



30 ans

16^e Rencontres

DE LA FERTILISATION RAISONNÉE ET DE L'ANALYSE

21, 22 et 23 novembre 2023

Palais des congrès de Tours

Centre INRAE Val de Loire à Nouzilly

30 ans

16^e Rencontres

DE LA FERTILISATION RAISONNÉE ET DE L'ANALYSE

MétaMétha

Conséquences de l'introduction de la méthanisation dans une exploitation de polyculture-élevage sur les cycles du carbone et de l'azote

Antoine Savoie¹, Catherine Pasquier², Victor Moinard³, Sabine Houot³



Comité Français d'Étude et de Développement
de la Fertilisation Raisonnée

INRAE

- UE PAO, Nouzilly
- INFO & SOLS, Orléans
- UMR Ecosys, Thiverval-Grignon



Groupement d'études méthodologiques pour l'analyse des sols

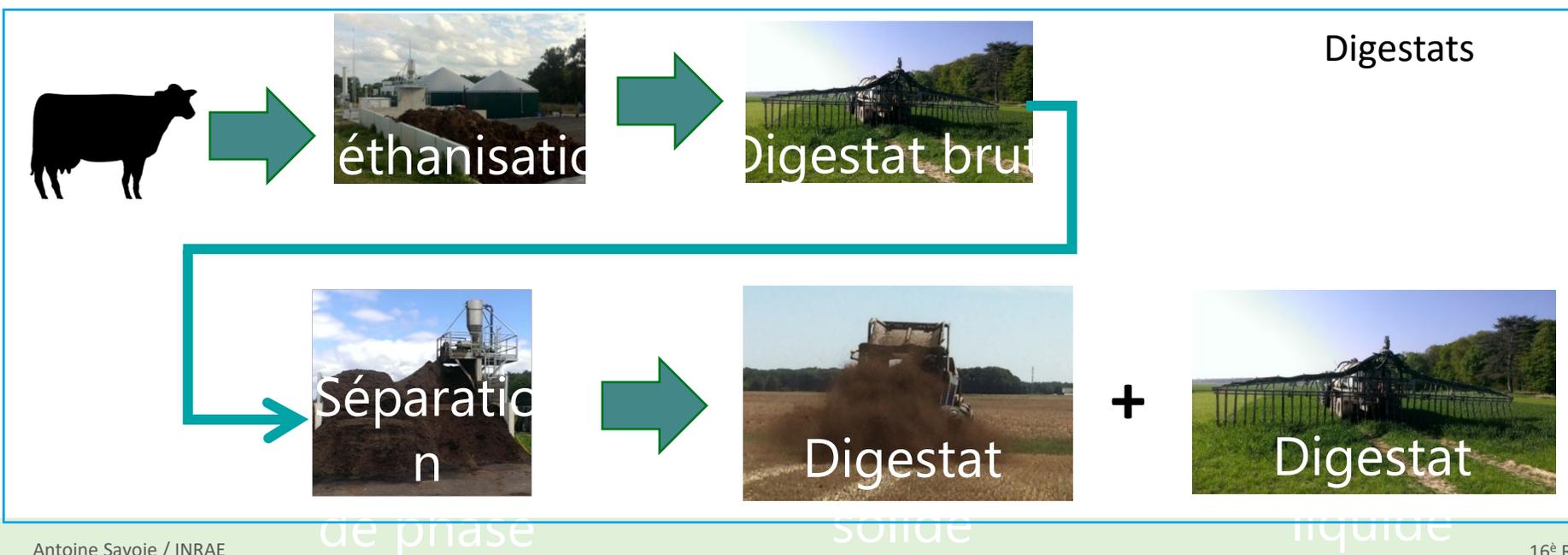
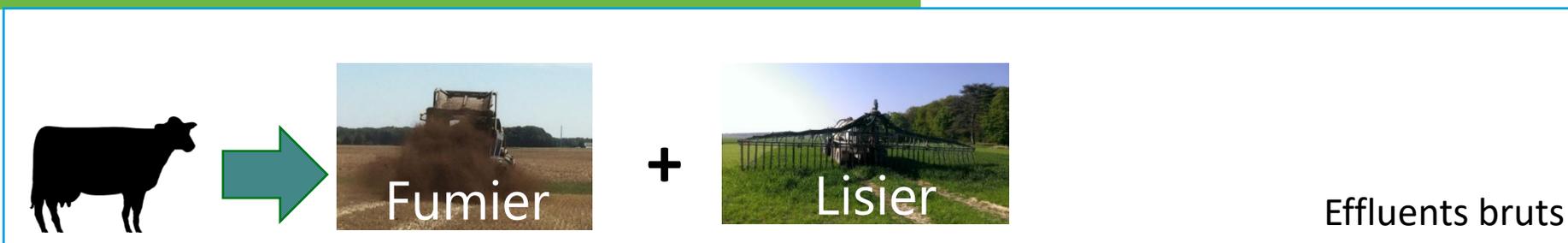
Insérez votre titre

30 ans



comifer Gemas

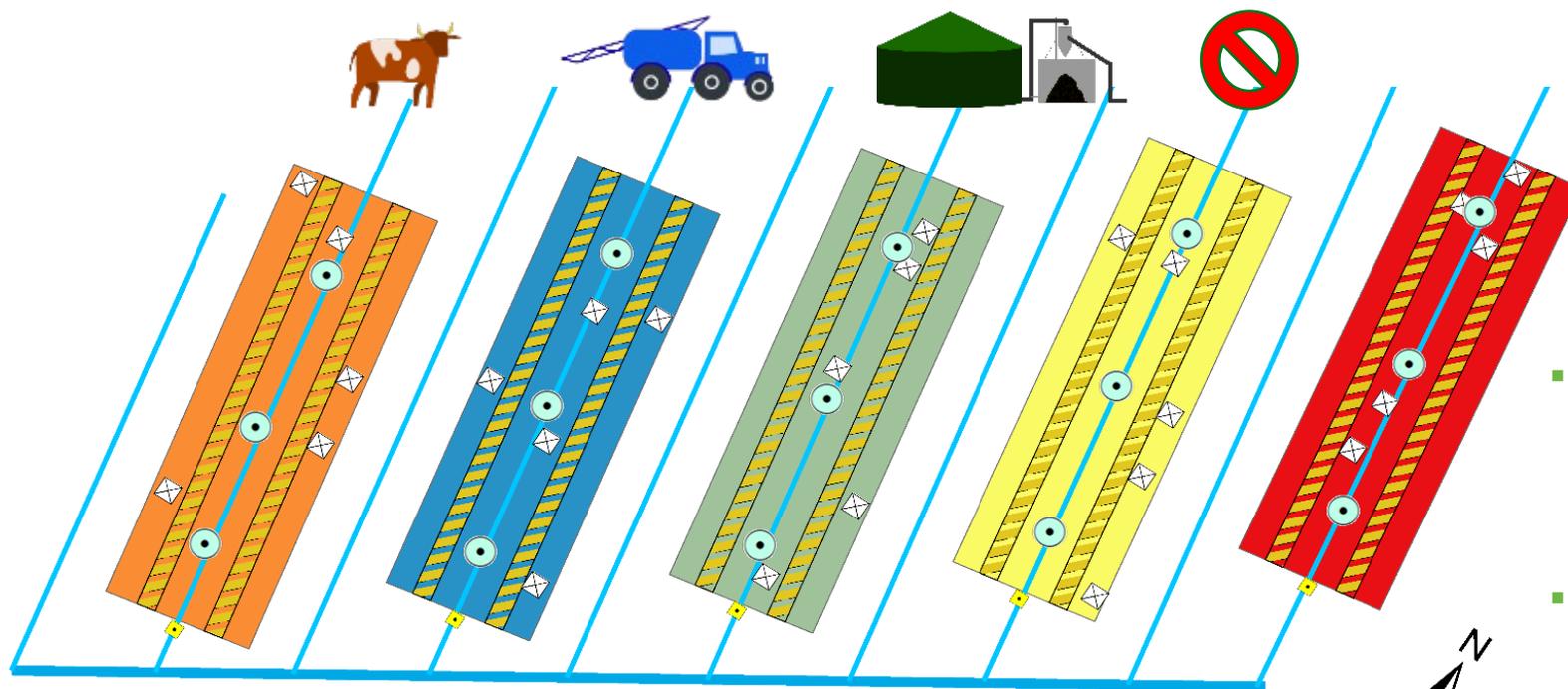
3 stratégies de gestion des effluents



(Témoin)

- * 39uN pour 100L, 30% d'azote dont :
- 07,3 % N Nitrique
 - 07,3 % N ammoniacal
 - 15,4 % N uréique

Le dispositif expérimental



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

- Lisier et fumier
- Azote minéral
- N300 Digestats liquide et solide
- Terrain zéro azote
- Digestat brut

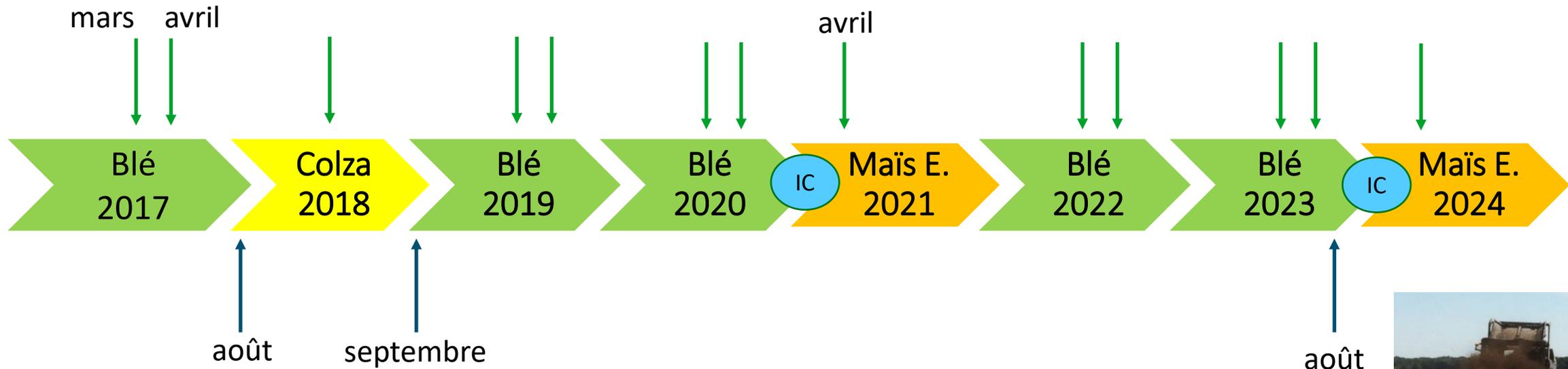
- Collecteur
- Drain
- ▨ Passages engins

Fertilisation et amendement

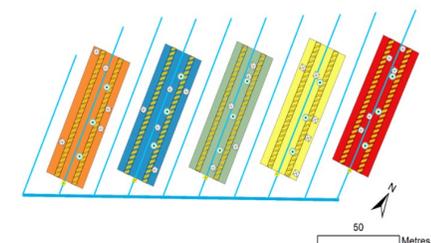


Suivi approfondi

Suivi simplifié



IC Interculture (moutarde blanche)
↓ Fertilisation (lisier ; digestat liquide ; digestat brut)
↑ Amendements (fumier ; digestat solide ; digestat brut)



Suivi simplifié, effectué depuis 2020

30 ans



comifer Gemas



Itinéraires techniques : parcelle, date, opération, produit, quantité



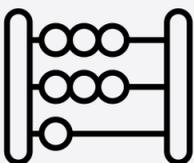
Reliquats N : entrée, sortie, post (3/parcelles) ; **C** du sol tous les 5 ans



Prélèvement **PRO** pour analyse (MS, MO, N total, C, N-NH₄, pH, P₂O₅, K₂O, CaO, MgO)



Récolte parcelle (quantité, H%, protéines, impuretés) ; + paille ; cartes rdt



Composantes de rendements (2mL sur 5 stations/parcelles)

(comptages : levée, tallage, épis, nb grains, pesées grain, paille)

=> Analyses : N C exportés / parcelle



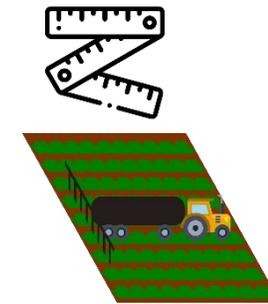
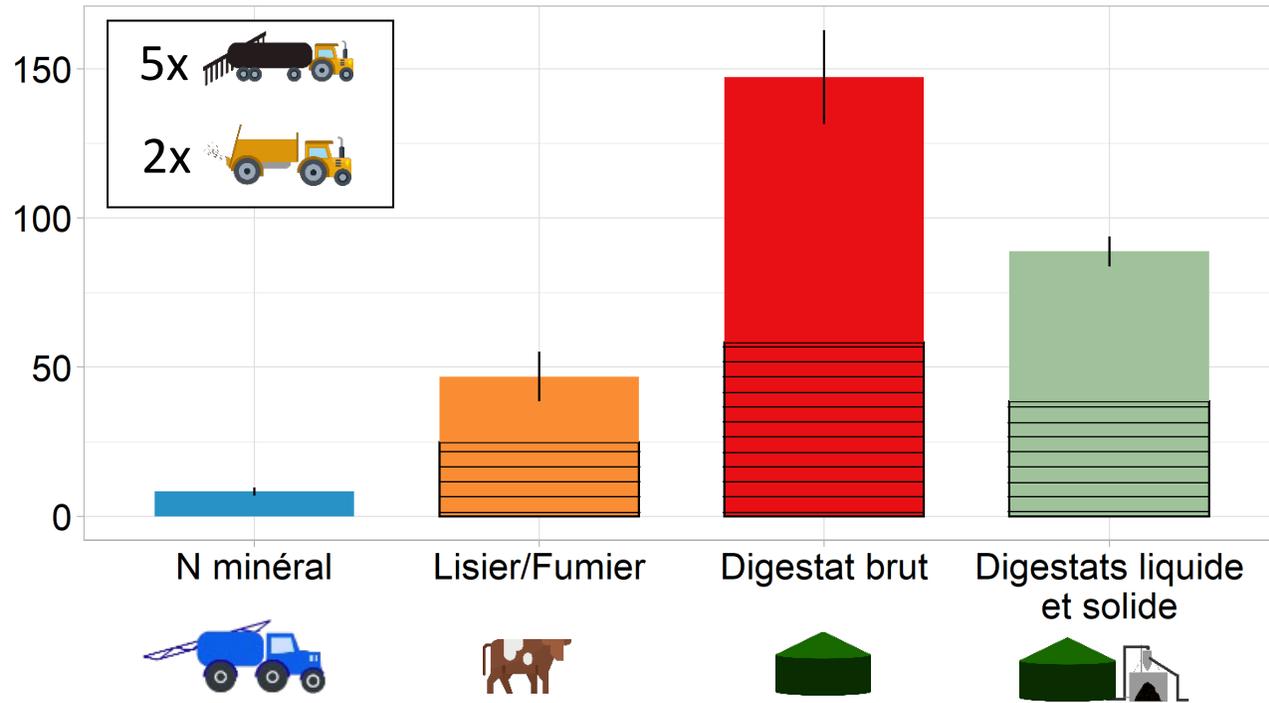
Suivi fertilisation azotée

Greenseeker : zone « étalon » de 16m² avec X+150 u d'ammonitrate. Ratio : mesure champ/mesure étalon
Zone 0N (bâches)

Pertes en N : volatilisation d'ammoniac



Emission de NH₃, en kgN.ha⁻¹ (3 ans)



Émissions après des apports en août ou septembre

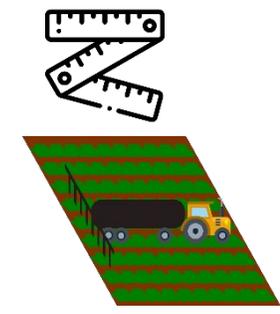
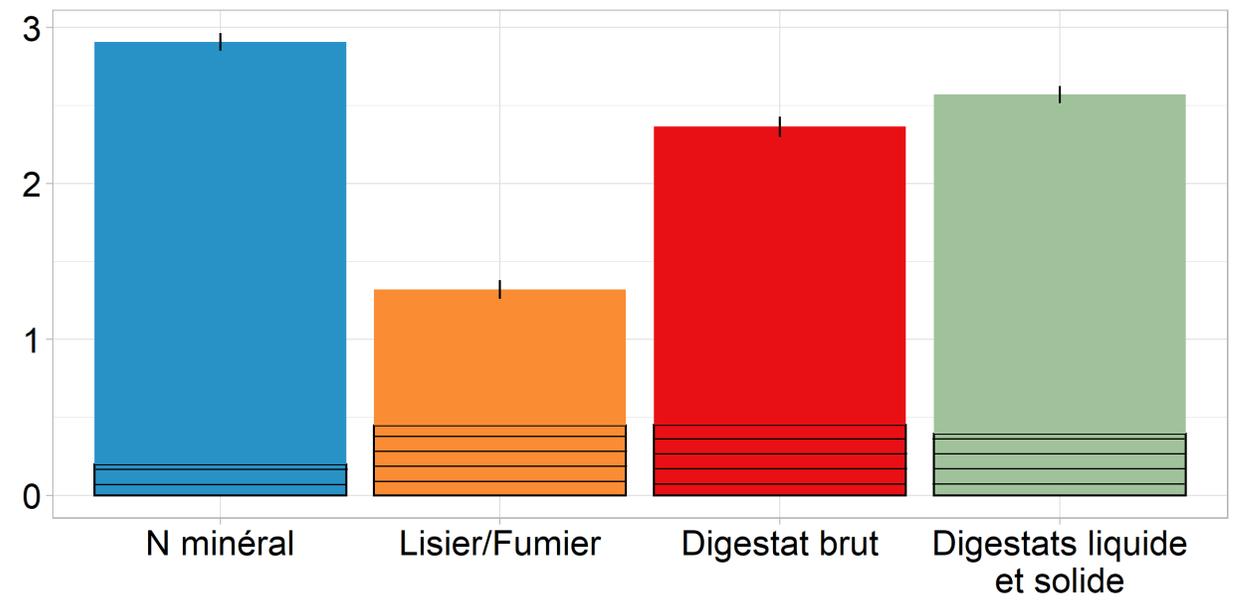
- Sensibilité des digestats à la volatilisation
- La volatilisation en été est forte
- La séparation de phase diminue la volatilisation

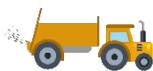
Moinard, 2020

Pertes en N : émissions de N₂O



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



Émissions après des apports en août ou septembre 



- 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

Moinard, 2020

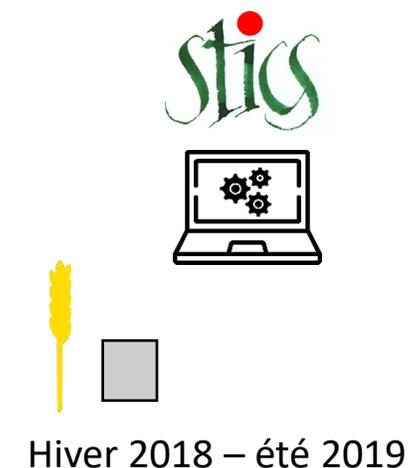
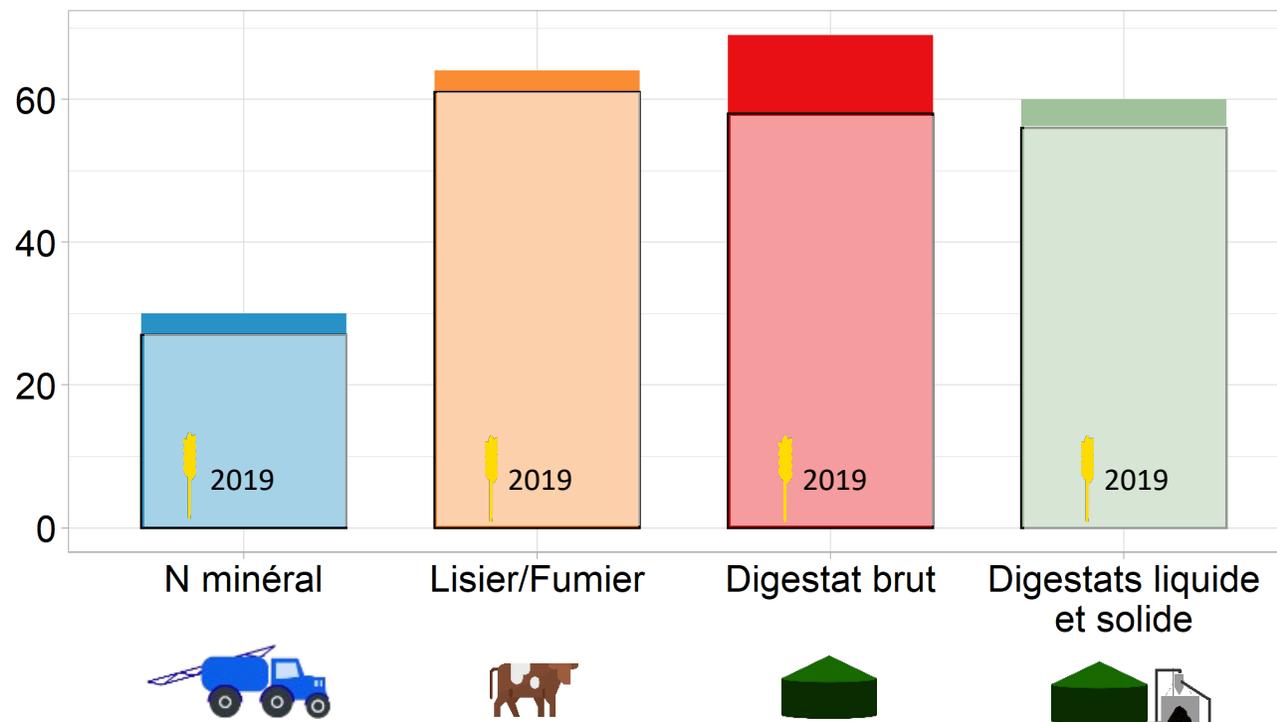
Pertes en N : lixiviation de nitrate

30 ans



comifer Gemas

Lixiviation de NO_3^- , en kgN.ha^{-1} (3 ans)



- 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

Moinard, 2020

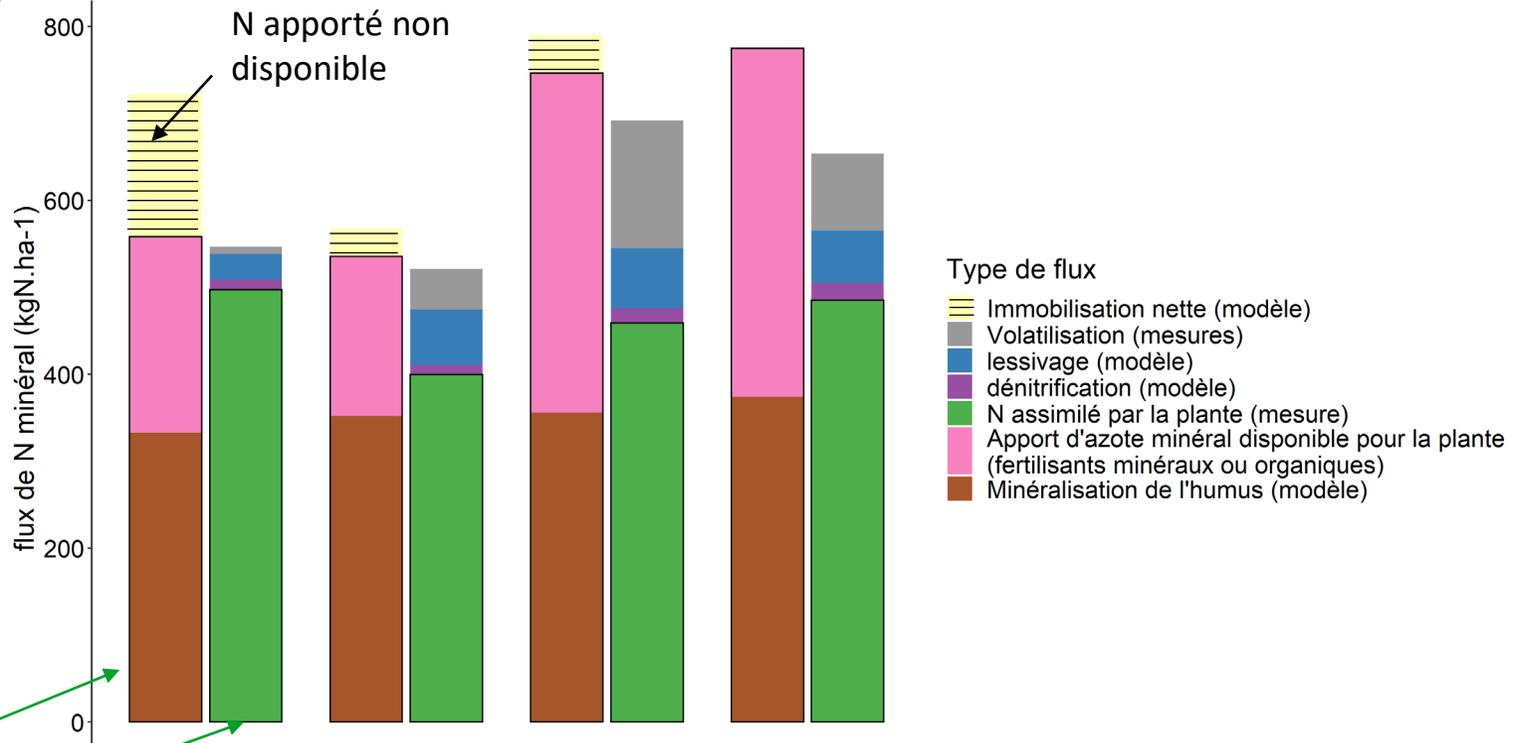
Importances des fuites par rapports aux apports

30 ans



comifer Gemas

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



Gauche = fourniture d'azote

Droite = assimilation des plantes



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

Moinard, 2020

Le cas de Nouzilly : principaux enseignements

30 ans



comifer Gemas

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

Suites du projet MétaMétha

30 ans



comifer Gemas

- 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) Moinard V., Redondi C., Etievant V., Savoie A., Duchene D., (2021). Short- and long-term impacts of anaerobic digestate spreading on earthworms in cropped soils. Applied Soil Ecology, In press, 168, pp.1-14.
- Etude logistique avec la CA45
- **DigestEauSol** (INRAE Transfert/INRAE) : impact des PRO sur les caractéristiques du sol (2021)
- Données MétaMétha versées au SI PRO du SOERE PRO (2022)
- Données utilisées dans différents projets notamment **FERTI-DIG**
- **Thèse Maxence Dodin** : télédétection des épandages (2022) Maxence Dodin, Florent Levavasseur, Antoine Savoie, Lucie Martin, Jean Foulon, Emmanuelle Vaudour, (2023). Sentinel-2 satellite images for monitoring cattle slurry and digestate spreading on emerging wheat crop: a field spectroscopy experiment, Geocarto International, 38:1.
- Projet **SOFORA** sur les émissions de composés organiques volatiles et la formation d'aérosols secondaires suite aux apports de PRO (ANR, 2023)



30 ans

16^e Rencontres

DE LA FERTILISATION RAISONNÉE ET DE L'ANALYSE

MétaMétha

Conséquences de l'introduction de la méthanisation dans une exploitation de polyculture-élevage sur les cycles du carbone et de l'azote

**Victor Moinard¹, Sophie Générmont¹, Antoine Savoie⁴, Florent Levavasseur¹,
Younes Bareha², Romain Girault¹, Jean-Marie Paillat³, Sabine Houot¹**

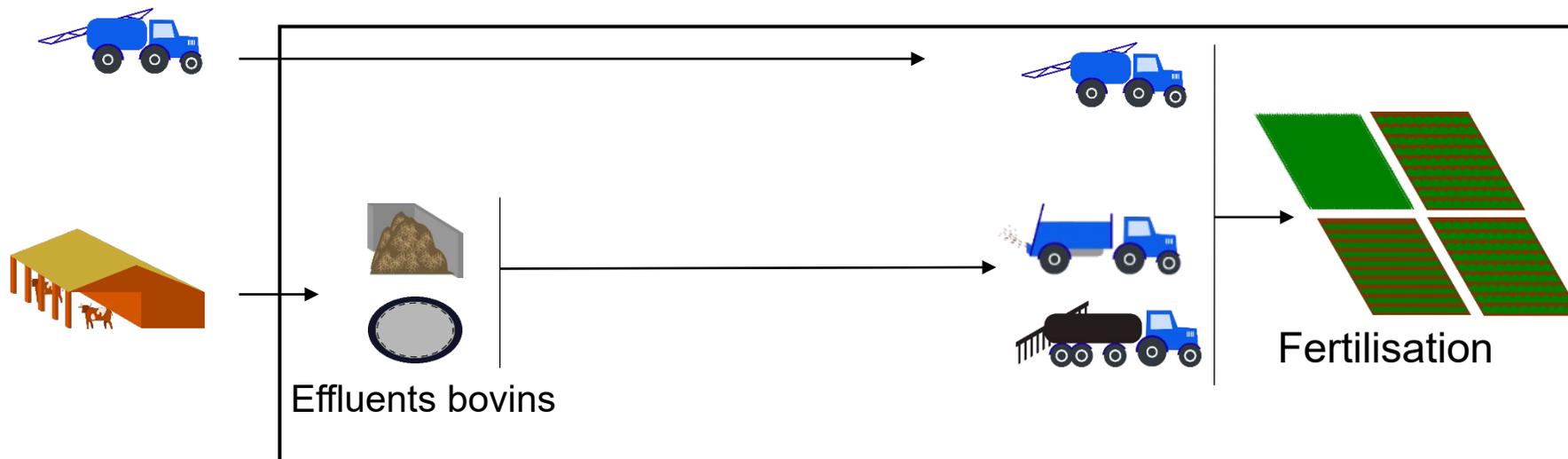
- INRAE**
- 1. UMR Ecosys, Thiverval-Grignon
 - 2. UMR SAS
 - 3. CIRAD
 - 4. UE PAO, Nouzilly

Effets de la méthanisation à l'échelle de l'exploitation



comifer Gemas

Engrais de synthèse



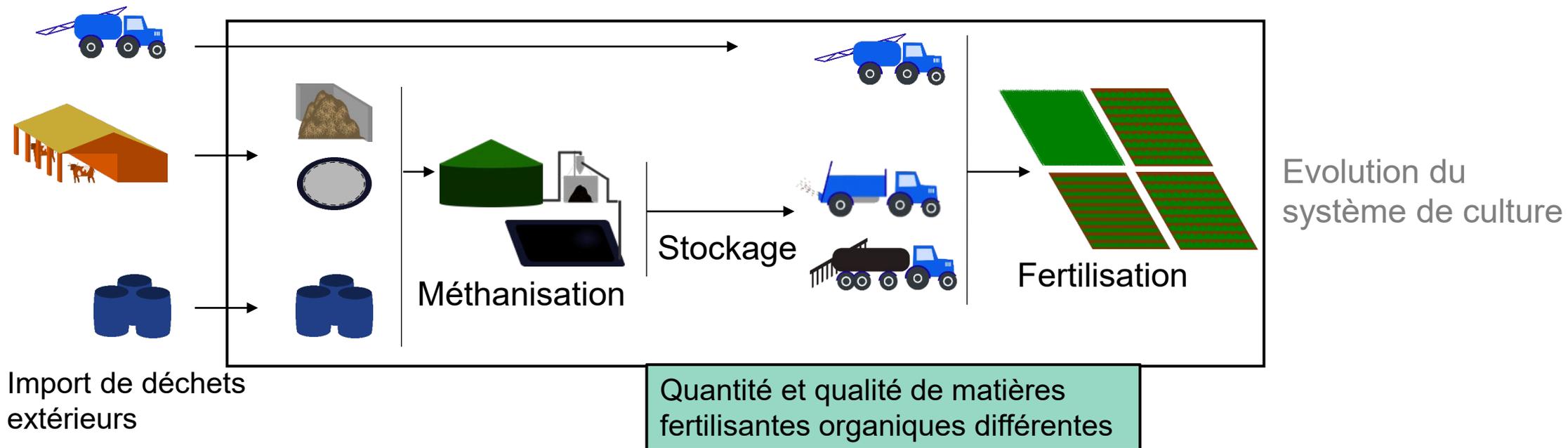
Moinard, 2021

Effets de la méthanisation à l'échelle de l'exploitation



comifer Gemas

Engrais de synthèse



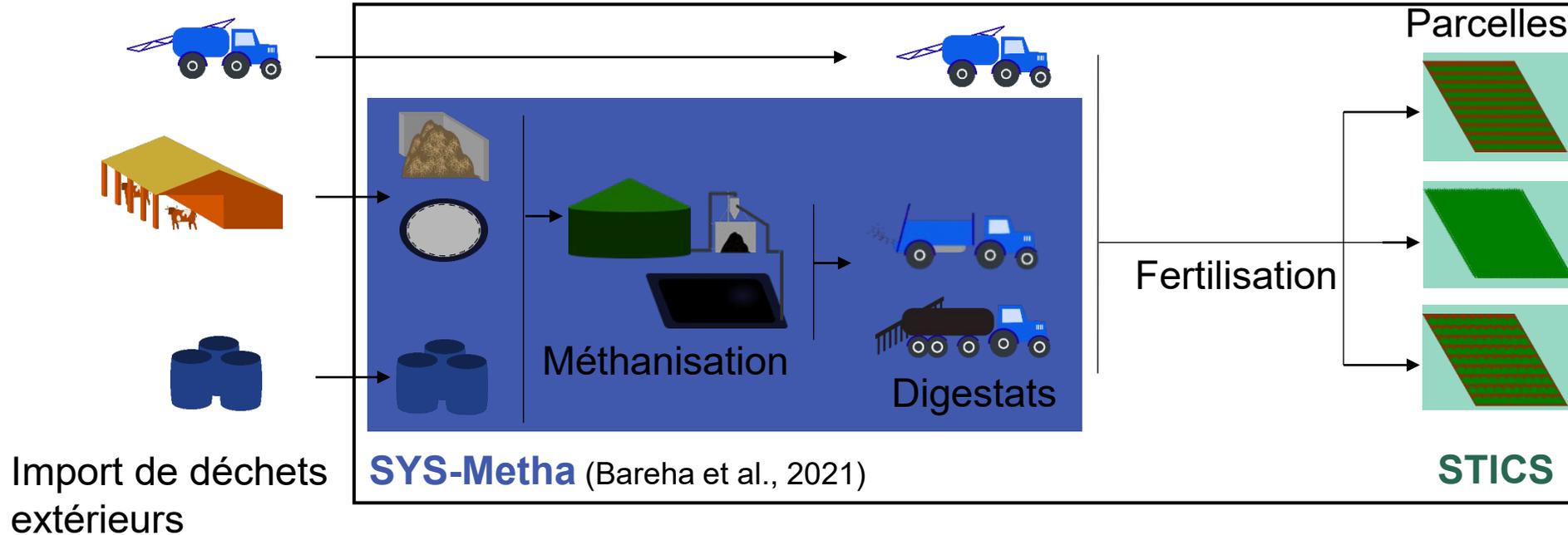
Moinard, 2021

Modèle à l'échelle d'une exploitation de polyculture-élevage bovin laitier



comifer Gemas

Engrais de synthèse



STICS (sol et culture ; Brisson et al., 2008) + **ALFAM2** (volatilisation NH_3 ; Hafner et al., 2019)

→ Simulation de l'épandage de digestat au champ

Moinard, 2021

2) Description des scénarios modélisés

30 ans



comifer Gemas

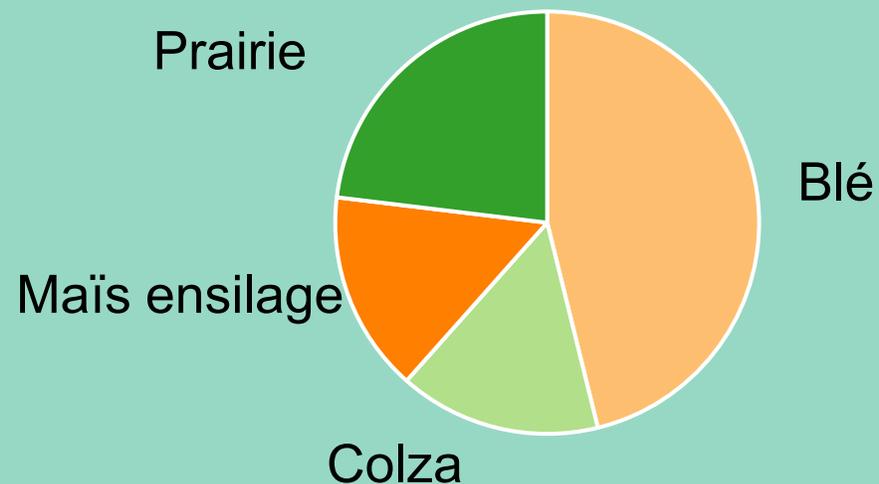
Conditions pédo-climatiques

1 sol (Luvisol, Nouzilly)
13 gC.kg⁻¹ ↔ 36 tC.ha⁻¹ (20cm)

1 année climatique répétée pendant 20 ans
choix : 2010 = référence
5 autres années possibles

Assolement

300 ha de cultures ; 10 parcelles



Moinard, 2021

Description des scénarios modélisés

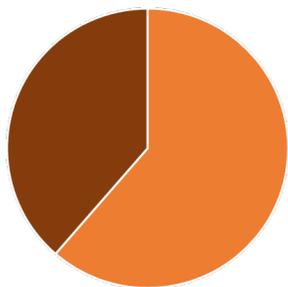
30 ans



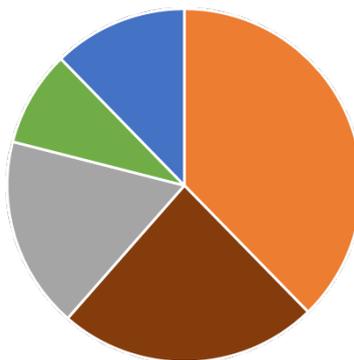
Traitement des effluents



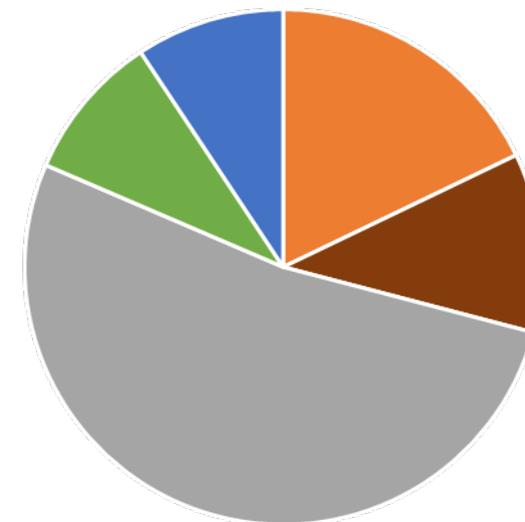
Pas de méthaniseur
1370t d'effluents bovin



Méthaniseur à la ferme
2200t de déchets
à majorité agricoles



Méthaniseur à la ferme
4700t de déchets à majorité
urbains et industriels



■ Lisier bovin ■ Fumier bovin ■ Déchets urbains et industriels ■ Autres déchets agricoles ■ Eaux sales

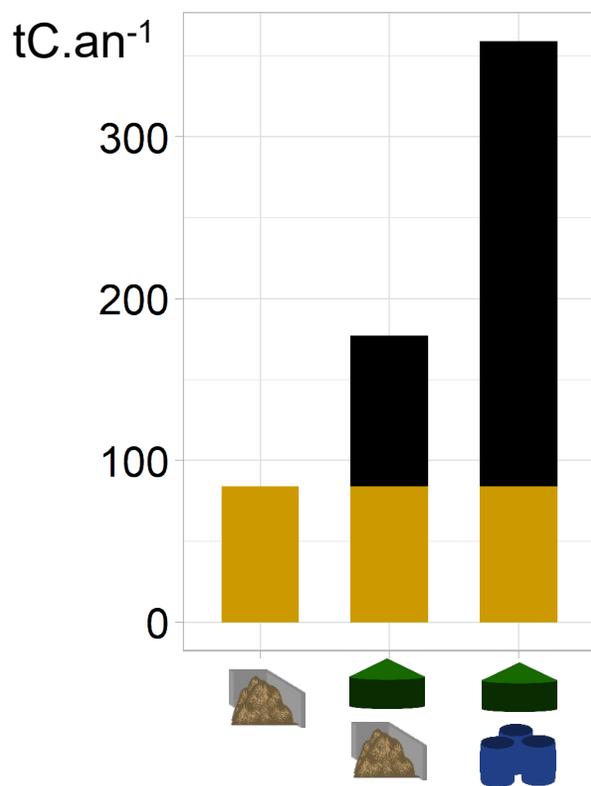
Scénario idéal : Couverture fosse (lisier et digestat) ; Séparation de phase ; Enfouissement après 24h si possible

Résultats de simulations : effets de l'import de déchets

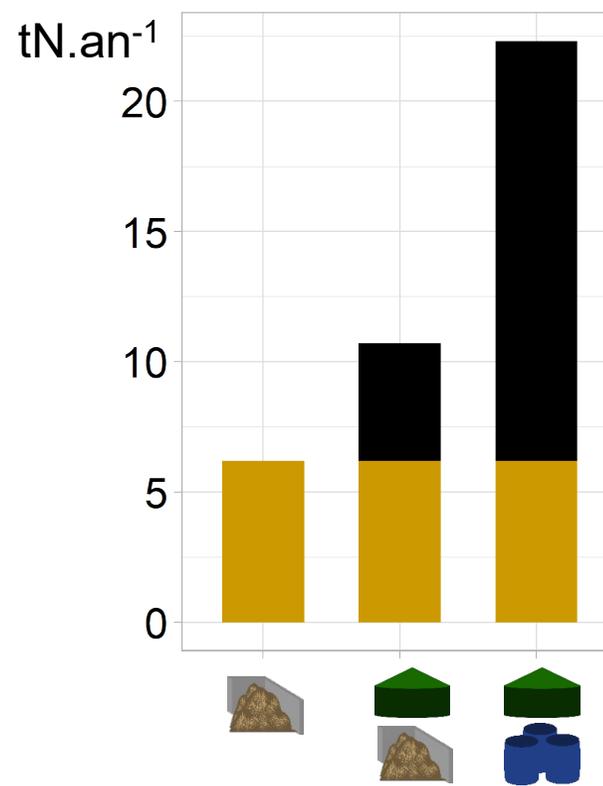


Import de matière

Carbone dans les effluents
et déchets organiques importés



Azote dans les effluents
et déchets organiques importés

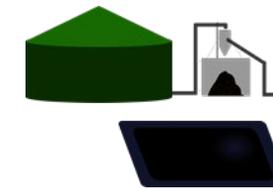
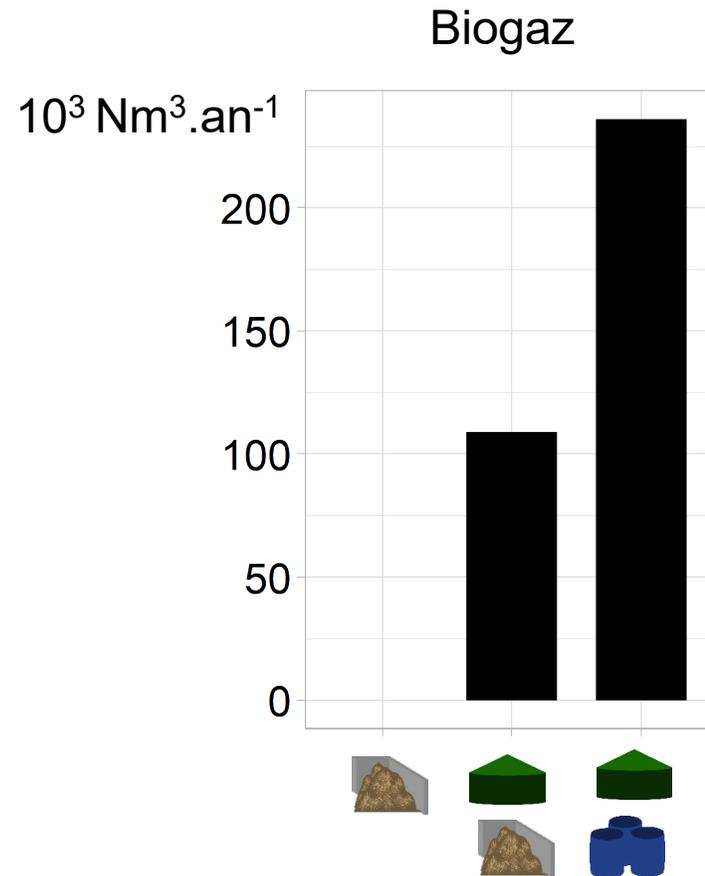


Moinard, 2021

Les apports de déchets extérieurs sont un facteur majeur influant sur les flux de C et N

Résultats de simulations : effets de l'import de déchets

Biogaz

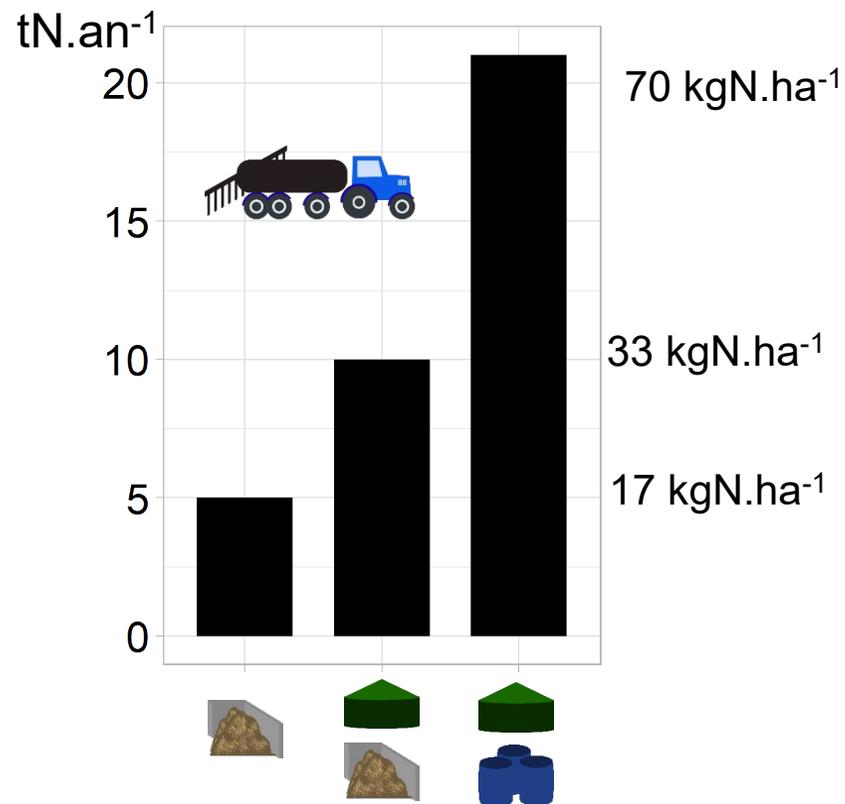


Moinard, 2021

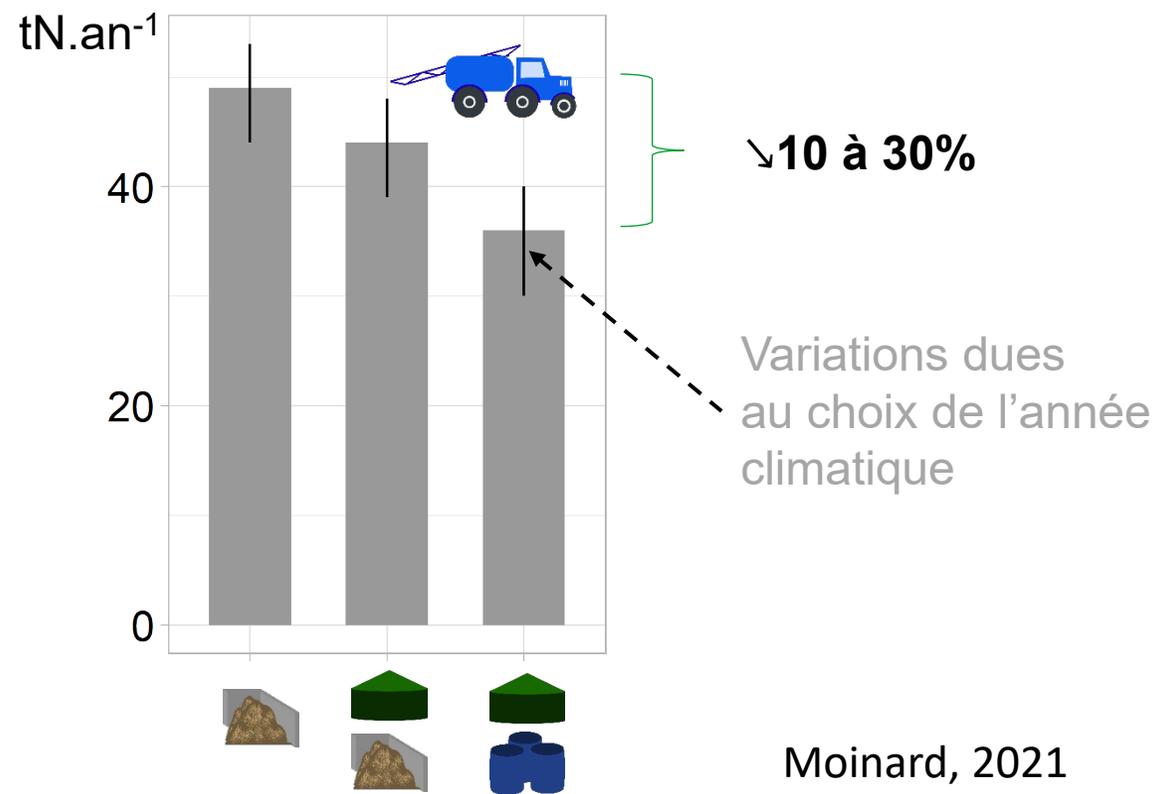
Résultats de simulations : effets de l'import de déchets

Épandage de matières fertilisantes organiques

N total épandu
(matières fertilisantes organiques)



N épandu
(engrais de synthèse)

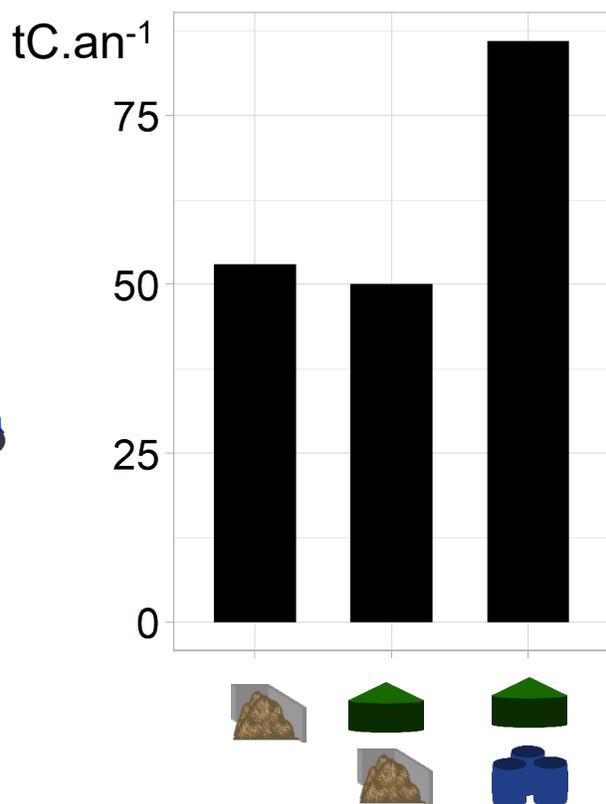


Moinard, 2021

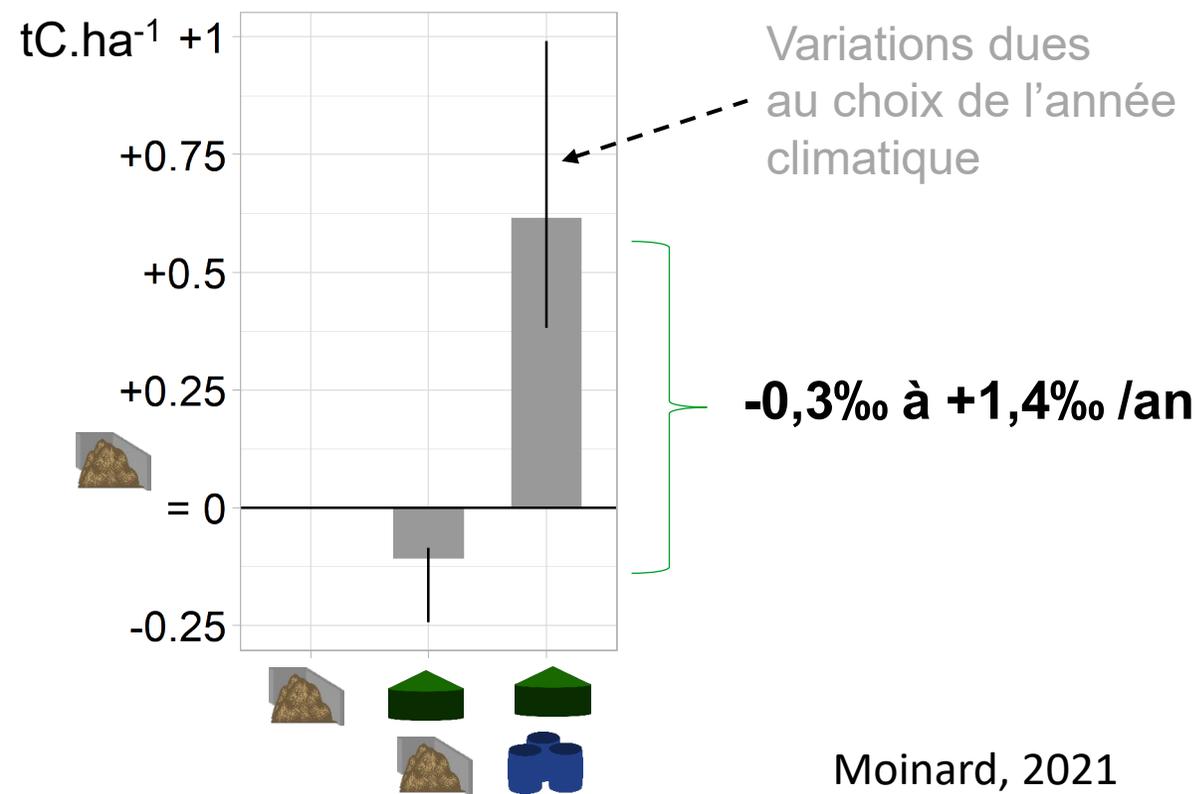
Résultats de simulations : effets de l'import de déchets

Épandage de matières fertilisantes organiques

C épandu
(matières fertilisantes organiques)



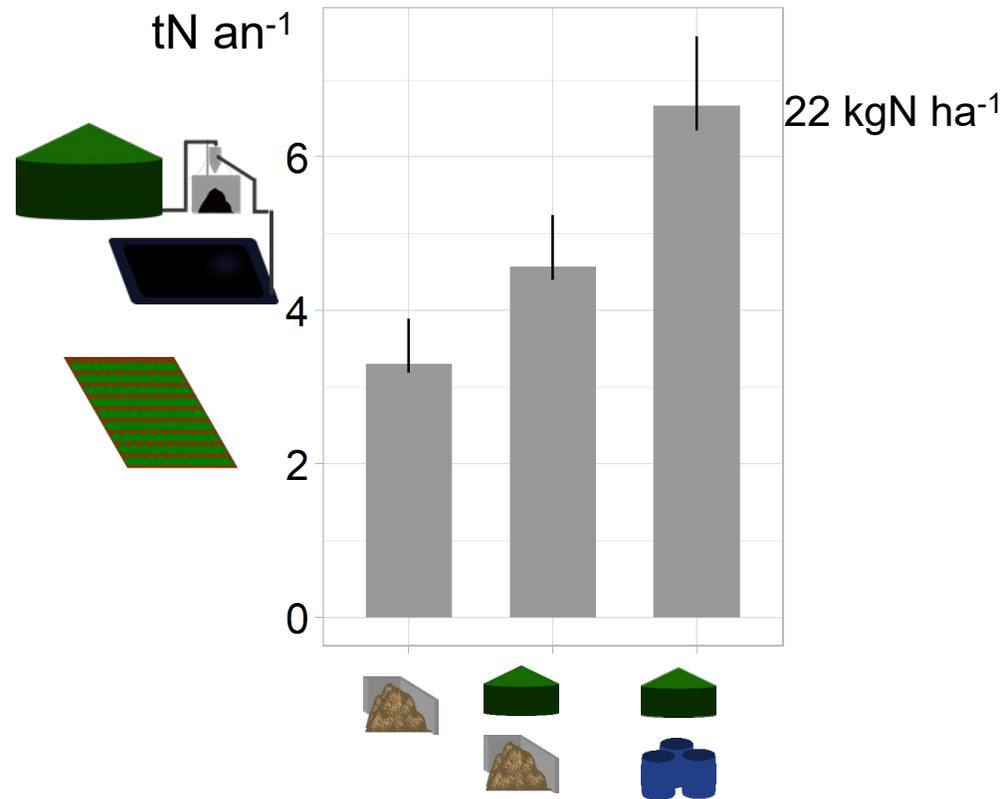
Stockage relatif de C
dans les sols (à 20 ans)



Moinard, 2021

Résultats de simulations : effets de l'import de déchets

Volatilisation de NH₃ (stockage et épandage)



Augmentation de 30 – 100%

Moinard, 2021

Résultats de simulations : résumé

30 ans



comifer Gemas



= référence



Engrais de synthèse



Production de biogaz



Stocks de C dans les sols



NH₃



Moinard, 2021

3) Résultats de simulations : comparaison de pratiques sur la volatilisation de NH_3

30 ans



comifer Comas

Lagune de stockage du digestat liquide non couverte

Injection du digestat dans le sol

Absence de séparation de phase

Littérature

↗ NH_3 Kupper et al. (2021)

↘ NH_3 Maris et al. (2021)

NH_3 : ↘ au stockage
↗ au champ

Effets indirects au champ ?

Échelle parcelle

Baldé et al. (2018). Partie 1.

Résultante ?

Simulation

NH_3 : ↗ 51% – 65%

NH_3 : ↘ 9% – 11%

NH_3 : ↗ 1% – 7%

Engrais de synthèse : ↗ 13% – 18%

→ Très fort impact positif de la couverture de lagune

→ Impact positif limité par les contraintes du système agricole

→ Impact positif modéré de la séparation de phase

Conclusion

30 ans



Intérêt de la méthanisation pour recycler les nutriments, si on limite la volatilisation

Effet modéré de la méthanisation sur le C des sols ?

Perspectives

Modélisation qui s'appuie sur MétaMétha

Apporte de nouveaux résultats, qui doivent être vérifiés au champ

Pourrait être utilisé pour étudier de nouvelles pratiques



30 ans

16^e Rencontres

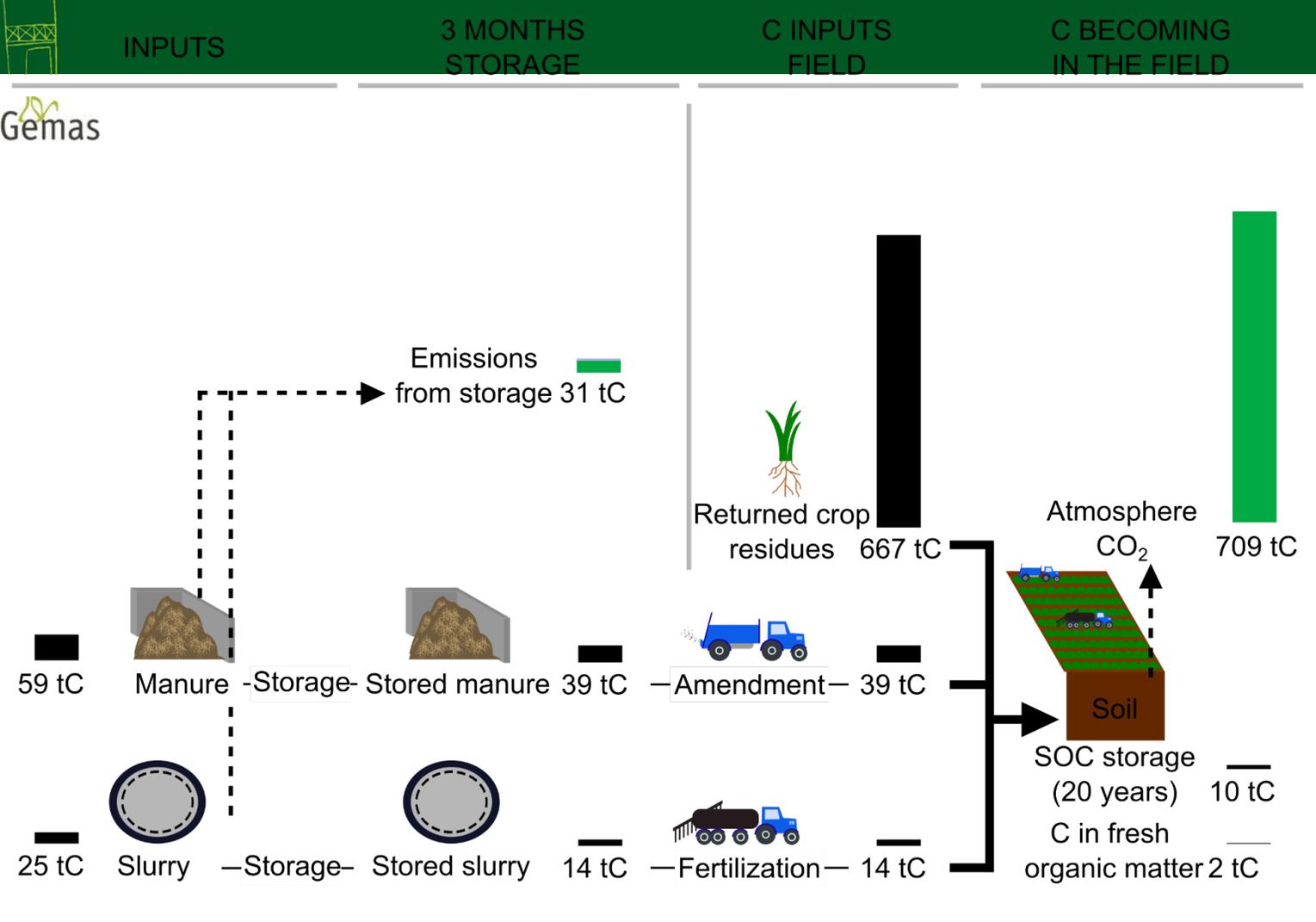
DE LA FERTILISATION RAISONNÉE ET DE L'ANALYSE

21, 22 et 23 novembre 2023

Palais des congrès de Tours

Simulations : résultats

30 ans



C_{org}
 CO₂
 CH₄

C fluxes during 1 year (no AD)



Simulations : résultats

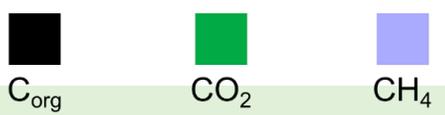
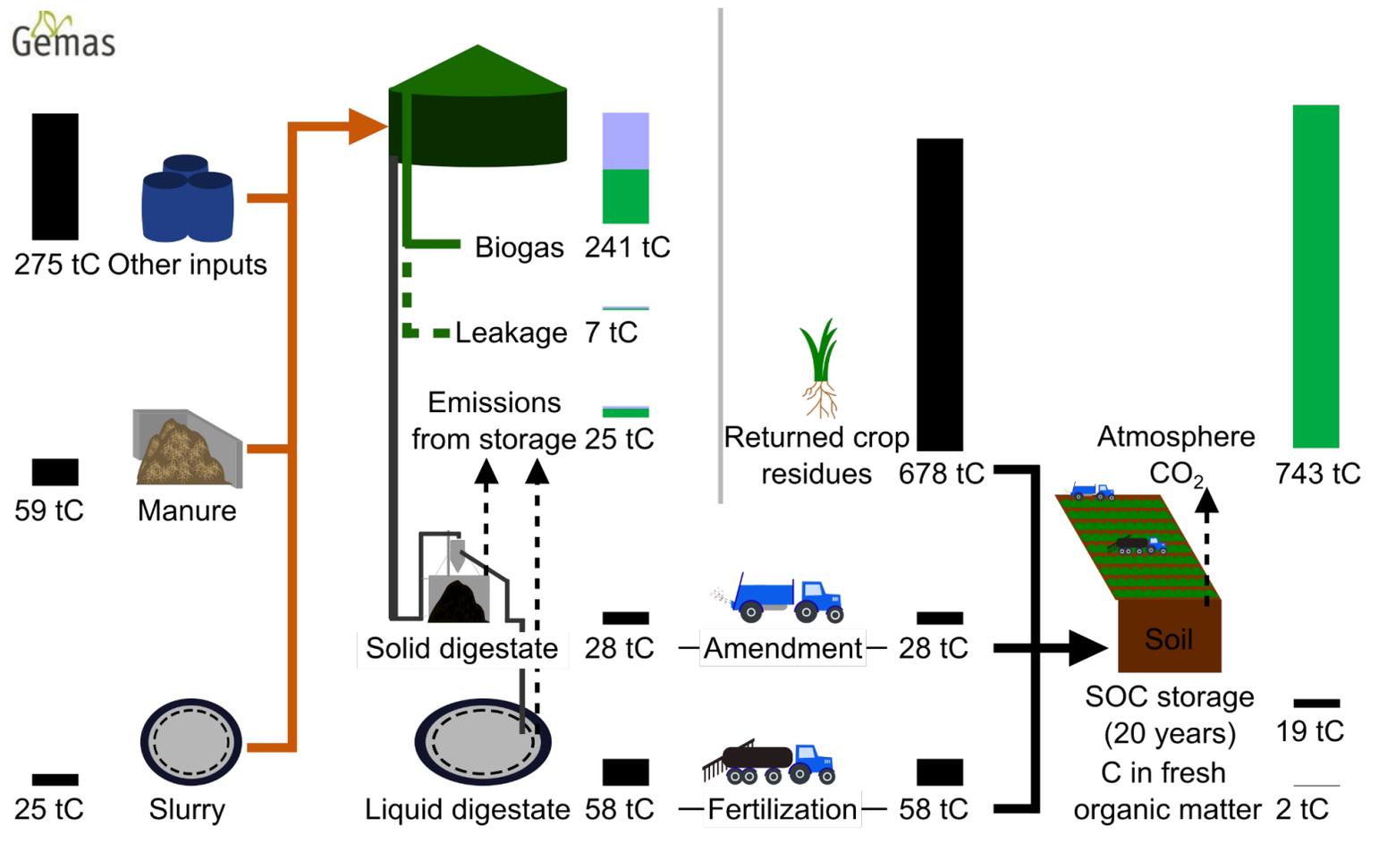
30 ans

INPUTS

DIGESTION

C INPUTS FIELD

C BECOMING IN THE FIELD



C fluxes during 1 year (ADb)

Simulations : résultats

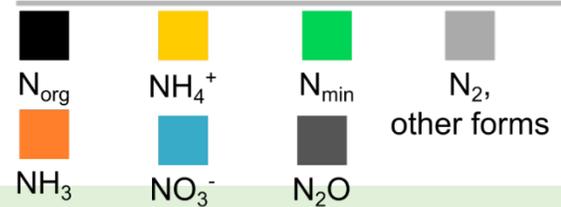
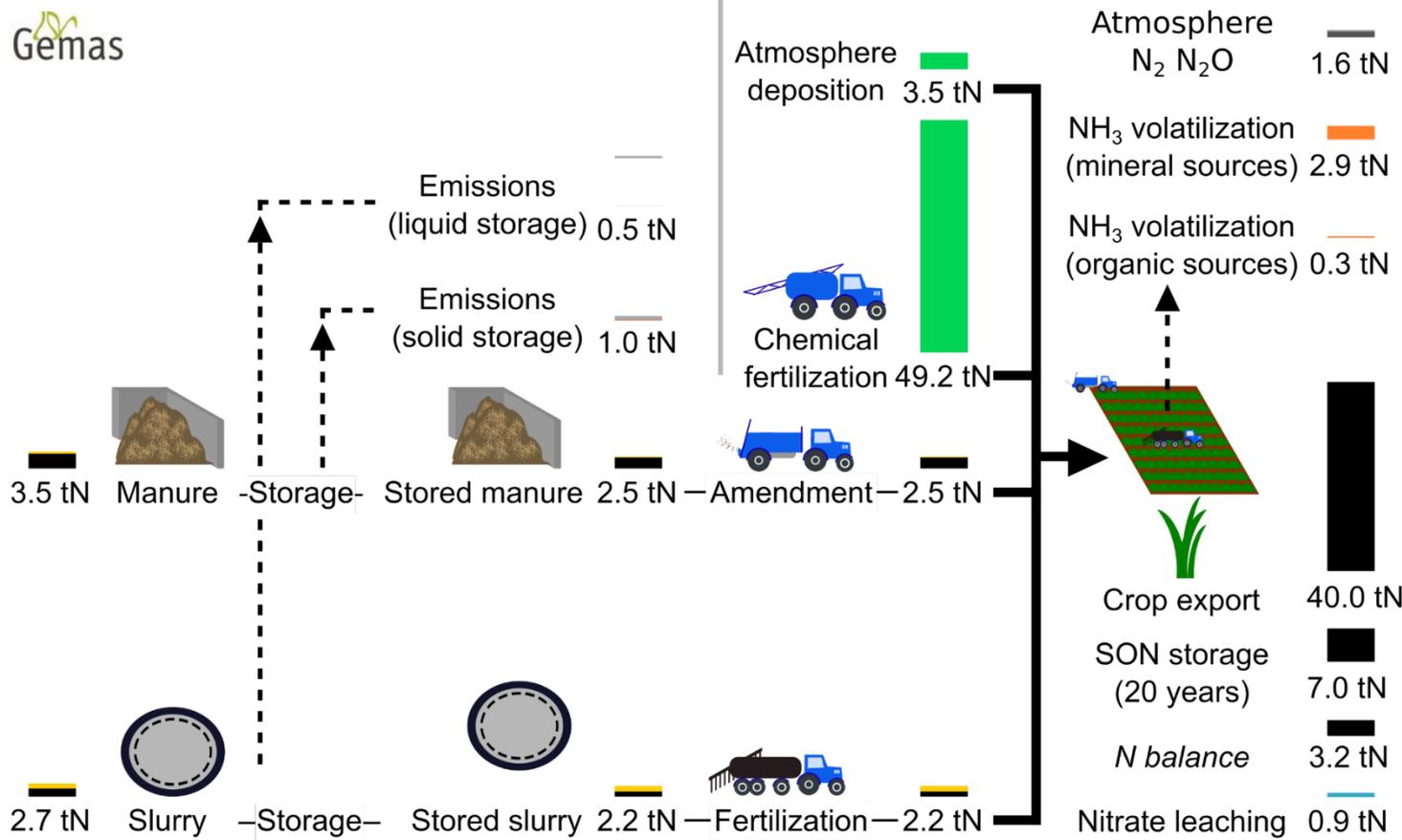
30 ans

INPUTS

3 MONTHS STORAGE

N INPUTS FIELD

N BECOMING IN THE FIELD



N fluxes during 1 year (no AD)

Simulations : résultats

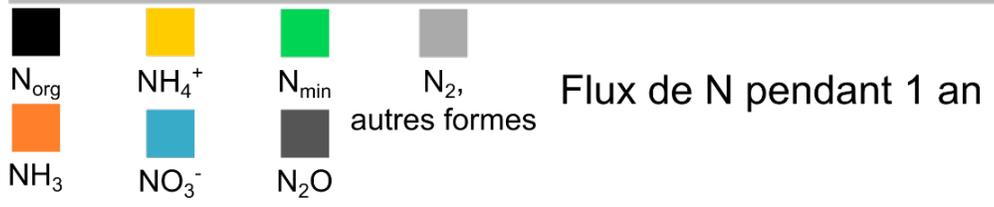
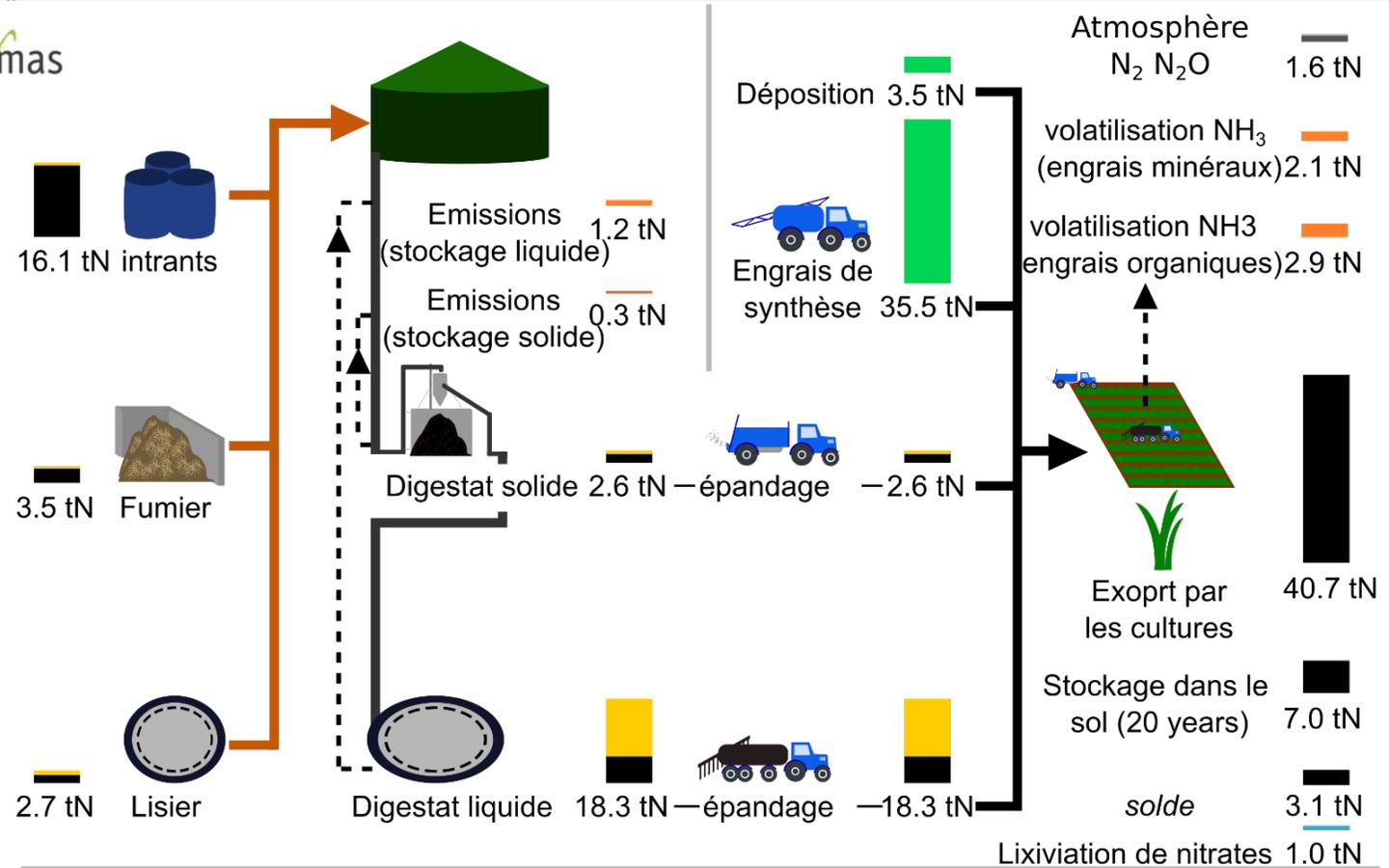
30 ans

ENTREES

DIGESTION

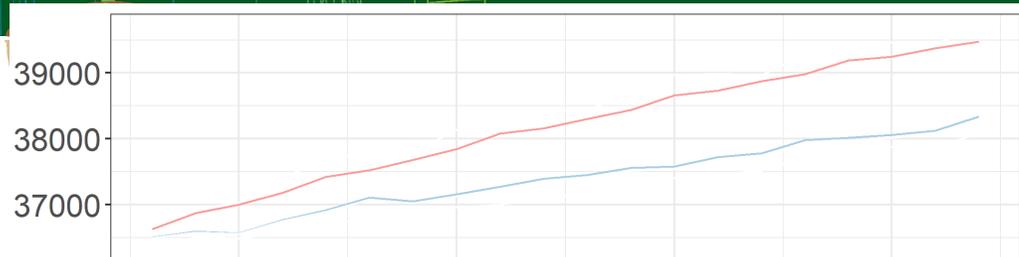
ENTREES CHAMPS

DEVENIR DU N AU CHAMP

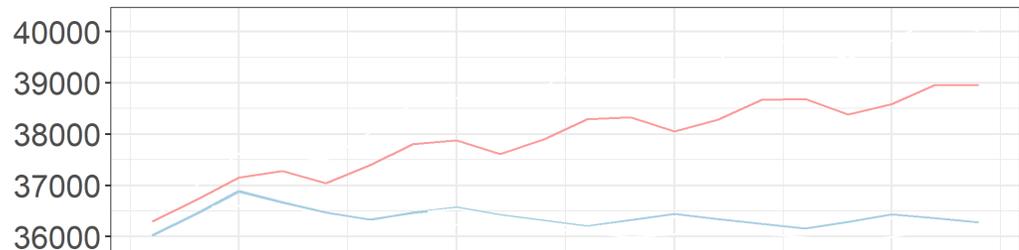


Méthode de simulation : Stockage de C

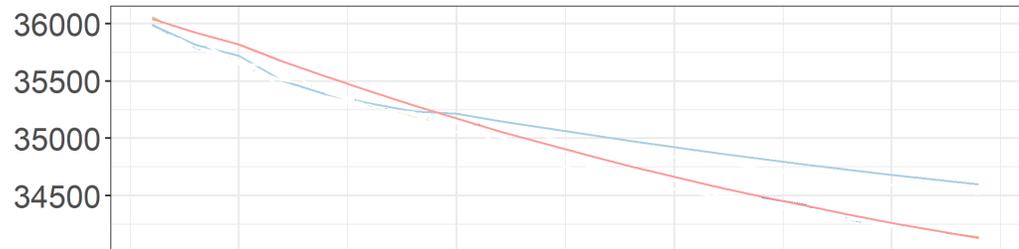
Stock de C (kg ha⁻¹)



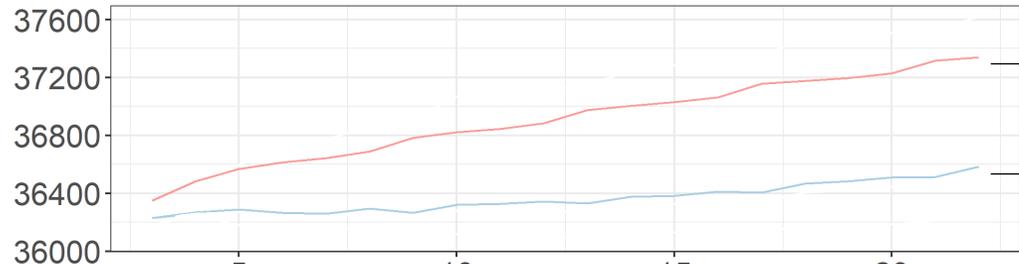
Colza – blé – blé



Maïs - blé



Maïs – blé – prairie



Moyenne

