



INRAE

Quelles solutions pour concilier méthanisation et agroécologie ?

Les rendez-vous INRAE au SPACE/17 septembre 2024

Programme

Introduction

Romain Girault, INRAE Bretagne-Normandie

Quels sont les défis à relever pour une méthanisation agroécologique ?

Fabrice Béline, INRAE Bretagne-Normandie

Comment les agriculteurs innovent sur le terrain ? Résultats d'enquêtes

Adeline Haumont, Association AILE

Combiner légumineuses et méthanisation pour viser une plus grande autonomie en fertilisants azotés

Olivier Therond, INRAE Grand Est - Colmar

Développer des pratiques de méthanisation en tenant compte de la vie du sol

Pascal Piveteau, INRAE Bretagne-Normandie

Conclusion

Armelle Damiano, Association AILE

INRAE

> Introduction

Romain Girault, INRAE Bretagne-Normandie



INRAE

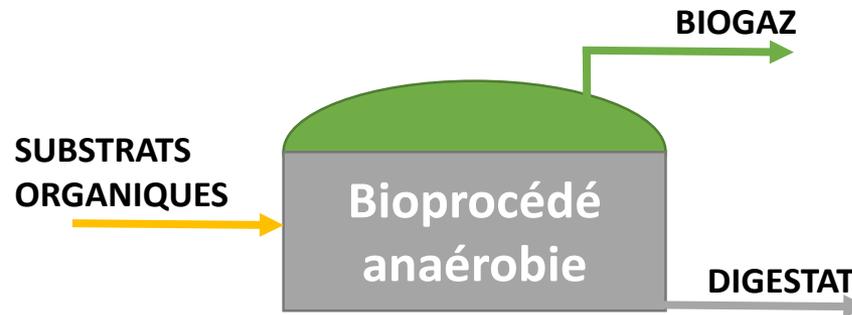
**➤ Quels sont les défis à relever pour une
méthanisation agroécologique ?**

Fabrice Béline, INRAE Bretagne-Normandie



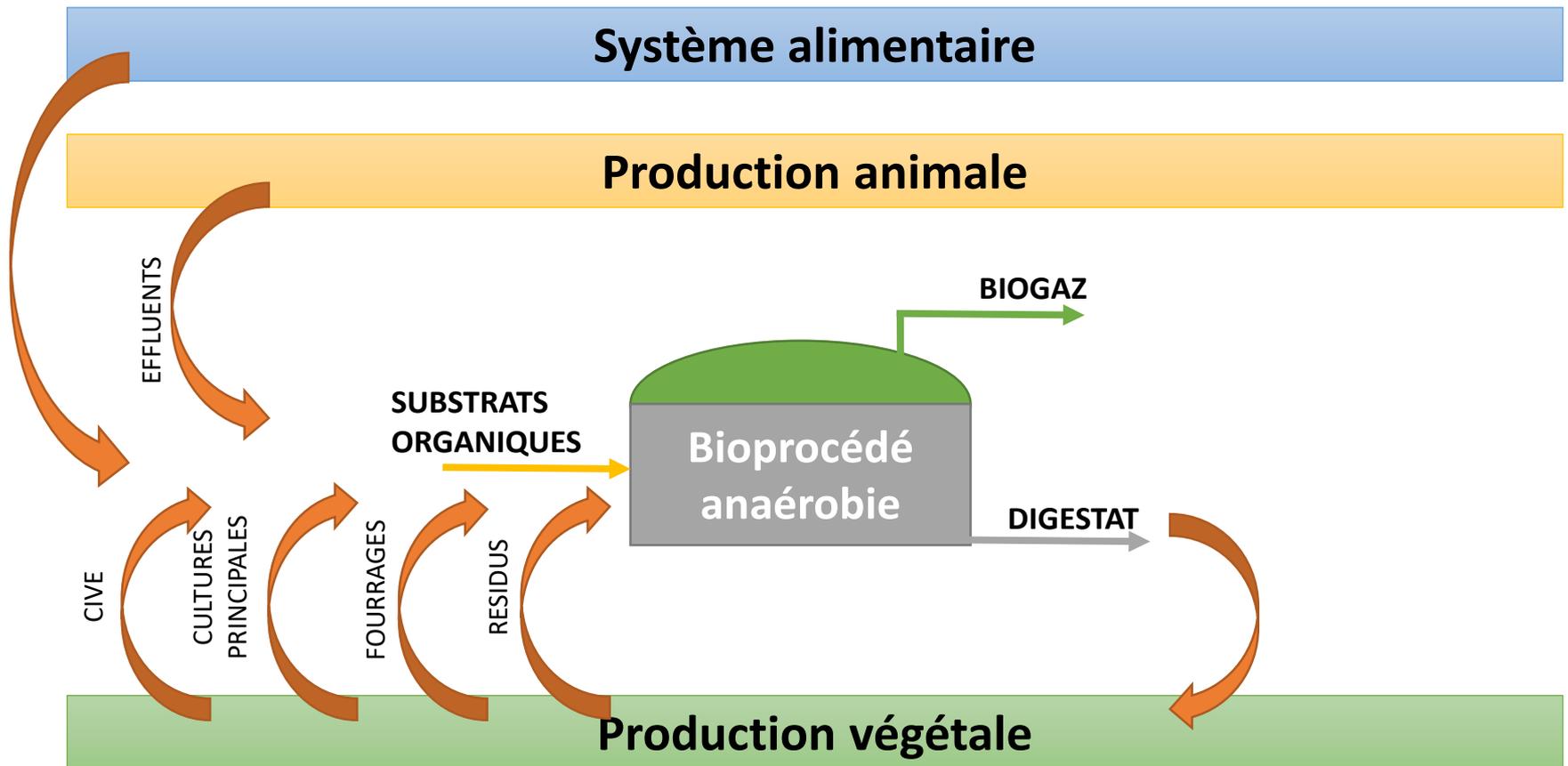
➤ La méthanisation ?

Un bioprocédé



➤ La méthanisation ?

Un bioprocédé en forte interaction avec le système de production



➤ L'agroécologie?

Un concept qui reste sujet à débat...

- D'un mouvement de résistance à la modernisation de l'agriculture (1970-1980 en Amérique latine) ... à des politiques publiques d'intégration de nouvelles technologies innovantes dans le système de production agricole (France 2030, PEPR Agroécologie et numérique): le grand écart sémantique de l'histoire!

➤ L'agroécologie?

Un concept qui reste sujet à débat...

- D'un mouvement de résistance à la modernisation de l'agriculture (1970-1980 en Amérique latine) ... à des politiques publiques d'intégration de nouvelles technologies innovantes dans le système de production agricole (France 2030, PEPR Agroécologie et numérique): le grand écart historique!
- Un mot « valise » parmi d'autres ?

ÉCONOMIE CIRCULAIRE

Production de biens & services limitant l'usage des ressources et la production de déchets via le **ré-usage et le recyclage**

BIOÉCONOMIE

Production de biens & services fondée sur l'usage de **biomasses issue de la photosynthèse**

BIOÉCONOMIE CIRCULAIRE

AGROÉCOLOGIE

Production agricole valorisant la diversité biologique et les **processus naturels**, respectueuse des hommes et de leur **environnement**

➤ L'agroécologie?

Un concept qui reste sujet à débat...

- D'un mouvement de résistance à la modernisation de l'agriculture (1970-1980 en Amérique latine) ... à des politiques publiques d'intégration de nouvelles technologies innovantes dans le système de production agricole (France 2030, PEPR Agroécologie et numérique): le grand écart historique!
- Un mot « valise » parmi d'autres ? [association de 2 termes pour une nouvelle idée / mots fourre-tout ou chacun y trouve ce qu'il souhaite]

ÉCONOMIE CIRCULAIRE

Production de biens & services limitant l'usage des ressources et la production de déchets via le ré-usage et le recyclage

BIOÉCONOMIE

Production de biens & services fondée sur l'usage de biomasses issue de la photosynthèse

Une vision anthropo-centrée

AGROÉCOLOGIE

Une pratique agricole respectueuse et les processus naturels, respectueuse des hommes et de leur environnement

Une vision écosystème-centrée

➤ L'agroécologie?

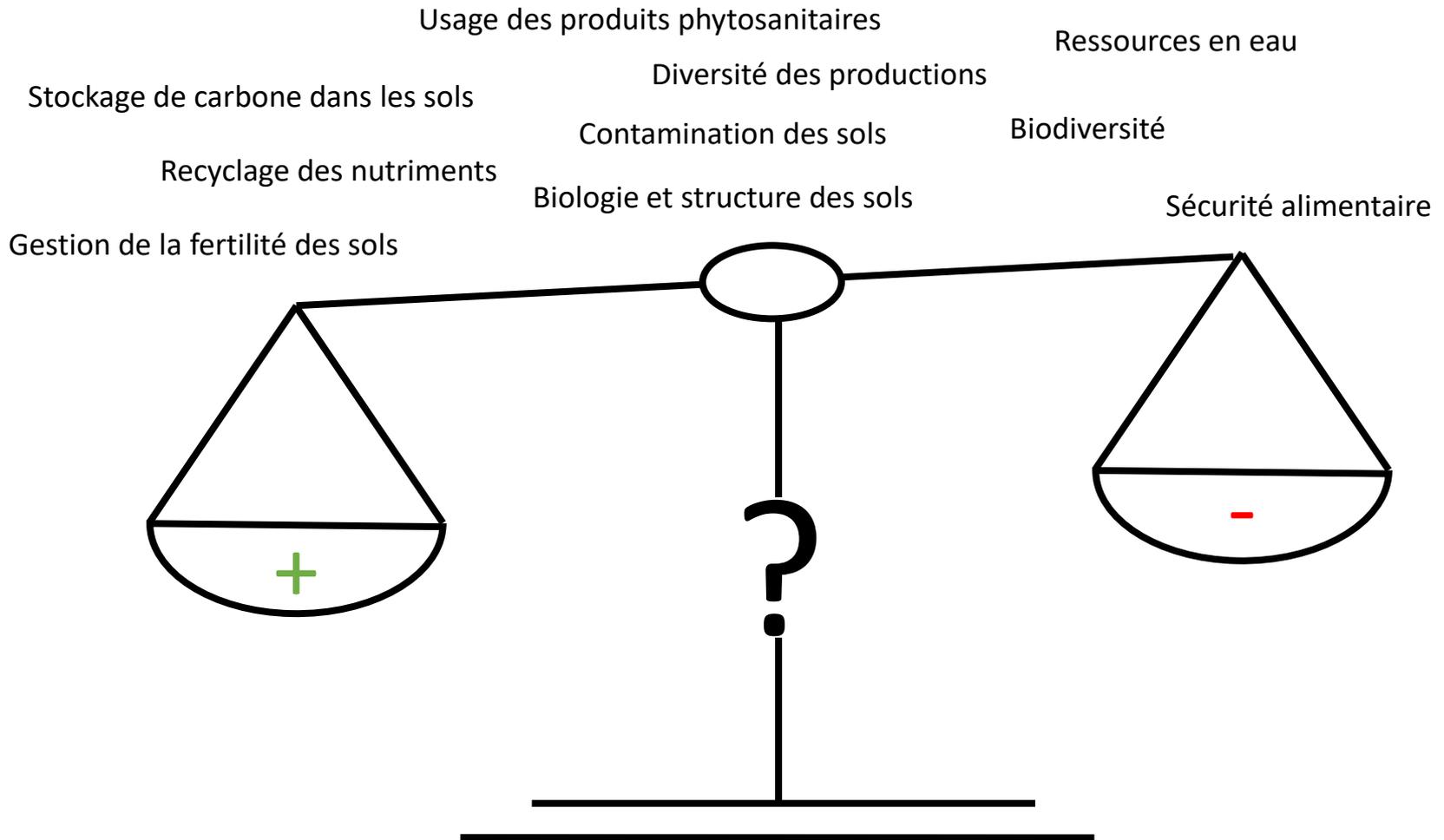
Un concept qui reste sujet à débat...

Des pratiques qui s'appuient sur les processus biologiques et écologiques (services écosystémiques) pour la production agricole à travers plusieurs principes:

- Assurer la qualité des sols
- Assurer la sécurité alimentaire
- Préserver les ressources en eau
- Diversifier les productions
- Favoriser la biodiversité
- Réduire l'utilisation d'intrants (engrais, phyto, énergie)
- Recycler les ressources (nutriments notamment)

➤ Méthanisation & agroécologie

Quels synergies et antagonismes ?



➤ Méthanisation & agroécologie

Quels synergies et antagonismes ?



La méthanisation agricole en France : contribution à la transition agroécologique ou opportunité énergétique ?

Synthèse du workshop organisé par le GIS APIVALE les 19 et 20 octobre 2022 sur le site de Rennes de l'Institut Agro

Fabrice Beline¹, Annabelle Couvert², Francine De Quelen³, Romain Girault⁴, Sabine Houot⁴, Marie-Hélène Jeuffroy⁵, Julie Jimenez⁶, Caroline Le Maréchal⁷, Thomas Lendormi⁸, Safya Menasseri⁹, Jean-Philippe Steyer⁶.

¹INRAE, UR OPAALE, CS 64427, 35044 Rennes Cedex

² Univ Rennes, Ecole Nationale Supérieure de Chimie de Rennes, CNRS, ISCR - UMR 6226, F-35000 Rennes, France

³INRAE, InstitutAgro, UMR PEGASE, 35590 Saint Gilles

⁴INRAE, Université Paris-Saclay, AgroParisTech, INRAE, UMR ECOSYS, CS 20040, 91123 Palaiseau cedex

⁵Université Paris-Saclay, AgroParisTech, INRAE, UMR Agronomie, CS 20040, 91123 Palaiseau cedex

⁶INRAE, Univ Montpellier, LBE, 102 avenue des étangs, 11100 Narbonne

⁷Anses, Laboratoire de Ploufragan-Plouzané-Niort, BP53, 22440 Ploufragan

⁸Univ. Bretagne Sud, UMR CNRS 6027, IRDL, F-56300 Pontivy, France

⁹ INRAE, L'Institut Agro, SAS, Rennes 35000, France



Marie-Hélène Jeuffroy
Vincent Jean-Baptiste
Christian Couturier
Daniel Salmon
Xavier Poux
Nicolas Tonnet
Fabrice Beline
Florent Levavasseur
Jeanne Cadiou
Sandrine Espagnol
Armelle Damiano
Laura Toulet
Julie Jimenez
Antonio Bispo
Guénola Pérès
Safya Menasseri
Dominique Patureau
Anne Marie Pourcher
Pascal Piveteau
Sylvain Marsac
Romain Girault
Sabine Houot
Lorie Hamelin
Thomas Nesme
Matthieu Carof



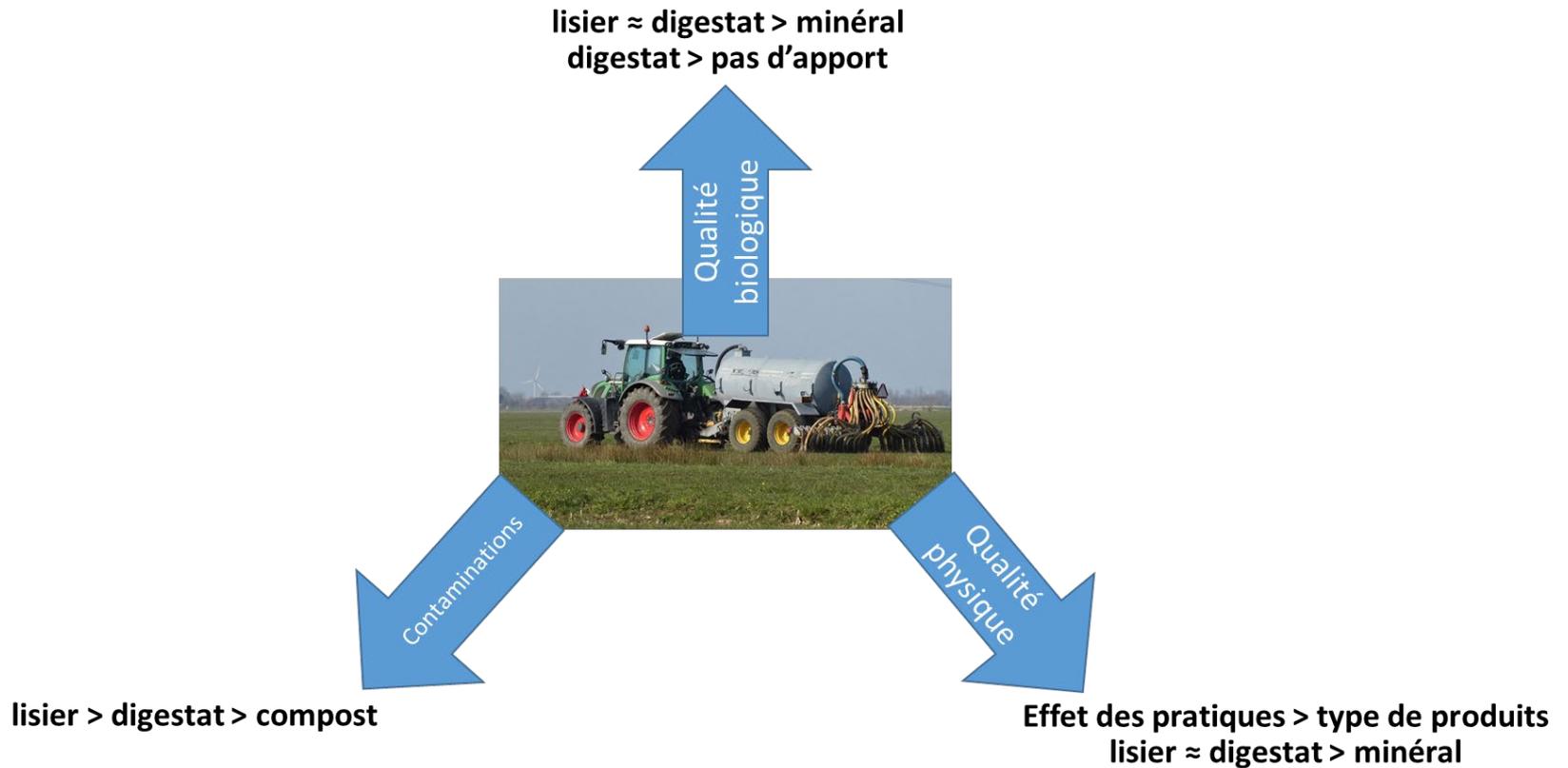
INRAE

Quelles solutions pour concilier méthanisation et agroécologie ?

Les rendez-vous INRAE au SPACE/17 septembre 2024

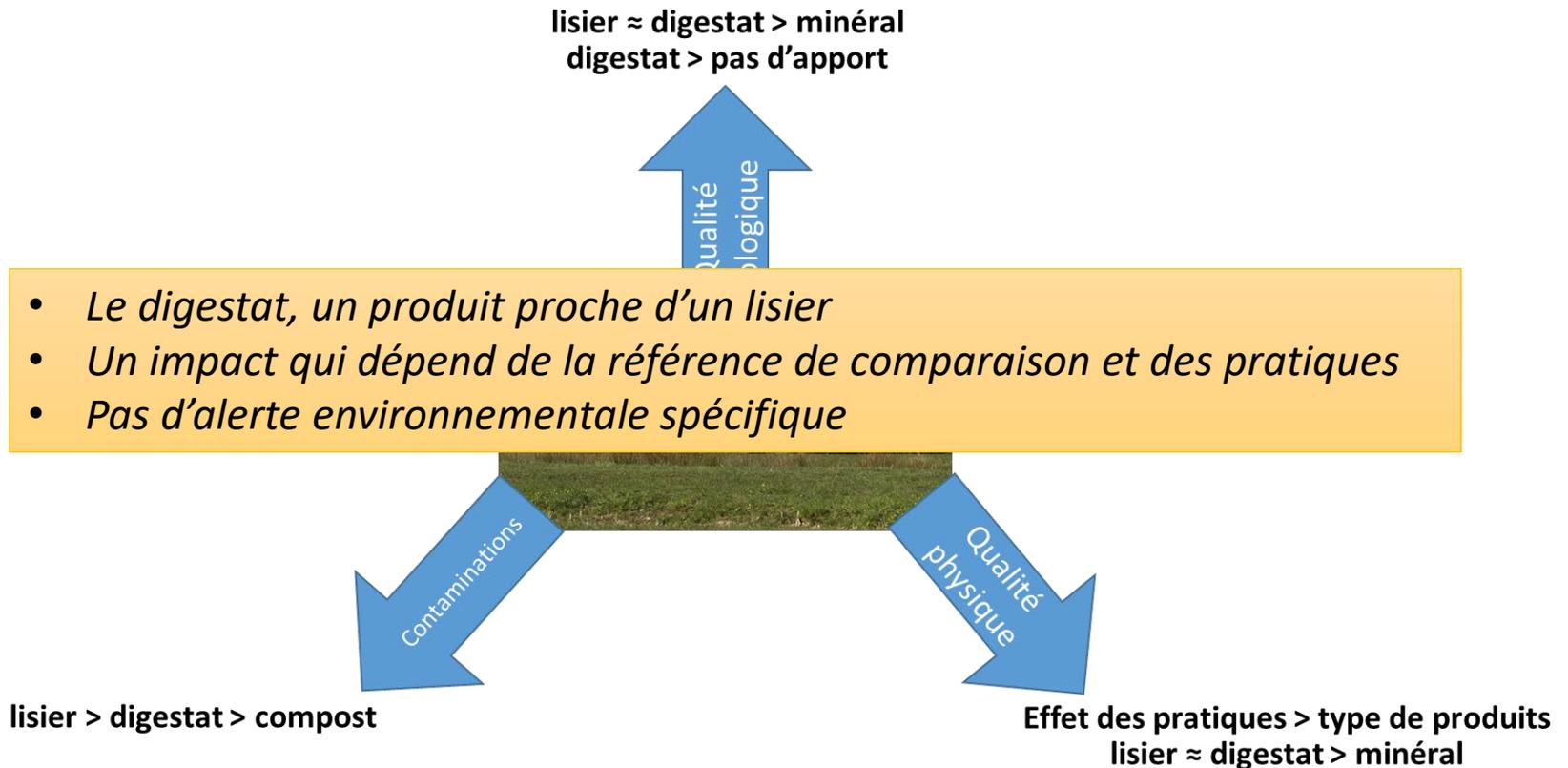
➤ Méthanisation & agroécologie

Quels synergies et antagonismes ? Retour au sol des digestats



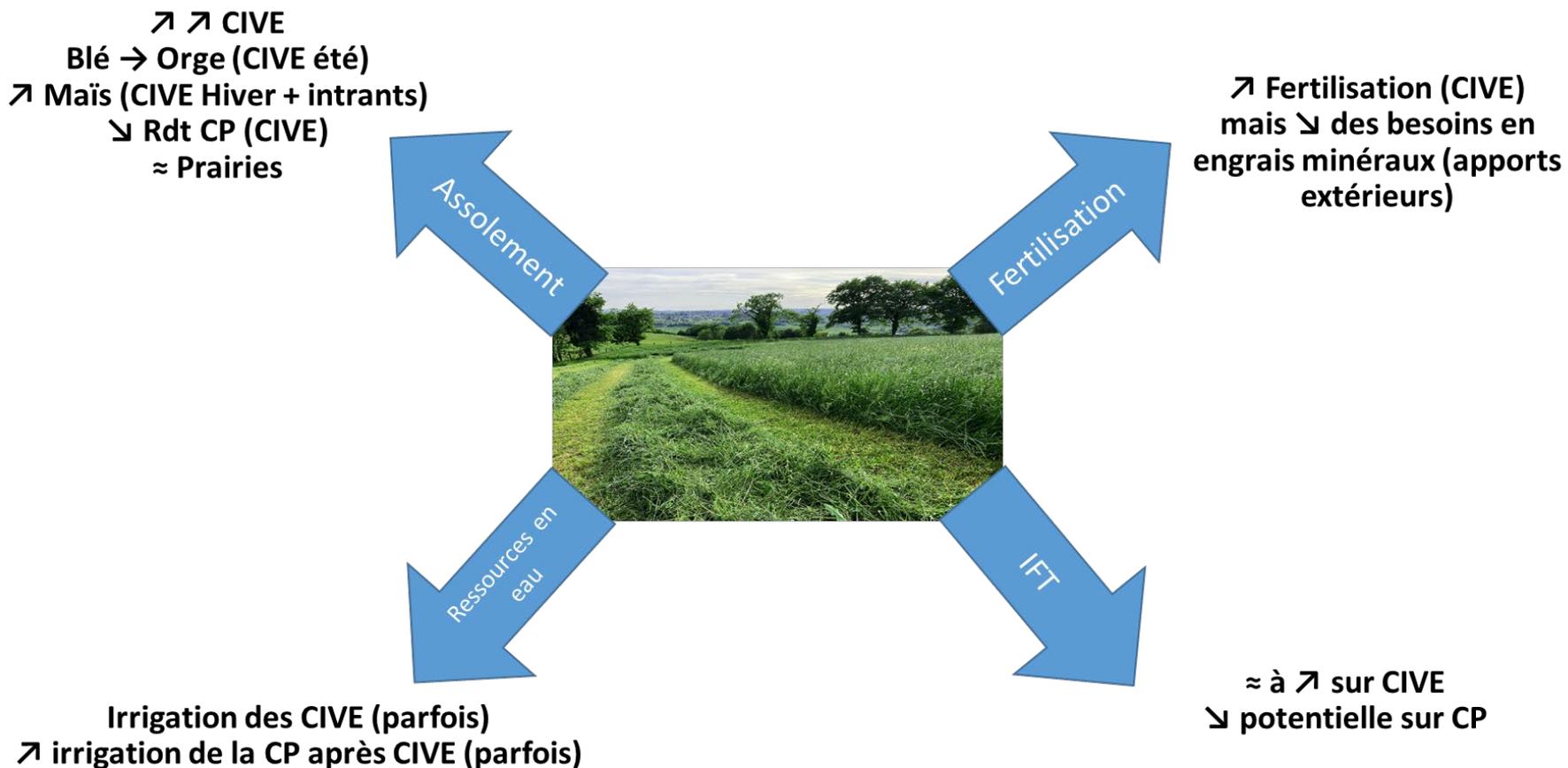
➤ Méthanisation & agroécologie

Quels synergies et antagonismes ? Retour au sol des digestats



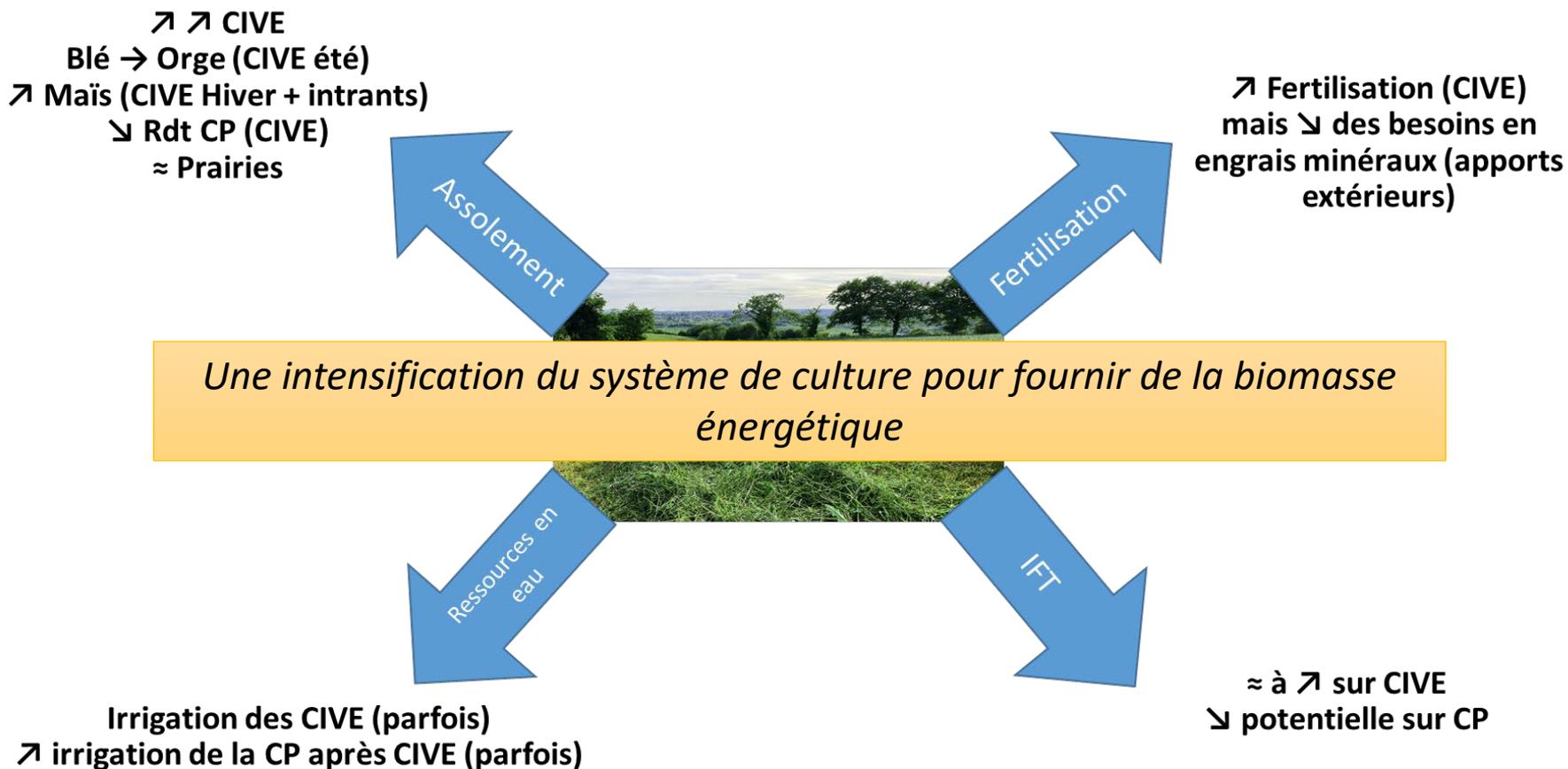
➤ Méthanisation & agroécologie

Quels synergies et antagonismes ? Système de culture



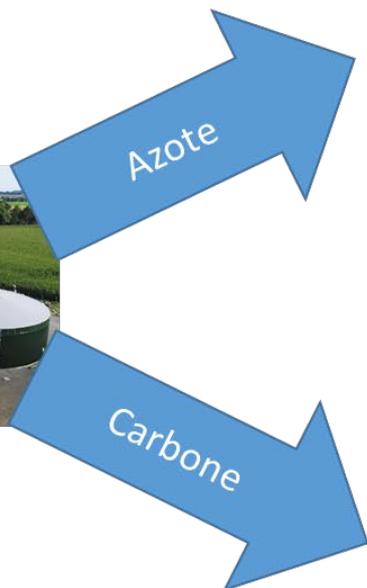
➤ Méthanisation & agroécologie

Quels synergies et antagonismes ? Système de culture



➤ Méthanisation & agroécologie

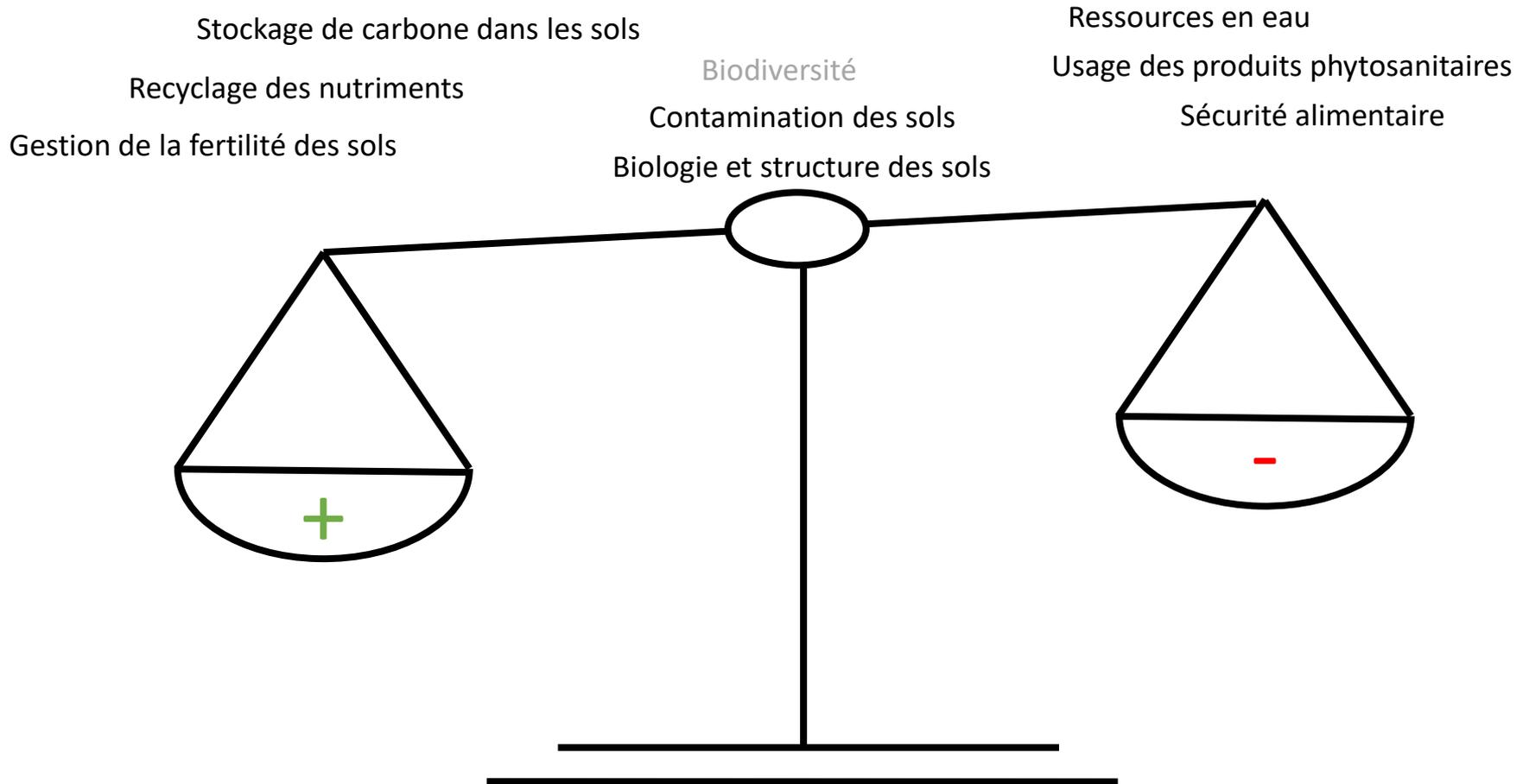
Quels synergies et antagonismes ? Bouclage des cycles



- **Intrants extérieurs: ↗ recyclage de N mais limité** (*< 6% au niveau macro et 20-30% au niveau micro*)
 - **Gain d'efficacité de l'N dépend des pratiques**
 - **↗↗ des pertes NH₃ (point de vigilance)**
 - **≈ des pertes de N₂O & NO₃⁻**
 - **Peu d'impact sur fixation d'N (légumineuse) aujourd'hui**
-
- **↗ sortie C et ↗↗ entrée de C => ≈ à ↗ stockage (CIVE + intrants extérieurs)**
 - **↘ GES notamment avec effluents d'élevage**
 - **Attention aux fuites de CH₄ (point de vigilance) notamment intrants végétaux**

➤ Méthanisation & agroécologie

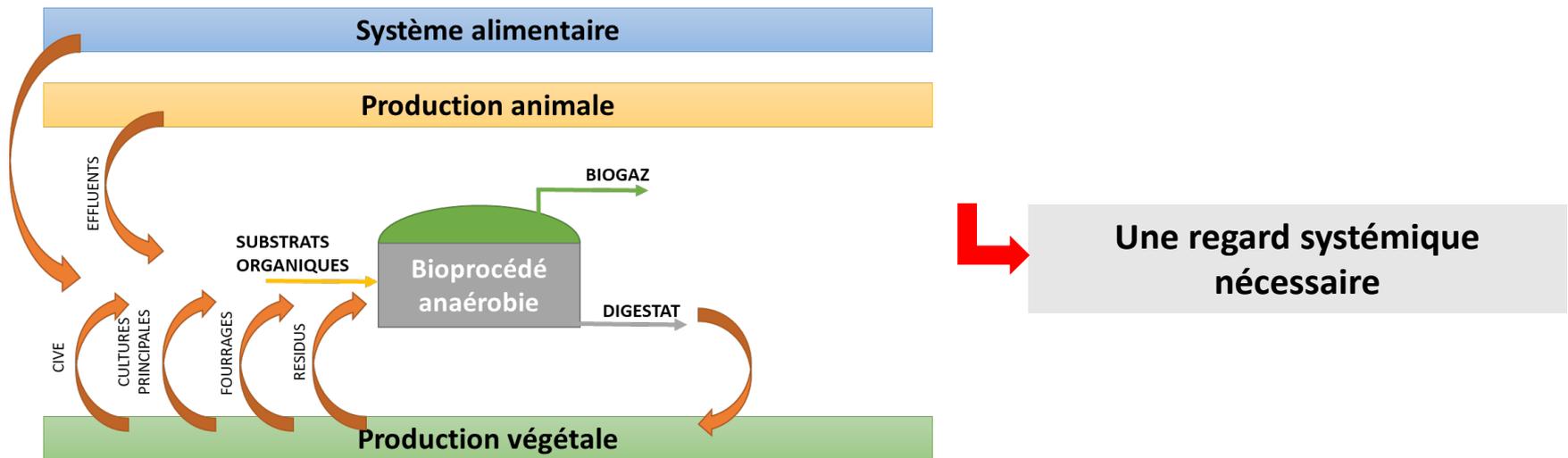
Quels synergies et antagonismes ?



➤ Méthanisation & agroécologie

Quels synergies et antagonismes ?

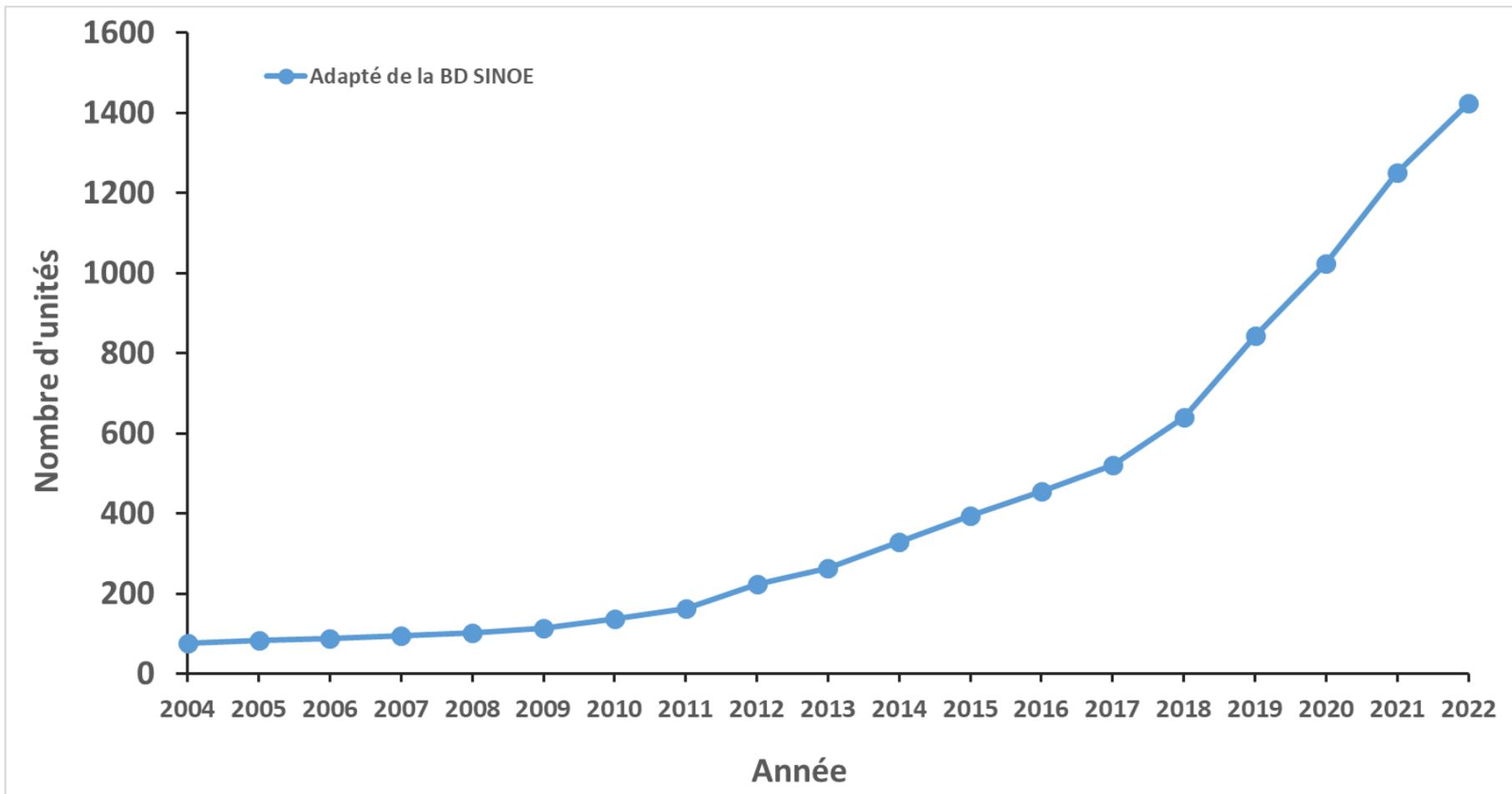
- Stockage de carbone dans les sols
- Recyclage des nutriments
- Gestion de la fertilité des sols
- Biodiversité
- Contamination des sols
- Biologie et structure des sols
- Ressources en eau
- Usage des produits phytosanitaires
- Sécurité alimentaire





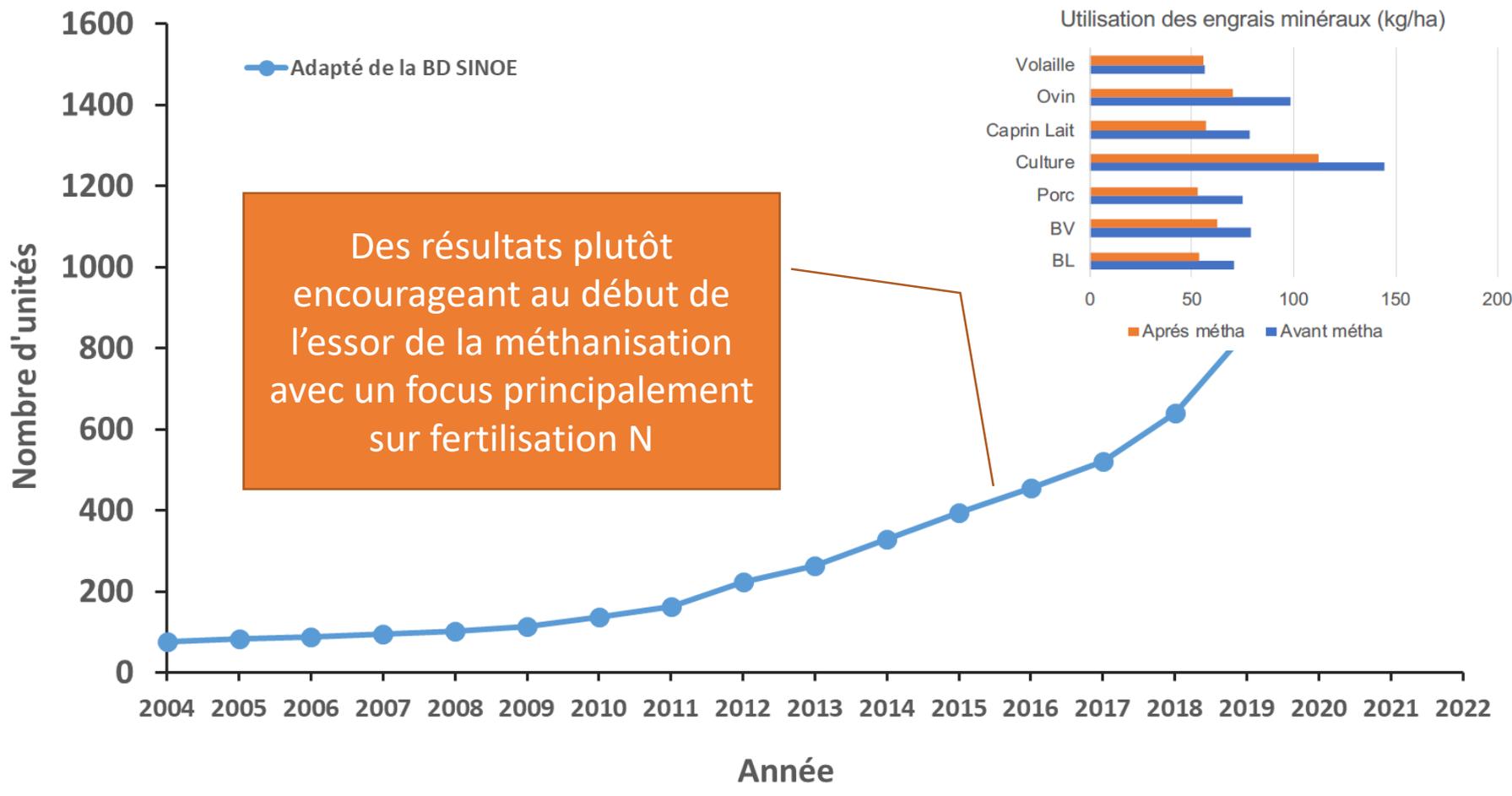
Un regard systémique sur la méthanisation

Moteur de transition agroécologique?



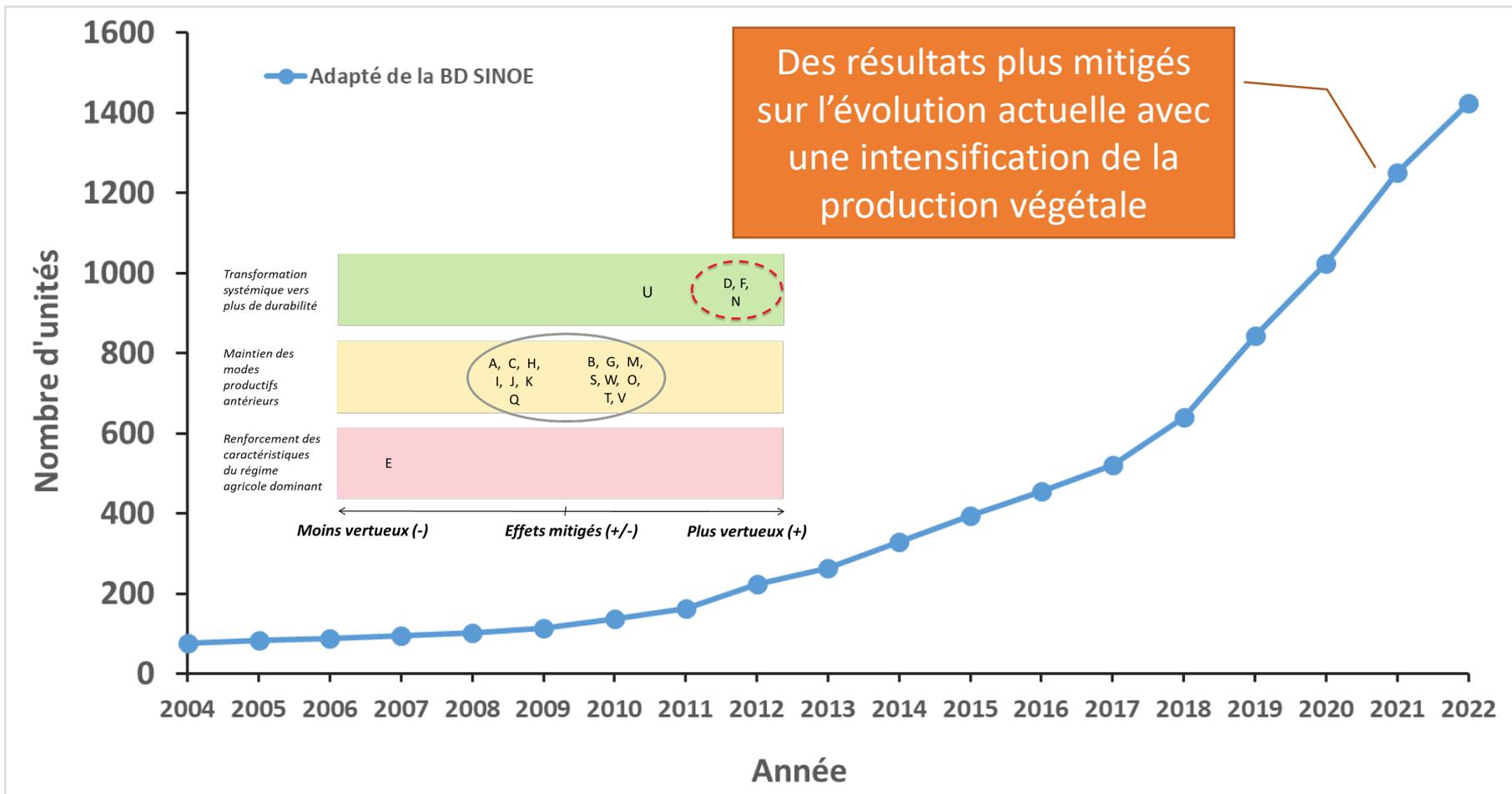
Un regard systémique sur la méthanisation

Moteur de transition agroécologique?



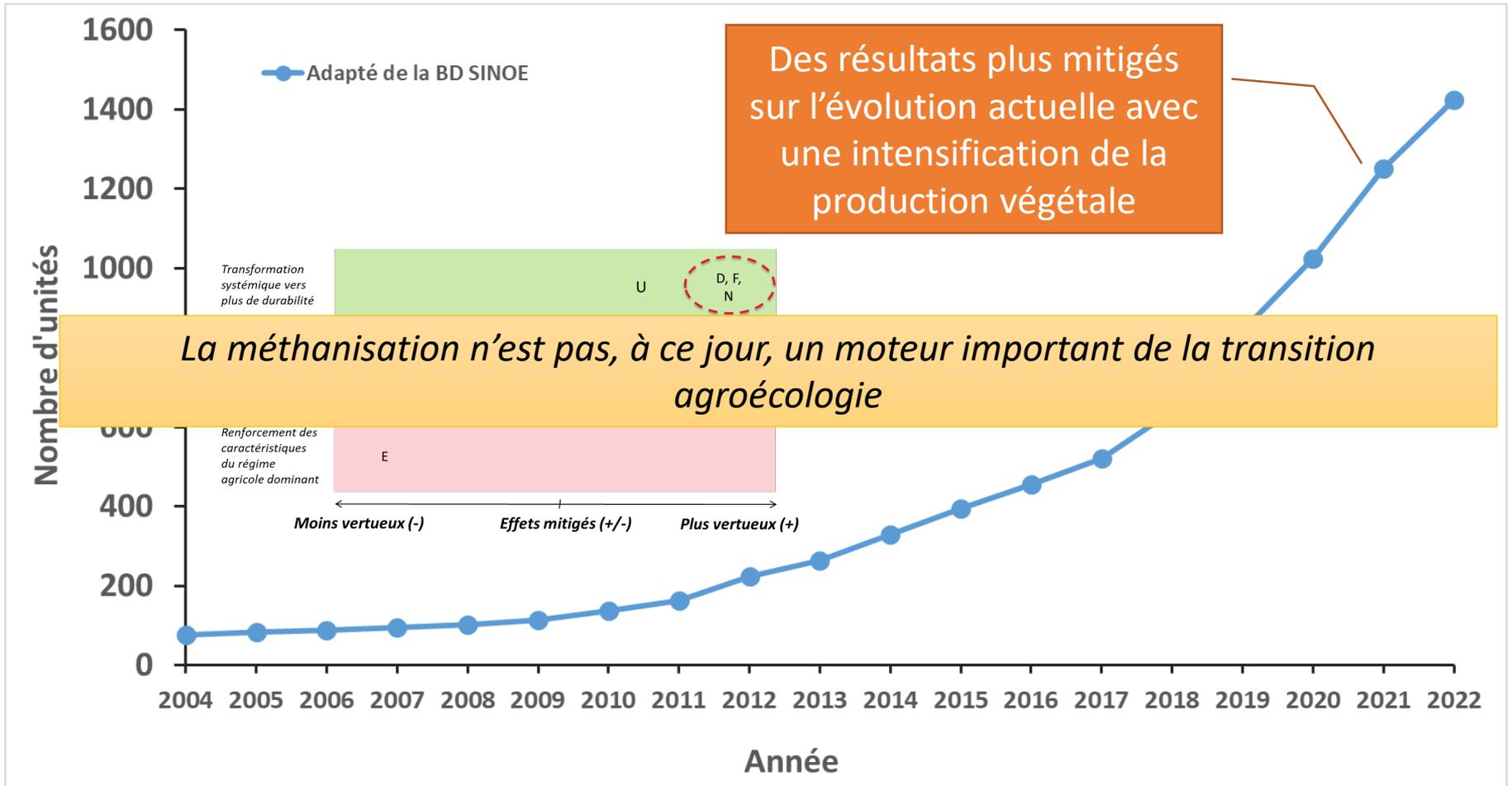
Un regard systémique sur la méthanisation

Moteur de transition agroécologique?



Un regard systémique sur la méthanisation

Moteur de transition agroécologique?



➤ Freins à la méthanisation agroécologique

Une vision très majoritairement énergétique

TWh/an	Cons. Actuelles		Prospectives 2050
Produits pétroliers	750		40-50
Biocarburants	35		30-100
Gaz	360-370		150-370
	<i>Gaz naturel</i>	350	0-200
	Biogaz	11	90-150
	<i>Power2Gaz</i>	0	20-30
	<i>Autres (gazeification, H2)</i>	0	0-180
Electricité	400-450		430-650
	<i>Nucléaire</i>	380	0-300
	<i>Eolien offshore</i>	0	80-200
	<i>Eolien terrestre</i>	35	80-155
	<i>Solaire PV</i>	14	80-230
	<i>Hydraulique</i>	50-60	50-60
Biomasse (bois)	-		40-60
Autres (Chaleur, ...)	-		50-100

+ 700-1300%

Et des politiques publiques associées à cette vision énergétique

➤ Freins à la méthanisation agroécologique

Une vision très majoritairement énergétique

- Une majorité des décisions structurantes du développement de la méthanisation sont prises dans le forum des politiques publiques des ENR
- Des objectifs de compétitivité avec les autres ENR et de maîtrise des prix de l'énergie
- Un échec de la promesse « Agroécologique » à justifier un « surcoût » de production du biogaz à travers, par exemple la monétisation des externalités positives

=> Une réduction attendue des coûts de production

=> Une standardisation et une massification des unités

=> Des procédés coûteux nécessitant des économies d'échelle et qui engendrent de fortes contraintes de rentabilité

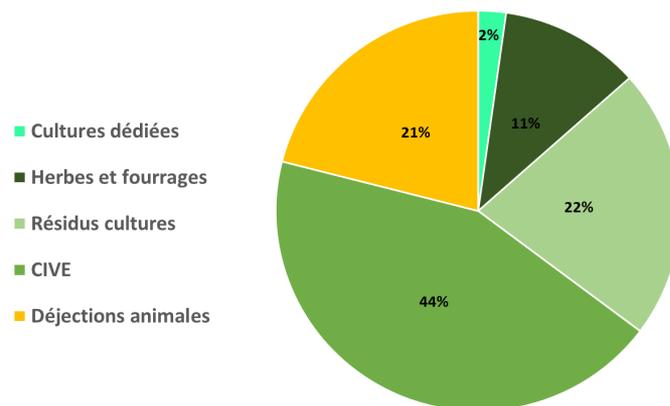
➤ Freins à la méthanisation agroécologique

Un développement basé sur une intensification de la production végétale

Un système de production d'énergie qui vient s'ajouter à un système de production agricole existant :

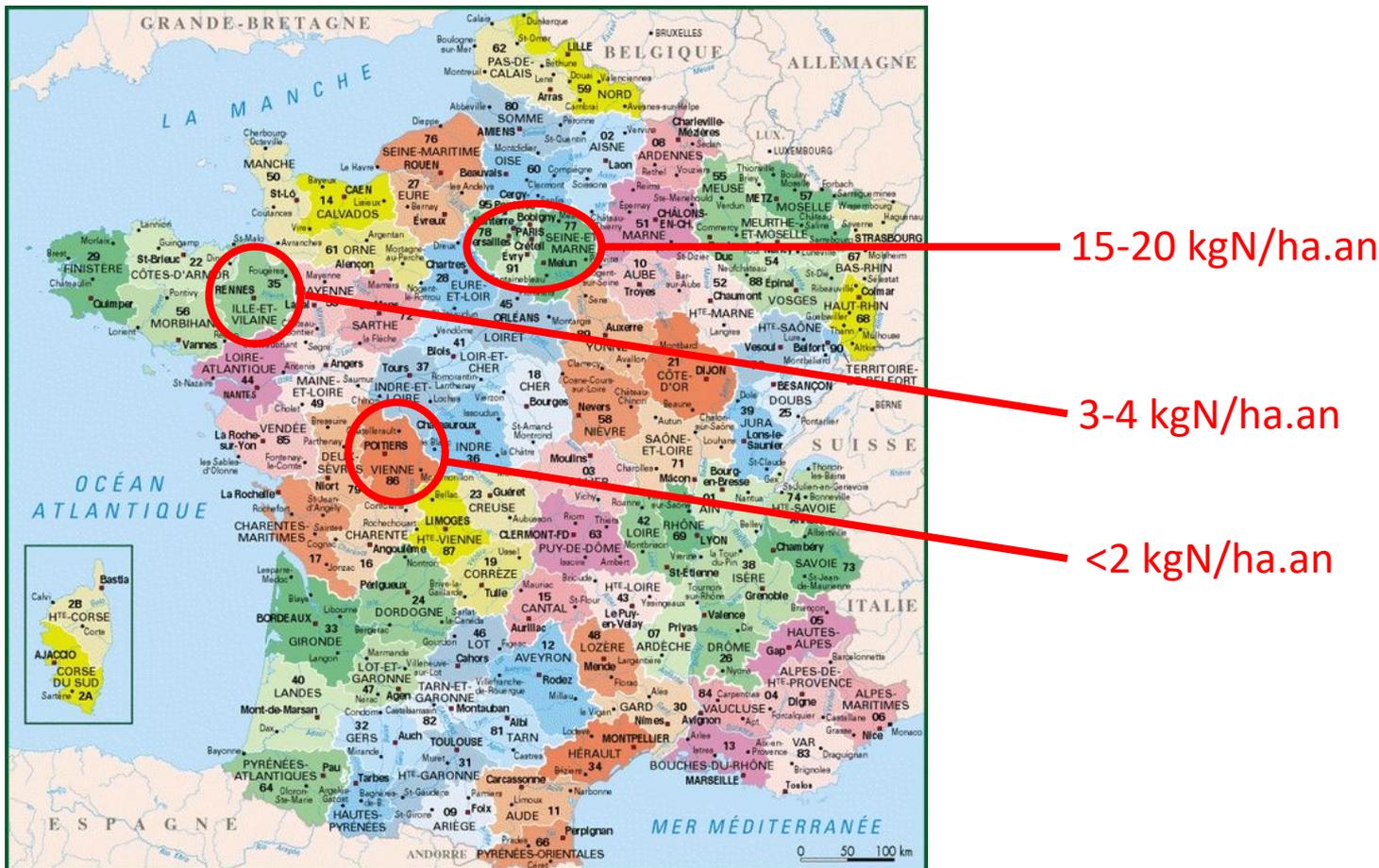
- avec quelques synergies potentielles (effluents, couverts, fertilisation, ...)
- mais principalement une intensification de la production végétale (CIVE conduite de manière intensive, utilisation raisonnée de CP, baisse et changement de production des CP, ...)

Part énergétique des différents intrants dans les perspectives 2050



➤ Principaux freins à la méthanisation agroécologique

Une promesse de recyclage réelle mais limitée



➤ Défi N°1: modèle de développement et de financement

TWh/an	Cons. Actuelles		Prospectives 2050
Produits pétroliers	750		40-50
Biocarburants	35		30-100
Gaz	360-370		150-370
	Gaz naturel	350	0-200
	Biogaz	11	90-150
	Power2Gaz	0	20-30
	Autres (gazeification, H ₂)	0	0-180
Electricité	400-450		430-650
	Nucléaire	380	0-300
	Eolien offshore	0	80-200
	Eolien terrestre	35	80-155
	Solaire PV	14	80-230
	Hydraulique	50-60	50-60
Biomasse (bois)	-		40-60
Autres (Chaleur, ...)	-		50-100

+ 700-1300%

➤ Construire des politiques publiques pour une méthanisation agroécologique en cohérence avec les objectifs de production d'ENR à travers une monétarisation des externalités positives

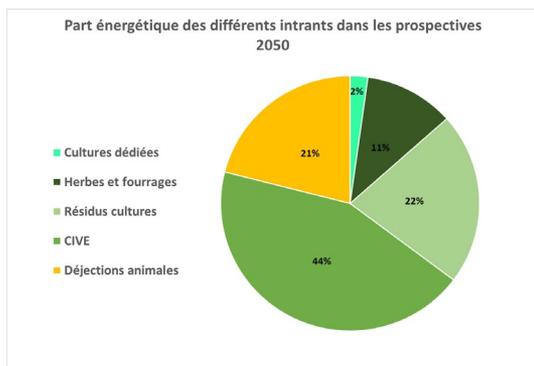
➤ Des vents contraires

➤ Equilibre des comptes publics

➤ Guerre en Ukraine

➤ A ce jour, les externalités positives restent limités ou masquées par les externalités négatives

➤ La méthanisation agroécologique reste théorique ou limitée à quelques cas



Développer des modèles AE et les financements associés pour une diffusion à grande échelle

➤ Défi N°2: des technologies diversifiées et sobres

- Des procédés moins coûteux (taille, gouvernance, technologie) et adaptés au territoire
- Une dimensionnement « raisonnable » intégrant des critères de souplesse et de résilience
- Un outil au service d'une approche systémique et long terme



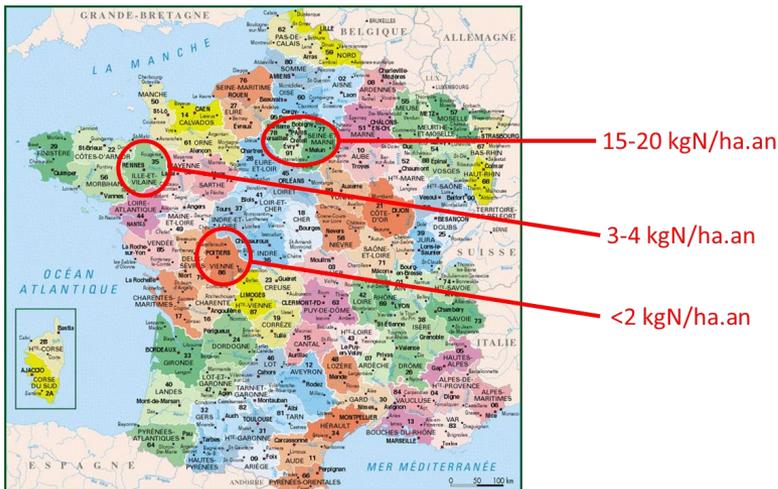
➤ Défi N°3: Des pratiques culturales agroécologiques

- Développement de couverts
- Culture de CIVE dans une logique extensive (fertilisation, eau, phytosanitaire, ...)
- Maintien ou développement des cultures pérennes (prairies)
- Conception de rotations minimisant les besoins en produits phytosanitaires



➤ Défi N°4: Favoriser l'autonomie en fertilisants

- Favoriser le recyclage territorial
- Mettre en place des pratiques pour limiter les pertes de NH_3
- Développer les synergies légumineuses/méthanisation



➤ Conclusions

- A ce jour, la méthanisation n'est pas un moteur de la transition agroécologique, la priorité est donnée à la production énergétique
- Les défis pour y arriver sont nombreux et la marche est haute! Une implication des tous les acteurs sera nécessaire
- Pour une méthanisation AE, le système de production d'énergie ne doit pas venir s'ajouter au système de production agricole existant mais le questionner/restructurer. Oubliez les promesses de synergie et de gagnant-gagnant
- Une politique agricole globale AE sera nécessaire pour une méthanisation AE
- Un développement « massif » de la méthanisation AE est-il possible? Avec quels modèles et quelles PP d'accompagnement? Et pour quelle production énergétique?

INRAE

➤ Comment les agriculteurs innovent sur le terrain ? Résultats d'enquêtes auprès de l'AAMF et enseignements de Metha3G

Adeline Haumont, Association AILE

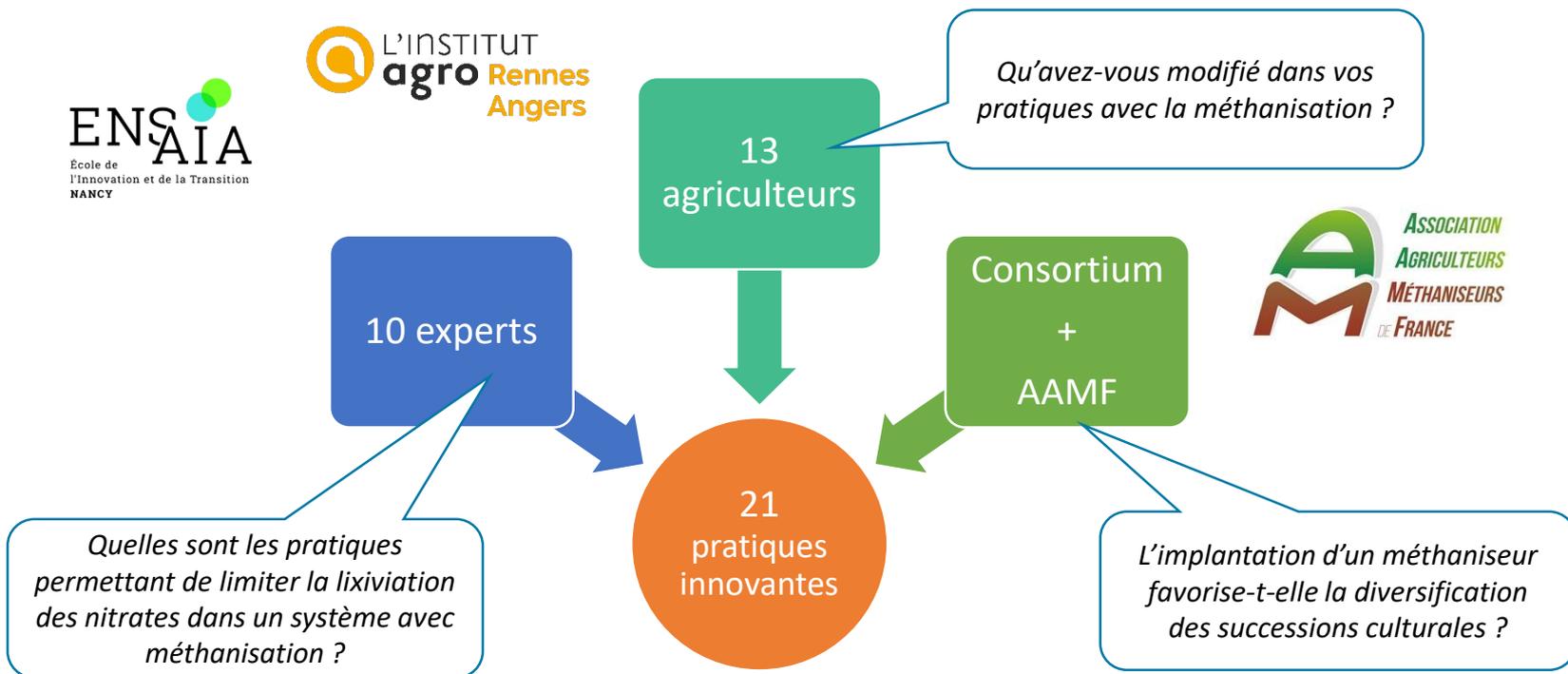


➤ Méthodologie – Lot 2

Identification de pratiques déjà présentes sur le terrain

Enquêtes - étudiants

Ateliers de travail



Innovations repérées chez des agriculteurs-méthaniseurs

Impact GES

Impact NH3



Produire des fourrages à double vocation (ex : maïs épi, sorgho)

Préfaner le blé pour implanter des CIVE d'été

Epandre en automne sur culture pour limiter la volatilisation

Valoriser des terres marginales (bandes enherbées..)

Augmenter l'autonomie N avec les légumineuses

Combiner cultures méthanisables et agroforesterie

Planter des cultures pérennes : Silphie...

Semer des mélanges de CIVE pour multi-services

Utiliser du matériel d'épandage innovant (EST, injection..)

Valoriser de l'herbe pour maintenir des prairies

Semer des CIVE d'été dans les céréales

Strip-till après CIVE

Utiliser des inhibiteurs de nitrification

Semer des CIVE d'été dans de la luzerne

Récolter les menues pailles pour laisser les pailles au champ

Cultures à faibles besoins azotés

Allonger les périodes de couverture du sol : CIVE + longue

Limiter le travail du sol

Fractionnement des apports de digestat

CIVE à fort développement racinaire



Impact NO3-



Impact sol

INRAE

Quelles solutions pour concilier méthanisation et agroécologie ?

Les rendez-vous INRAE au SPACE/17 septembre 2024



.035

➤ Innovations repérées chez des agriculteurs-méthaniseurs

Impact GES



Impact NH3



Valoriser des prairies et cultures pérennes

Produire des CIVE multi-services

Améliorer l'autonomie azotée

Combiner méthanisation et ACS



Impact NO3-



Impact sol

INRAE

Quelles solutions pour concilier méthanisation et agroécologie ?

Les rendez-vous INRAE au SPACE/17 septembre 2024



.036

➤ ZOOM sur... La valorisation de prairies

Quelle viabilité économique ?

	Maïs ensilage non irrigué		ensilage de CIVE		ensilage d'herbe PT de 5 ans		Prairie permanente	
Rendement total annuel (TMS/ha)	11	15	6	10	6	10	3	5
Coût sur pied avec MO (€/TMS)	100	80	46	35	64	50	20	12
Mode de récolte	Ensilage		Ensilage		Ensilage		Ensilage	
Nombre de coupes	1		1		2	2	1	1
Coût de la récolte par coupe	35	33	60	35			98	68
Frais de stockage (€/TMS)	12		12		12		12	12
Coût de production (€/ha)	1618	1873	708	820	1044	1300	390	460
Pouvoir méthanogène (Nm3 CH4/TMO)	350		320	280	320		300	
m3 de CH4 produit/ha	3427	4673	1728	2520	1728	2304	810	1350
MWhPCS produit/ha	38	52	19	28	19	26	9	15
Coût de la biomasse rendue silo								
Par tonne de MS	147	125	118	83	174	130	130	92
Par Nm3 de CH4 produit	0.47	0.40	0.41	0.33	0.60	0.45	0.48	0.34
Par MWhPCS produit	43	36	37	30	55	41	43	31
Par MWhPCS vendu (€/MWh)	47	40	41	33	61	45	48	34

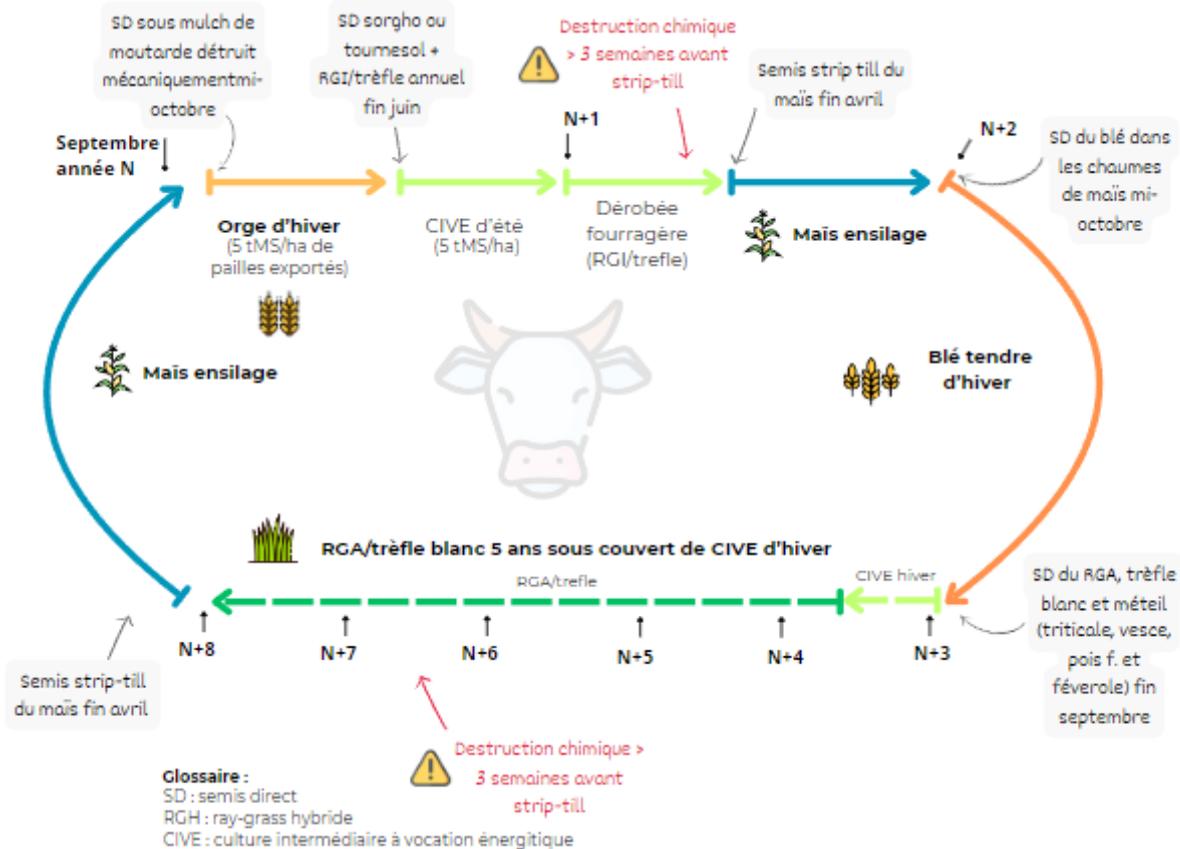


Sources : Fiches Perel, Methasim

➤ ZOOM sur... Concilier méthanisation et ACS

Quelles synergies ?

Rotation en ACS dans une exploitation bovine avec méthanisation



➤ ZOOM sur... Concilier méthanisation et ACS

Quelles synergies ?

Exemple au GAEC Via Lactea (49)



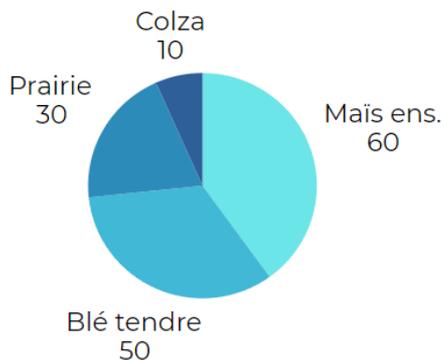
Historique ACS

- 2007: démarrage ACS par les cultures d'automne en semis-direct (semoir à disque en CUMA)
- 2010 : couverts systématiques
- 2014 : strip-till pour semis maïs (CUMA)
- 2023 : tests semoir direct à dent pour les couverts d'été



Méthanisation

- Cogénération : 75 kWé
- Date de mise en service : 2020
- 1249 MWh EP
- 2800T lisiers/900T CIVE
- Séparateur de phase, système tamis-grille



- Les **rendements** de maïs ont diminué de 2-3 tMS/ha mais compensés par les dérobées et les CIVE (5-6 tMS/ha)
- Le **taux de MO** est passé 2% à 3% en 10 ans
- Les analyses de **fertilité biologique** ont montré une amélioration des indicateurs sur 5 ans
- Légère diminution des **phytos** : arrêt de l'usage d'anti-limaces, un seul fongicide sur céréale mais pas d'évolution sur l'usage d'herbicides
- Diminution 30% des **engrais minéraux**
- Pas d'assèchement au semis : un **tour d'eau** gagné

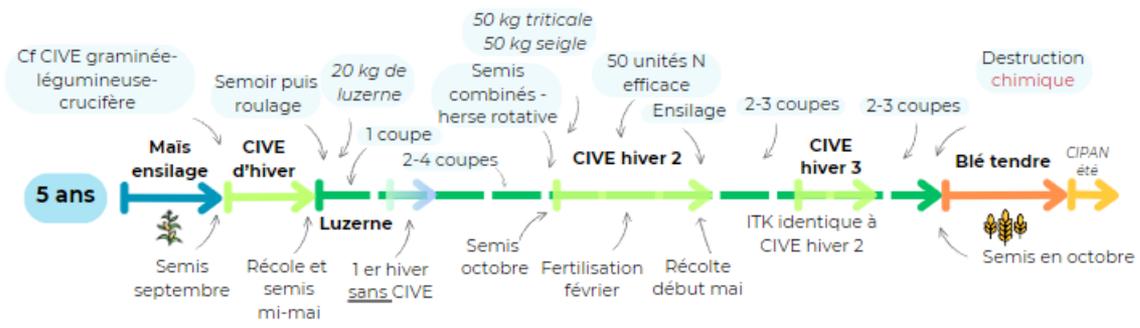
➤ ZOOM sur... Produire des CIVE

Quels itinéraires possibles ?

Deux CIVE en un semis



CIVE semée sous couvert de luzerne



INRAE

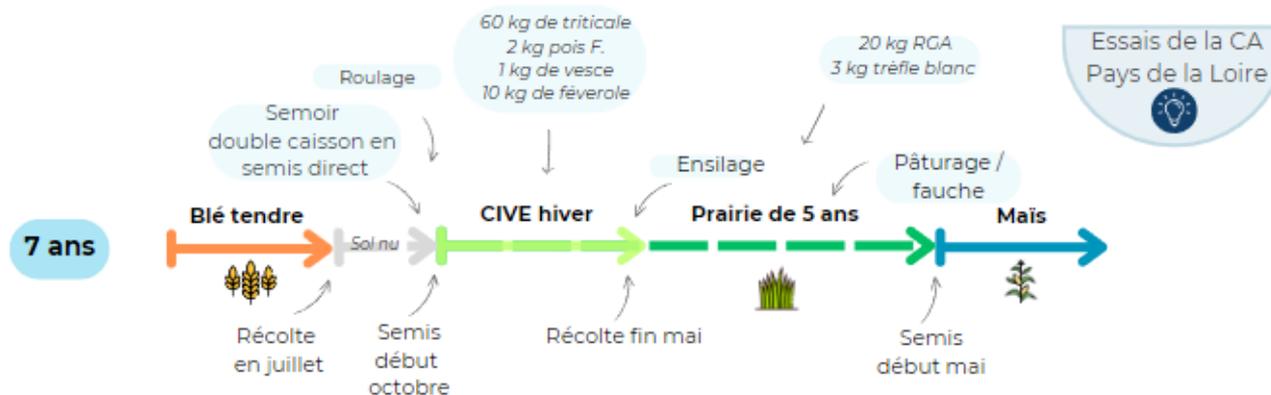
Quelles solutions pour concilier méthanisation et agroécologie ?
Les rendez-vous INRAE au SPACE/17 septembre 2024



➤ ZOOM sur... Produire des CIVE

Quels itinéraires possibles ?

Semis simultané d'une CIVE et d'une prairie



« L'élevage reste notre priorité et seulement l'excédent de dérobées part pour la méthanisation. Pour produire plus de fourrages, nous semons des prairies sous couvert de CIVE vers le 20 septembre. Ce mélange est intéressant car il est productif, et n'impacte pas négativement l'implantation de la nouvelle prairie »

Damien PIOGER (72), SARL JB Viandes.

➤ Un ensemble de 4 fiches de pratiques



Disponibles à partir de mi novembre
<https://aile.asso.fr/projet-rd/metha-3g/>



INRAE

Quelles solutions pour concilier méthanisation et agroécologie ?

Les rendez-vous INRAE au SPACE/17 septembre 2024



INRAE

**➤ Combiner légumineuses et méthanisation
pour viser une plus grande autonomie
en fertilisants azotés**

Olivier Therond, INRAE Grand Est - Colmar



➤ Viser une plus grande autonomie azotée

Enjeux et leviers

L'azote (N) au cœur des enjeux de l'agriculture

Facteur de **croissance** des plantes

Mais aussi source **pollutions** et de GES : 80 % de pertes en moyenne (Duru et Therond 2024)

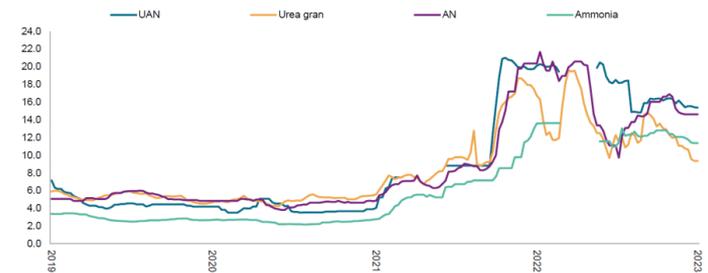
Enjeu de **souveraineté** : 80% des fertilisants importés (SGPE 2024)

Des **prix de plus en plus élevés** et variables

➔ Réduire l'utilisation des fertilisants minéraux :

- la fertilisation organique
- les légumineuses

Prix des engrais N 2019-2023



<https://www.reference-agro.fr/>

Les légumineuses

Intérêts et modes de conduite

Atouts

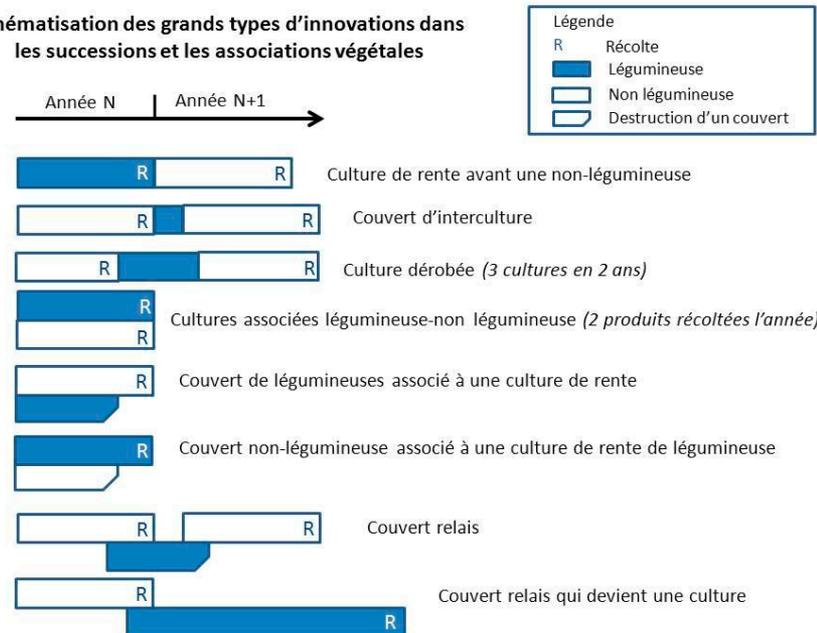
Fixation symbiotique de l'N de l'air ($N_2 \rightarrow NH_3$)

Restitutions au sol via **résidus** : racines, collets, repousses, sénescents, rhizodéposition

Modes de conduite

Culture principale, associée, couvert intermédiaire, dérobé, ou plante de service

Schématisation des grands types d'innovations dans les successions et les associations végétales



➤ Les légumineuses : source d'N

Quels potentiels de fourniture ?

Les légumineuses à graines

Majorité de l'N dans les grains → exporté

Restitutions faibles, Racines = + 30% d'N

Equivalent fertilisant pour culture suivante : **30-60 UN**

Les légumineuses fourragères (Luzerne)

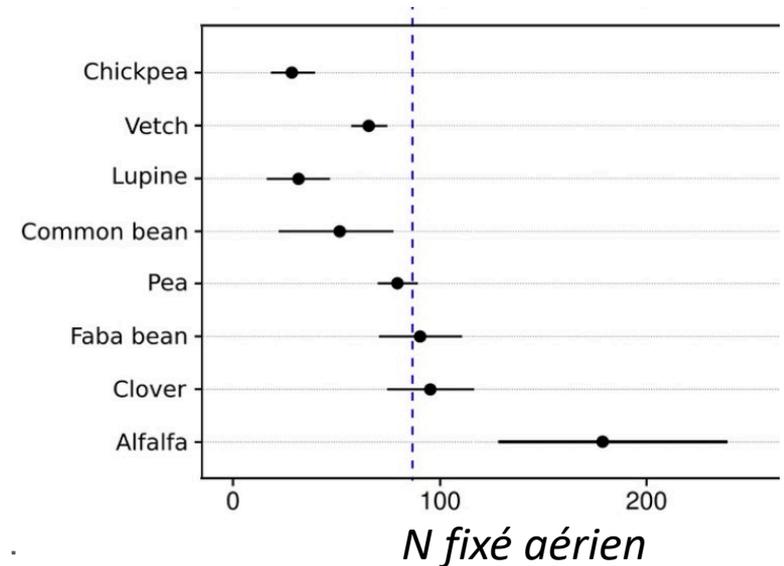
Plus ou moins grande exportation : fauche vs. pâturage

Restitutions importantes : racines collet, sénescence, rhizodéposition... **Racines = + 70% d'N**

Equivalent fertilisant linéaire pour les 2-3 cultures suivantes : **100-200 UN**

Les plantes de services

Fonction de la durée et part de légumineuses : **10-30 UN**



Barbieri et al. 2023

Vertes et al. 2015

➤ Les légumineuses

Quelle place dans les assolements ?

Légumineuses à graines

3,6% de la SAU

Fluctuations au fil du temps

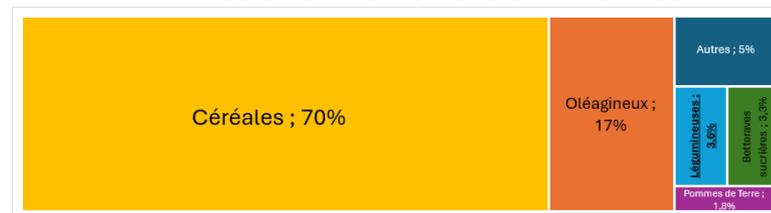
Légumineuses fourragères : la luzerne

300 000 ha dont 70 000 ha pour déshydratation

Peu réaliste de créer de nouvelles usines de déshydratation...

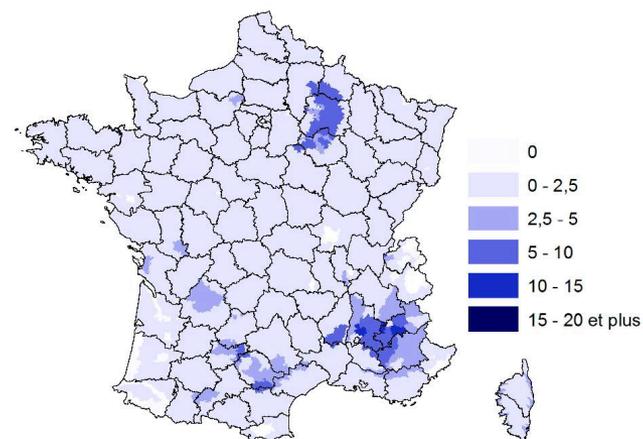
Nombreux plans protéines mais faible succès !

Assolement relatif France



Agreste 2023

% SAU de prairies artificielle



Vertez et al. 2015

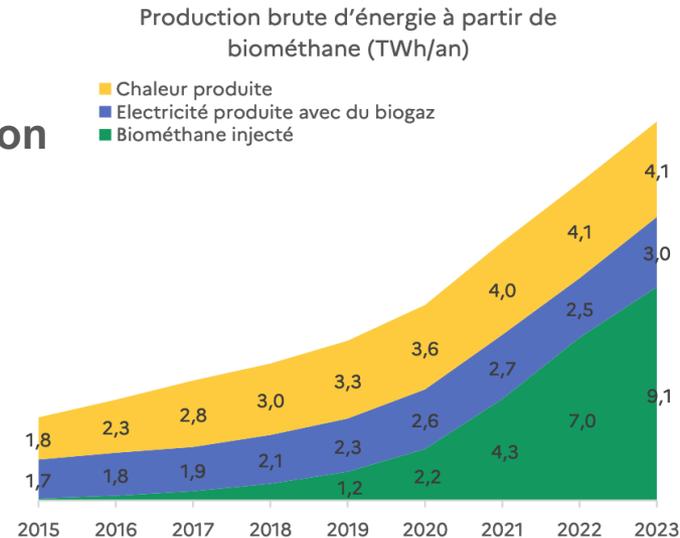
➤ Légumineuses et méthanisation

Quelles synergies ?

Développement rapide de la méthanisation et qui pourrait s'accélérer

Besoins de biomasse

Sources de digestats



**Cible 2030 :
+ 35 TWh**

SGPE 2024

La méthanisation une voie de valorisation des légumineuses fourragères ?

Double valorisations : **biogaz et valeur fertilisante**

Effets précédent et transfert de fertilité via optimisation des rotations et digestats

Quels intérêts? Quelles contraintes ?

Des projets R&D

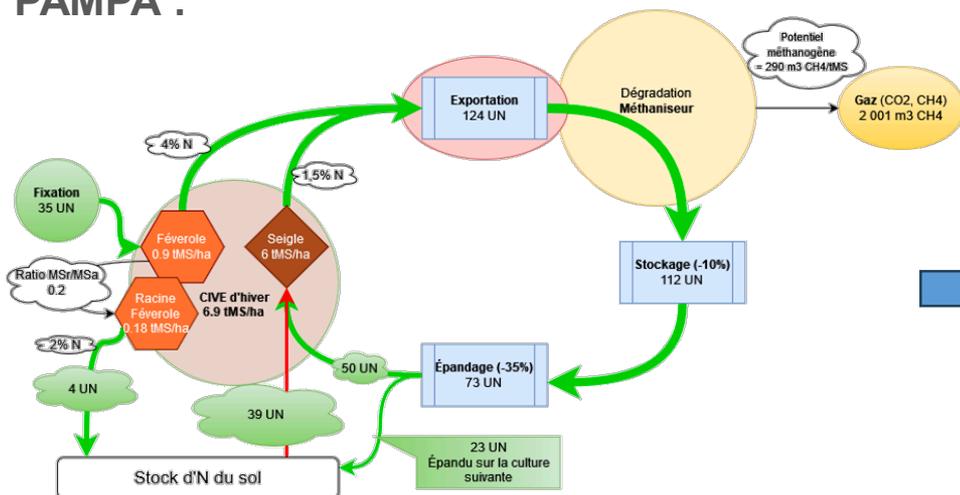
Pour estimer le potentiel d'intérêt pour l'autonomie N

Estimation du potentiel de fourniture d'N dans des systèmes de culture avec couverts à valorisation énergétique

PAMPA (FranceAgriMer), Métha3G (ADEME), LEGUMETHA (GRDF) :

- Essais ou conception de **systèmes de culture** basés, notamment, sur des légumineuses à graines et/ou fourragères
- Estimation des **entrées d'azote** liées aux légumineuses

PAMPA :



CIVE céréale-légumineuse :
+ 30 UN/ha
par rapport à céréale pure

➤ Les projets Métha3G et LEGUMETHA

Quels systèmes de culture (SdC) et potentiels ?

Conception de SdC intégrant des légumineuses fourragères et à graines dans quatre territoires contrastés

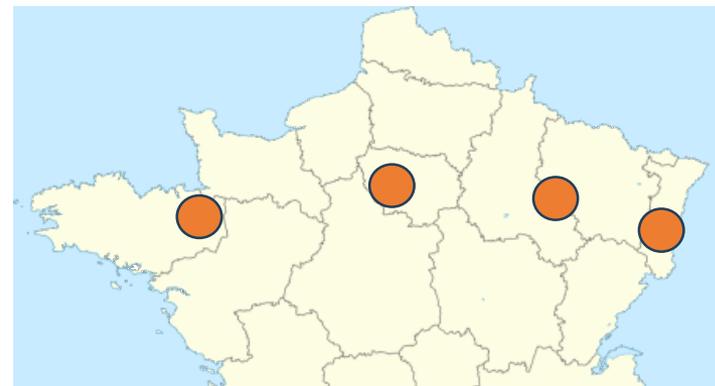
Alsace, Bure, Plaine de Versailles, Coglais

Evaluation de scénarios sur un ensemble d'indicateurs à l'échelle SdC, exploitation et territoire

Cycles N et C, GES, rendement, biogaz, compétitions...

Prise en compte des contraintes de fonctionnement des méthaniseurs

Teneur en azote ammoniacal, MS





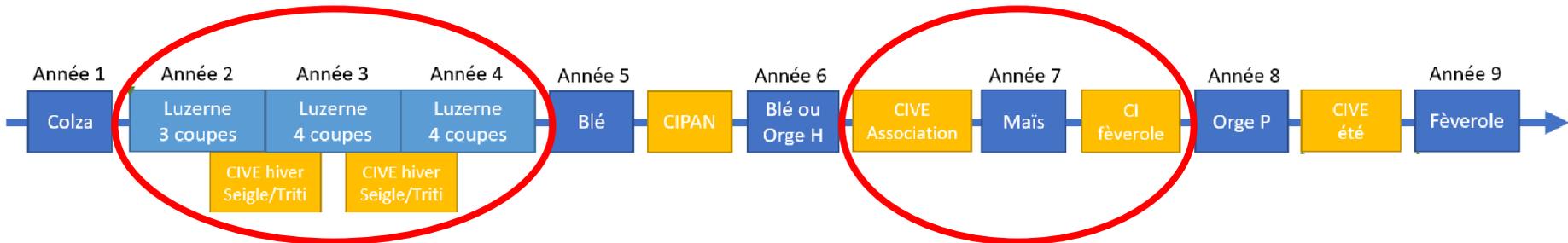
Exemples LEGUMETHA

Plaine de Versailles et Territoire de Bures

Systèmes de culture dominant actuels :



Systèmes conçus par agriculteurs, agronomes et experts méthanisation :



➤ Exemple LEGUMETHA

Estimations préliminaires

Modélisation théorique sur la base des références de la littérature scientifique

Exploitation de 100 ha, 33 ha en luzerne (3 ans sur 9), fertilisation 200 UN/ha sur culture

Luzerne : 12t MS/ha

- ➔ Effet précédent : restitution de 190 UN/ha sur 12 ha/an sur 2 à 3 ans
- ➔ **15 t digestat brut/ha** pour 89 UN/ha sur 55 ha (sans les 12 ha de féverole)
- ➔ **50% d'autonomie azotée (?)**
- ➔ **Si valorisation UN (2€) et biomasse (110 €/t MS) : rentabilité économique accessible**

Limites de l'approche

Pas d'effets sol et climat, CIPAN et autres CIVE, long terme sur C et minéralisation nette

Pas de variabilité temporelle, des assolements et rotations (2 ans luzerne, sans féverole...)

Pas de contraintes sur la gestion des flux de biomasses vertes et digestats et fonctionnement du méthaniseur

- ➔ **Besoin d'une modélisation intégrée, spatiale et dynamique**

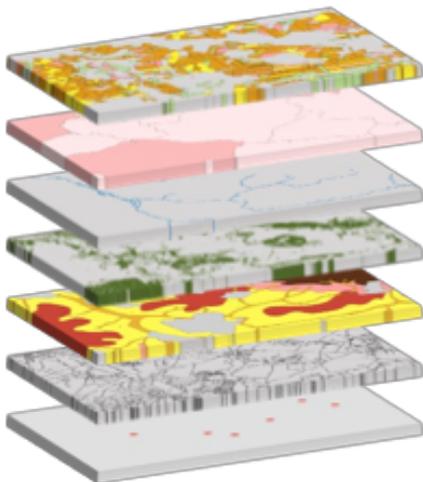


La plateforme MAELIA

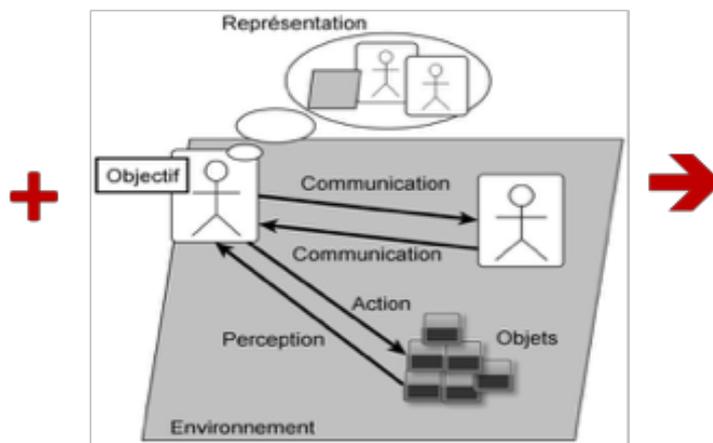
Modélisation et évaluation intégrées des systèmes et territoires agricoles

Système multi-agent spatialisé

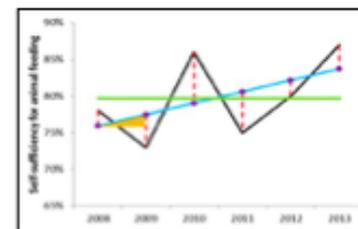
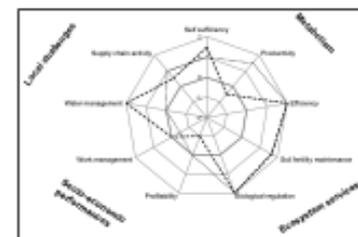
Données géoréférencées
-> Structure fine



Chaîne de modèles
-> Dynamiques socio-écologiques



Evaluation
Durabilité & Résilience

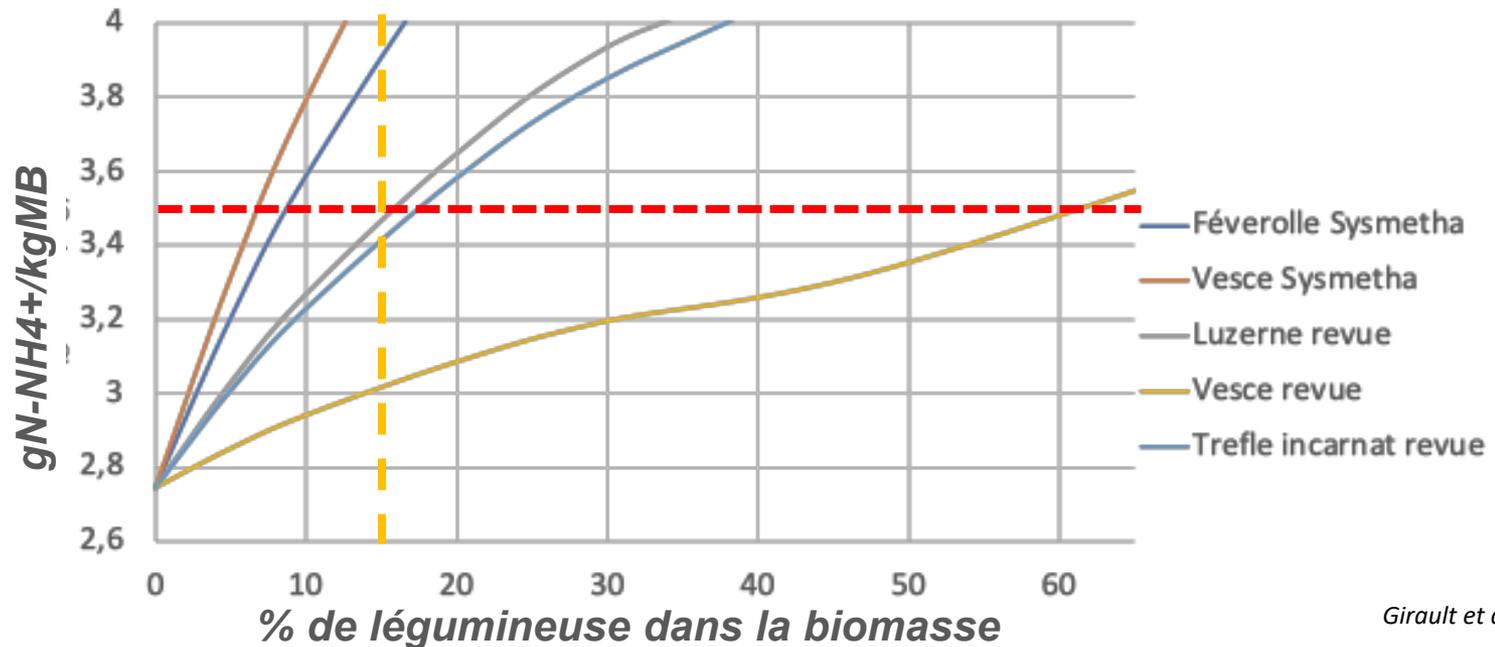


Therond et al. 2014

➤ Contraintes de fonctionnement des méthaniseurs

Deux seuils limites : 3,5 gN-NH4+/kgMB et 15% de la biomasse entrante

→ limite la part de légumineuses mais souvent marges de manœuvre (2,5 gN-NH4+/kgMB)



Girault et al. 2024

Effets importants du C/N et de la MS des biomasses

Optimisation des stades de récolte pour faciliter l'incorporation de légumineuses dans le méthaniseur

➤ Conclusions

Potentiels, atouts et contraintes

La méthanisation une potentielle opportunité pour soutenir le déploiement des légumineuses : besoin de référentiel

Nombreux atouts

- **Services écosystémiques** : contrôle érosion, stockage de C, pollinisation, contrôle biologique
 - Maintien de la **biodiversité** : pollinisateurs...
 - **Diminution des émissions de GES** par réduction de la fertilisation minérale
- ➔ Paiements pour services environnementaux et marché C permettraient de soutenir le développement

Contraintes

Réglementaire : luzerne = culture principale → max 15% de la biomasse méthanisée

Fonctionnement du méthaniseur : ration de biomasses

Récolte : stade et conditions d'ensilage

Epannage des digestats : conditions d'épandage pour limiter les émissions d'ammoniac (N)

Retournement des prairies : période et couverts adaptés pour réduire les risques de lixiviation d'N

INRAE

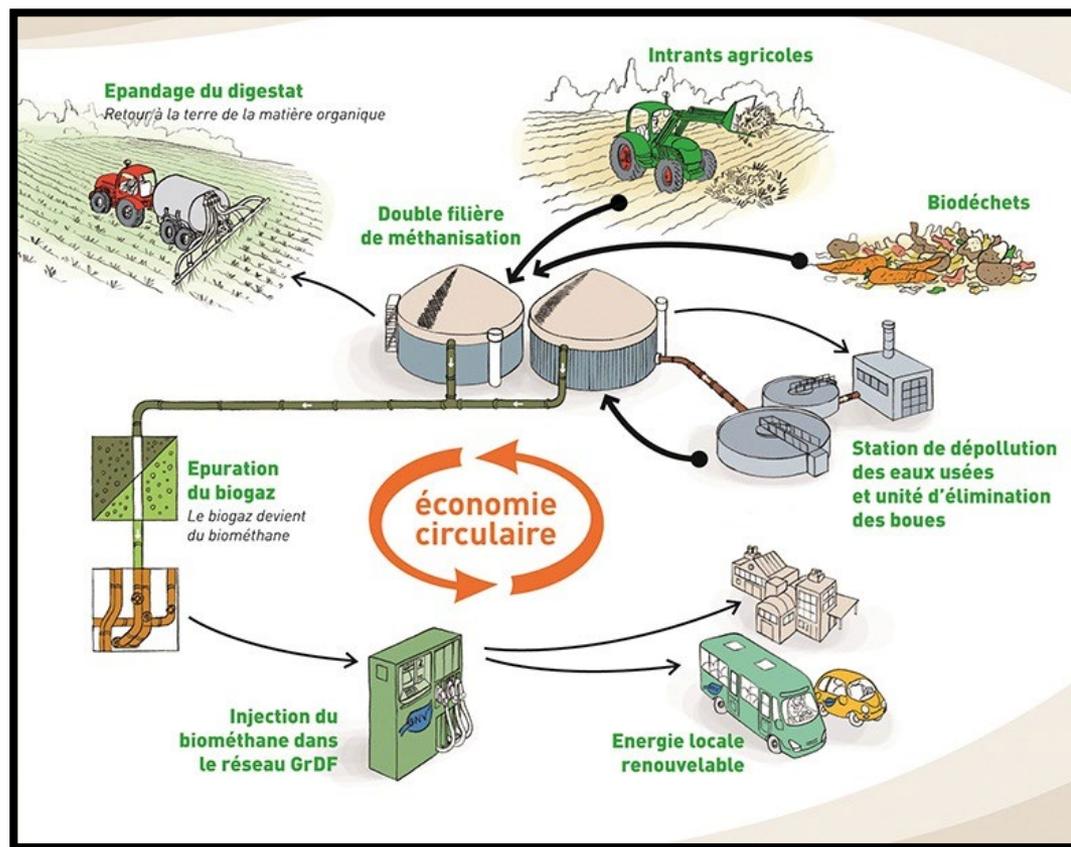
**➤ Développer des pratiques de méthanisation
en tenant compte de la vie du sol**

Pascal Piveteau, INRAE Bretagne-Normandie



➤ La méthanisation et la transition agroécologique

Quels effets sur la biologie du sol?



➤ Metha-BioSol : un programme de recherche national

Évaluer l'impact des pratiques d'épandage de digestats de méthanisation sur la qualité biologique des sols agricoles



Tests en
laboratoire



Sites
expérimentaux



Réseau de
fermes



Maîtrise des conditions
d'expérimentation

Réalité de
terrain



Avec
la contribution
financière du compte
d'affectation spéciale
développement
agricole et rural
CASDAR
Ministère
de l'Agriculture
et de l'Alimentation

INRAE

Quelles solutions pour concilier méthanisation et agroécologie ?

Les rendez-vous INRAE au SPACE/17 septembre 2024

.059

Un suivi de plusieurs indicateurs

Évaluer la qualité biologique du sol

Abondance/diversité microbienne

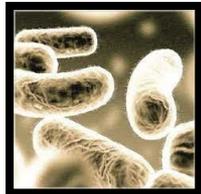
Présence/absence pathogènes

Abondance/diversité nématodes

Abondance/diversité lombrics

Dégradation MO LEVAbag^{MD}

Stabilité du Carbone



Analyses microbiologiques du sol

INRAE

LES MICRO-ORGANISMES DU SOL

BIOASSE MOLECULAIRE MICROBIENNE

RAPPORT CHAMPIGNONS / BACTÉRIES

INRAE Recherche d'indicateurs sanitaires

Peuvent-ils évaluer l'état sanitaire?

Indicateurs sanitaires utiles

AVERTIS

RECHERCHES EN COURS

ICPE EVALUATEUR

ANNA PÉREZ DE LA NEMATOLOGIA

LES INDICATEURS SANITAIRES

LES INDICATEURS SANITAIRES

LES INDICATEURS SANITAIRES

Analyse Lombricienne

DIPIVT

Abondance et Biomasse Totales

Abondance et Biomasse Fonctionnelles

Levabag^{MD}

ESa

Levabag^{MD}

Levabag^{MD}

Levabag^{MD}

Evolution de la quantité et de la stabilité du carbone

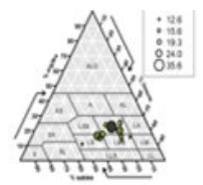
Le Carbone Organique du Sol

Quantifier le Carbone Utilisable

Evolution du Carbone Organique du Sol

Physico-chimie

Test bêche



<https://metha-biosol.hub.inrae.fr/>

➤ Tests en laboratoire

2 hypothèses testées :

1. Les impacts sont différents en fonction de la nature des digestats
2. Les impacts sont différents en fonction du contexte pédoclimatique

10 TRAITEMENTS

- ❖ 6 types de digestats
- ❖ 2 témoins effluents non digérés
- ❖ 1 témoin minéral
- ❖ 1 témoin sans apport



3 TYPES DE SOL

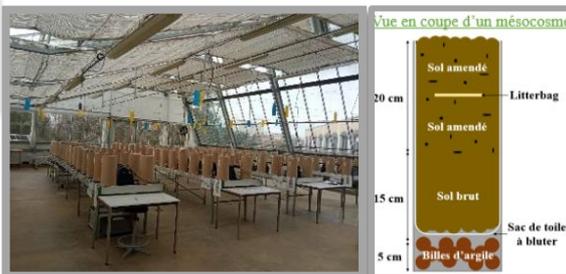


2 dispositifs expérimentaux adaptés aux indicateurs :

- ❖ Pathogènes
- ❖ Communautés microbiennes



équivalent apport 25t/ha



équivalent apport 35t/ha

- ❖ Dégradation de la MOF
- ❖ Nématofaune
- ❖ Lombriciens

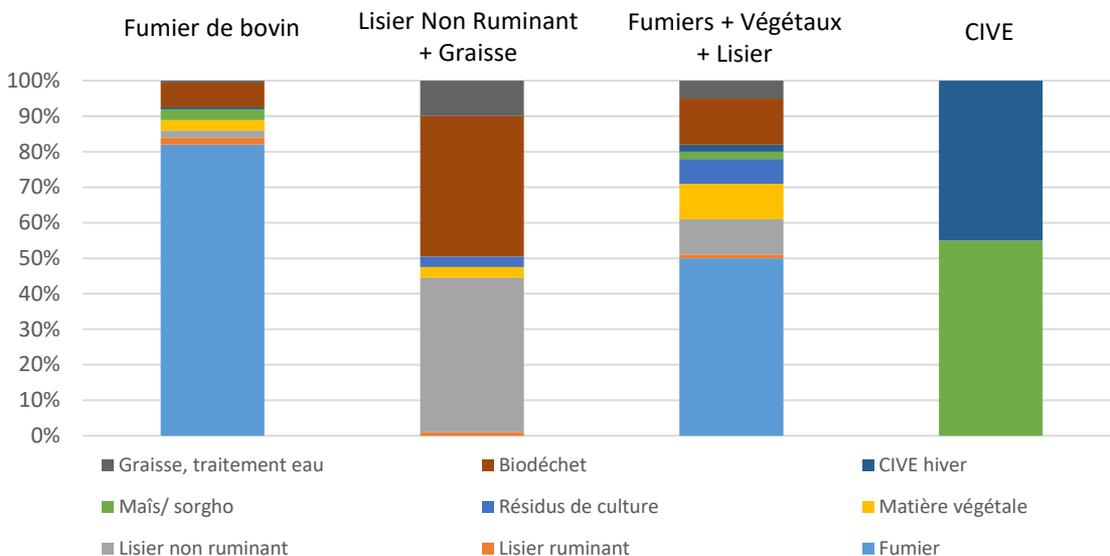


42 jours d'incubation

Apport unique /
Court terme

Des digestats différents

Une diversité d'intrants alimentant les 4 sites de méthanisation retenus



PAS UN mais DES DIGESTATS

Des compositions chimiques très contrastées en termes de :

- ❖ Teneurs en Matières Organiques
- ❖ Caractéristiques des MO (C/N)
- ❖ Disponibilité en azote

↓

Effets différents sur la physico-chimie du sol



- Comparaison avec :
- ❖ Fumier de bovin
 - ❖ Lisier de porc
 - ❖ Fertilisation minérale
 - ❖ Sans apport

➤ Des digestats différents

Un état sanitaire variable

Recherche dans les digestats



	<i>E. coli</i> (UFC/g)	isolement sur milieu sélectif			
		<i>Klebsiella pneumoniae</i> complex	<i>L. monocytogenes</i>	<i>Listeria sp.</i>	<i>S. enterica</i>
Fumier	<10	-	-	-	-
Fumier phase solide	<10	-	-	-	-
Fumier phase liquide	<10	-	-	-	-
Mixte	<10	-	-	-	-
Lisier/déchets	<10	-	-	-	-
CIVE	50	+	+	+	-

Recherche dans les témoins



	<i>E. coli</i> (UFC/g)	isolement sur milieu sélectif			
		<i>Klebsiella pneumoniae</i>	<i>L. monocytogenes</i>	<i>Listeria sp.</i>	<i>S. enterica</i>
Lisier	3360	+	-	+	-
Fumier	3900	+	-	+	-

PAS UN mais DES DIGESTATS

- ❖ Indicateurs sanitaires dans un digestat sur six
- ❖ Globalement état sanitaire meilleur que les effluents non traités

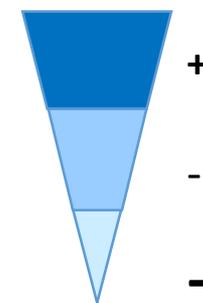
➤ Résultats après 42 jours à 15°C

Variations de l'abondance microbienne



SOL	Témoins			DIGESTATS					
	Minéral	Lisier 	Fumier 	Fumier			MIXTE	Lisier /déchet	CIVE
				Brut 	Solide 	Liquide 	Brut 	Brut 	Brut 
Limono-argileux	=	=	=	=	=	=	=	=	=
Limoneux									
Sableux									

Différences
Significatives



Influence majeure du type de sol

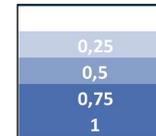
- ❖ Sol limono-argileux : pas d'effet significatif des modalités de traitement
- ❖ Sols limoneux et sableux : biomasse plus faible après tous les types d'apport comparée au fumier
- ❖ Effet plus marqué avec digestats CIVE et lisier non-ruminant

➤ Résultats après 42 jours à 15°C

Présence/absence de pathogènes



Proportion microcosmes positifs



		<i>S. enterica</i>	complexe KP	<i>L. monocytogenes</i>	<i>Listeria sp</i>
Sol 1	1				
	2				
	3				
	4		0,25		
	5		0,5		
	6		0,75	0,25	
	lisier		0,75		0,75
	fumier		0,75		1
	eau		0,25		
Sol 2	1				0,25
	2		0,25		
	3		0,5		
	4		0,75		
	5		0,75		
	6		0,75		
	lisier		0,75		0,75
	fumier		0,75		1
	eau		0,25		
Sol 3	1				
	2		0,25		
	3		0,5		
	4		0,75		
	5		0,75		
	6		0,75		
	lisier		0,75		0,75
	fumier		0,75		1
	eau		0,25		
minéral		0,25			

Influence majeure du type de sol

- ❖ Plus forte détection du complexe Kp dans le sol sableux
- ❖ Détection ponctuelle de *L. monocytogenes*
- ❖ Détection plus forte de *Listeria sp* après apport de fumier
- ❖ Pas de détection de *Salmonella enterica*

➤ Résultats après 42 jours à 15°C

Évolution de la nématofaune



Comparaison témoin sans apport



Activité

SOL	Témoins			DIGESTATS					
	Minéral	Lisier 	Fumier 	Fumier			MIXTE	Lisier /déchet	CIVE
				Brut 	Solide 	Liquide 	Brut 	Brut 	Brut 
Limono-argileux	=	=	↗	=	↗	=	=	=	=
Limoneux	=	=	=	=	↗	=	=	=	=
Sableux	=	=	↗	=	=	=	=	=	=

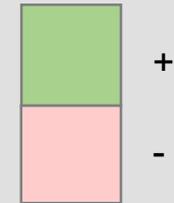
Diversité fonctionnelle

Limono-argileux									
Limoneux									
Sableux									

Différences significatives



Tendances (n.s)



Différences significatives



Influence majeure du type de sol

- ❖ Tendances variables selon les digestats

Effet du fractionnement des digestats

- ❖ Réponses à la phase solide du digestat proches de celles du fumier non digéré

➤ Résultats sites expérimentaux

Quel est l'impact, au champ, d'un apport répété de digestats sur la qualité biologique des sols?



EFELE Rennes

1^{er} apport du digestat : 2012

Type d'intrant :

1 Digestat effluents d'élevage

Effluents non digérés

Minéral



PROspective Colmar

1^{er} apport du digestat: 2015

Type d'intrant:

1 Digestat [IAA (60%) + Effluent d'élevage (20%) + végétaux (20%)]

Digestat + compost biodéchets

Digestat + boue STEP

Digestat + fumier bovin

Minéral (+/- compost/boue/fumier)



DIGE'O Obernai

1^{er} apport du digestat: 2018

Type d'intrant:

3 digestats [IAA (30-40%) + Effluent d'élevage (40%) + végétaux (20-0%)]

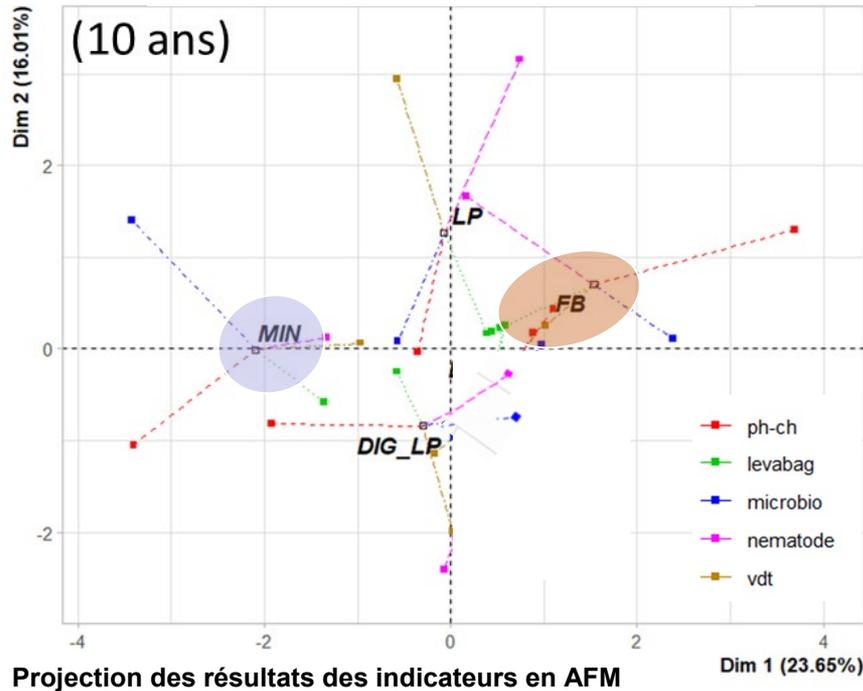
Fumier bovin

Minéral

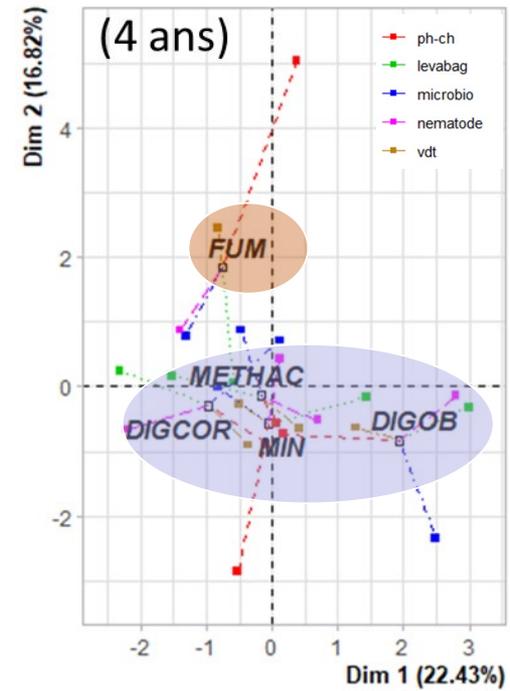
➤ Résultats sites expérimentaux

Des tendances qui s'observent sur le long terme

EFELE : 10 ans d'apports



DIGE'O : 4 ans d'apports



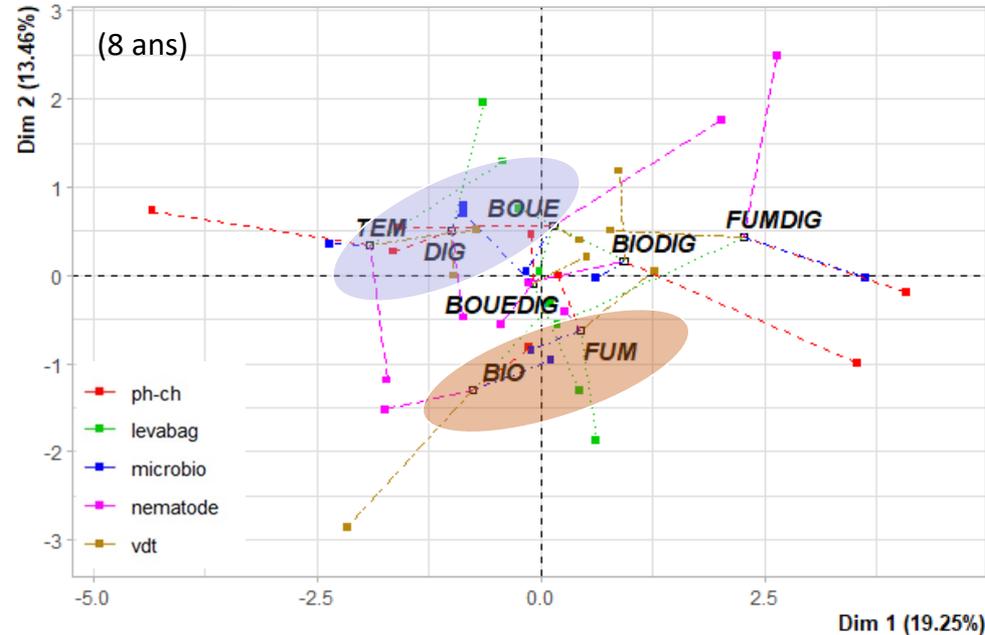
Digestat proche du Minéral ≠ Fumiers



Résultats sites expérimentaux

Des tendances qui s'observent sur le long terme

PRO'spective : 8 ans d'apports



[Digestat = Minéral] ≠ fumiers

Mais

L'apport répété d'un digestat associé à un amendement organique de type fumier contrebalance cet effet

➤ Conclusion

✓ Pas Un mais DES digestats

- ❖ Peuvent impacter différemment les organismes du sol et les microorganismes
- ❖ Les valeurs C/N et les teneurs ammoniacales semblent influencer la biologie des sols

✓ Influence de la nature du sol

✓ Le digestat brut comme seule source d'apport tend à avoir un effet similaire à un apport d'engrais minéral sur la qualité biologique des sols

- ❖ Apport de carbone organique faible par rapport à d'autres entrées (résidus culture, PRO...)
- ❖ Apport d'azote important (N_{org} et N_{min})

CEPENDANT

✓ L'apport de digestat associé à un amendement organique de type fumier permettrait de stimuler le fonctionnement biologique des sols

✓ Les modifications d'itinéraires techniques liées à l'usage de digestat (calendrier cultural, rotation, travail du sol, CIVE...) sont susceptibles de modifier le fonctionnement biologique des sols

➔ Des expérimentations long terme indispensables (>10ans)

➔ Prise en compte des pratiques
Approche systémique

INRAE

> Conclusion

Armelle Damiano, Association AILE



INRAE

➤ Rendez-vous sur le stand
INRAE/L'Institut Agro
Hall 3-Stand C14

