissions de composés organiques volatiles et la formation d'aérosols secondaires suite aux apports de PRO (ANR, 2023)



Merci de votre attention

