



Cultures Intermédiaires à Vocation Énergétique (CIVE) : spécificités agronomiques et impacts environnementaux

Les rendez-vous INRAE au SPACE/13 septembre 2022

Programme

Introduction

Armelle Damiano, Association AILE

Évaluation des risques et de la variabilité de production des CIVE à partir de paramètres agroclimatiques

Nicolas Dagorn, ARVALIS-Institut du végétal

Quels services écosystémiques rendus par les CIVE ?

Résultats d'expérimentation et de simulation

Camille Launay, INRAE Occitanie-Toulouse

Echanges avec la salle

Impact des Cultures Intermédiaire Multi-Service (CIMS) sur le stockage du carbone organique dans les sols agricoles, dans un contexte de méthanisation

Sabine Houot, INRAE Île-de-France - Versailles-Grignon

Partage d'expérience avec le retour d'un agriculteur breton utilisant des CIVE dans sa recette d'alimentation d'un digesteur

Gildas Fouchet, exploitant de l'unité de méthanisation Méthavo

Echanges avec la salle

Conclusion

Romain Girault, INRAE Bretagne-Normandie

INRAe

> Introduction

Armelle Damiano, Association AILE



> Quelles avancées de la recherche et du terrain concernant les CIVEs ?

Une législation qui évolue

Décret n° 2022-1120 du 4 août 2022 relatif aux cultures utilisées pour la production de biogaz et de biocarburants

Décret national avec régionalisation de la date pivot

Les « cultures intermédiaires » sont définies comme les cultures cultivées sur le territoire de l'Union européenne qui ne sont pas des cultures principales et qui sont semées et récoltées sur une parcelle entre deux cultures principales récoltées sur une année civile ou deux années civile consécutives.

Des programmes de recherche et des actions de vulgarisation

> VALOCIVE (2020-2022) : VALOCIVE a produit des fiches de recommandations sectorisées sur les itinéraires culturels des CIVE en Pays de la Loire

> RECITAL (2019-2023) : projet de R&D qui vise à capitaliser les informations issues des expérimentations sur les CIVE et les valoriser à l'échelle nationale avec des préconisations régionalisées

> Metha3G (2021-2024) : 3ème génération de méthaniseurs : Comment utiliser la méthanisation pour optimiser les services de régulation liés au sol au sein d'un territoire agricole.

Le retour d'expérience des agriculteurs méthaniseurs

Capitalisation des retours d'expérience au sein de l'Association des Agriculteurs Méthaniseurs bretons

INRAE

**➤ Évaluation des risques
et de la variabilité de production de CIVE
à partir de paramètres agroclimatiques**

Nicolas Dagorn, ARVALIS-Institut du végétal



➤ CIVE : à la recherche de l'optimum des services d'une interculture récoltée

➤ Conception de **séquences de 3 cultures en 2 ans**

➤ **Un fort enjeu régional**

- Quelle espèce, variété ?
- Quelle conduite de culture ?
- Quand récolter ?
- Quel enjeu économique et environnemental ?



Couverture du sol et risques de lixiviation



Ruissellement



Diversification



Production d'énergie renouvelable



Effizienz énergétique



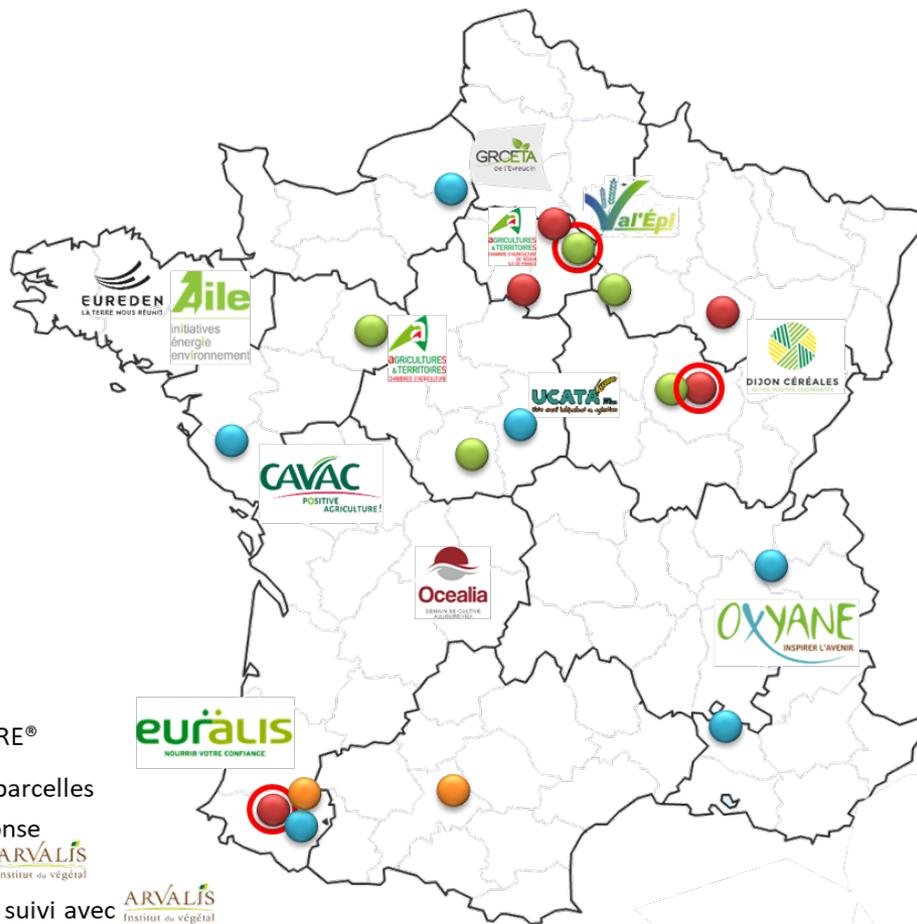
GES



Rentabilité et résilience

**Comment mieux évaluer la variabilité des productions ?
Comment gérer et réduire ces risques de variabilité ?**

➤ LE RESEAU RECITAL et ses partenaires



-  Essais systèmes SYPPRE®
-  Essais ARVALIS Institut du végétal microparcelles
-  Essais courbe de réponse à azote et digestats
-  Parcelles agriculteurs suivi avec ARVALIS Institut du végétal
-  Essais partenaire RECITAL (Coopératives, Chambre, CETA)



Avec le soutien de :

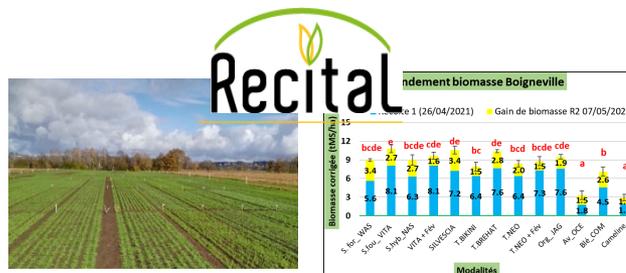


Retrouvez les essais en photos :

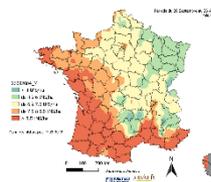


➤ Matériel et Méthodes

Essais au champs : microparcelles/bandes avec modalités communes.



Calcul de paramètres agro-climatiques : somme des températures, somme des pluies, P-ETP...



Création de cartes climatiques

Détermination d'échelles de risques par expertise

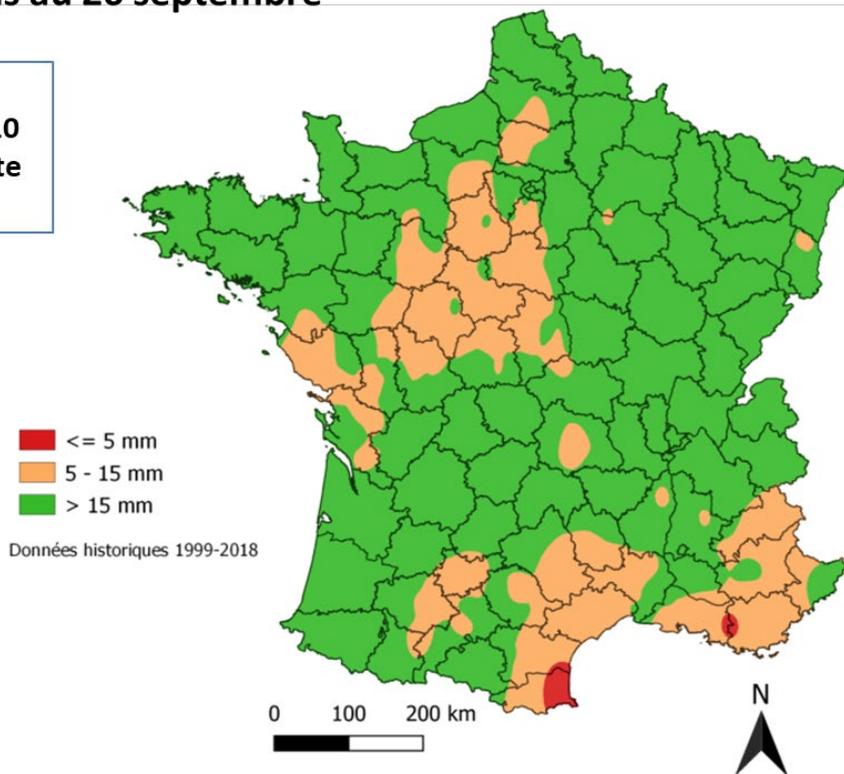
- Risque de faible pluviométrie à la levée
 - Potentiel de production, à partir des sommes de températures
 - Risque de gel en sortie hiver
 - Risque de stress hydrique pour la culture suivante
- Risque faible
■ Risque moyen
■ Risque fort

➤ Condition de levée de la CIVE

cumul de pluie sur la période [une semaine avant et deux semaines après le semis]

Pour un semis au 26 septembre

Décile 2
2 années sur 10
Fréquence forte
de risque



Source des données

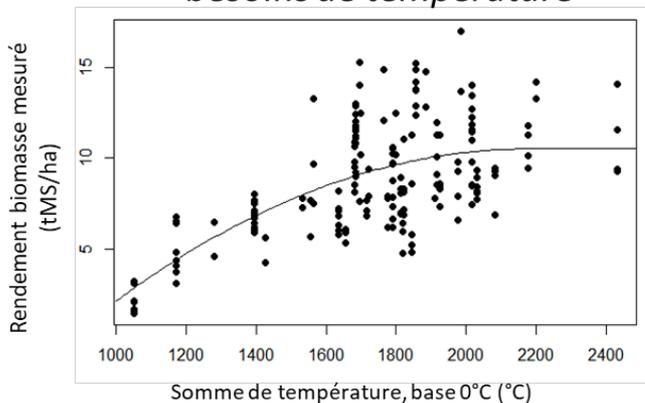


✓ Faibles risques d'échec à la levée
pour des semis fin septembre

➤ Quel potentiel de rendement ?

Potentiel estimé à partir des sommes de température

Estimation du rendement à partir des besoins de température

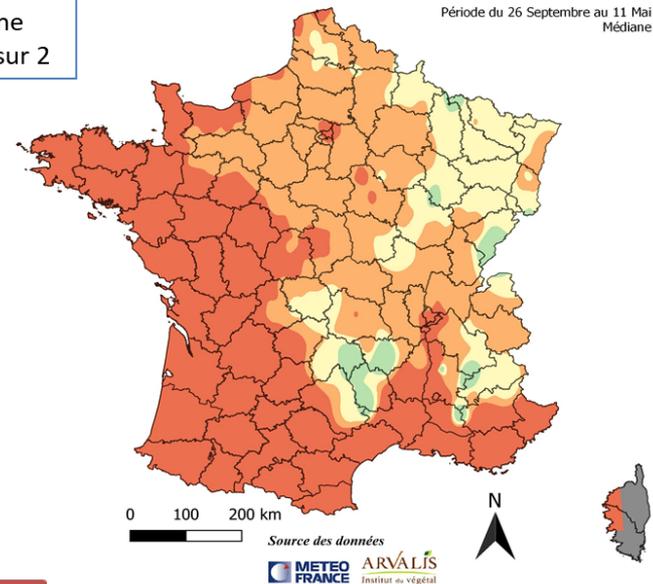


Détermination de classes par expertise :

| | | |
|---|---------------------|---------------------|
|  | < 1200 °C.j | ⇔ < 5 t MS/ha |
|  | De 1200 à 1400 °C.j | ⇔ de 5 à 6 t MS/ha |
|  | De 1400 à 1600 °C.j | ⇔ de 6 à 8 t MS/ha |
|  | De 1600 à 1900 °C.j | ⇔ de 8 à 10 t MS/ha |
|  | > 1900 °C.j | ⇔ > 10 t MS/ha |

Rendement moyen récoltable au 11 mai pour un semis au 26 septembre

Médiane
1 année sur 2

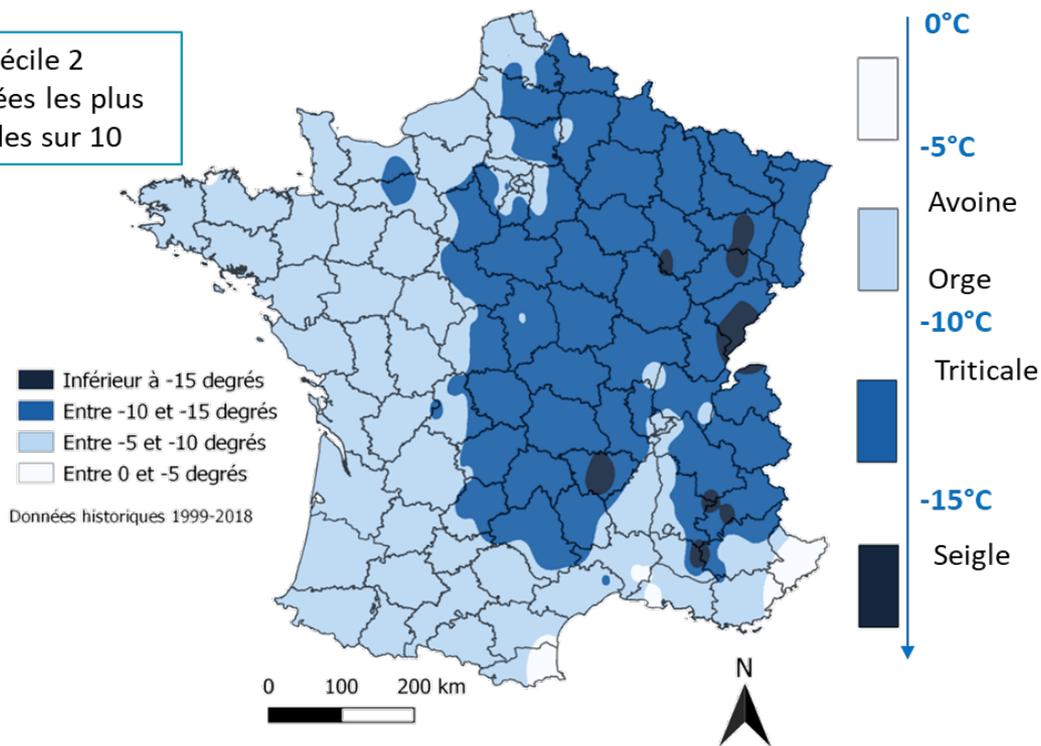


- ✓ Un gradient Nord-Est – Sud-Ouest
- ✓ Compromis de rendement acceptable : fin avril Sud-Ouest / 10 mai Nord-Est

➤ Risque de gel

Températures minimales du 1er Janvier au 15 Mars

Décile 2
2 années les plus
froides sur 10



Source des données



✓ **Risque de gel pour l'avoine Nord-est et/ou les variétés précoces à montaison**

Méthode d'évaluation du risque hydrique

Via l'outil Irrélis® = méthode de bilan hydrique

- Evaluation du niveau de réserve utile de sols après CIVE d'hiver
- Evaluation de la fréquence de remplissage sur 1 mois après récolte de CIVE d'hiver

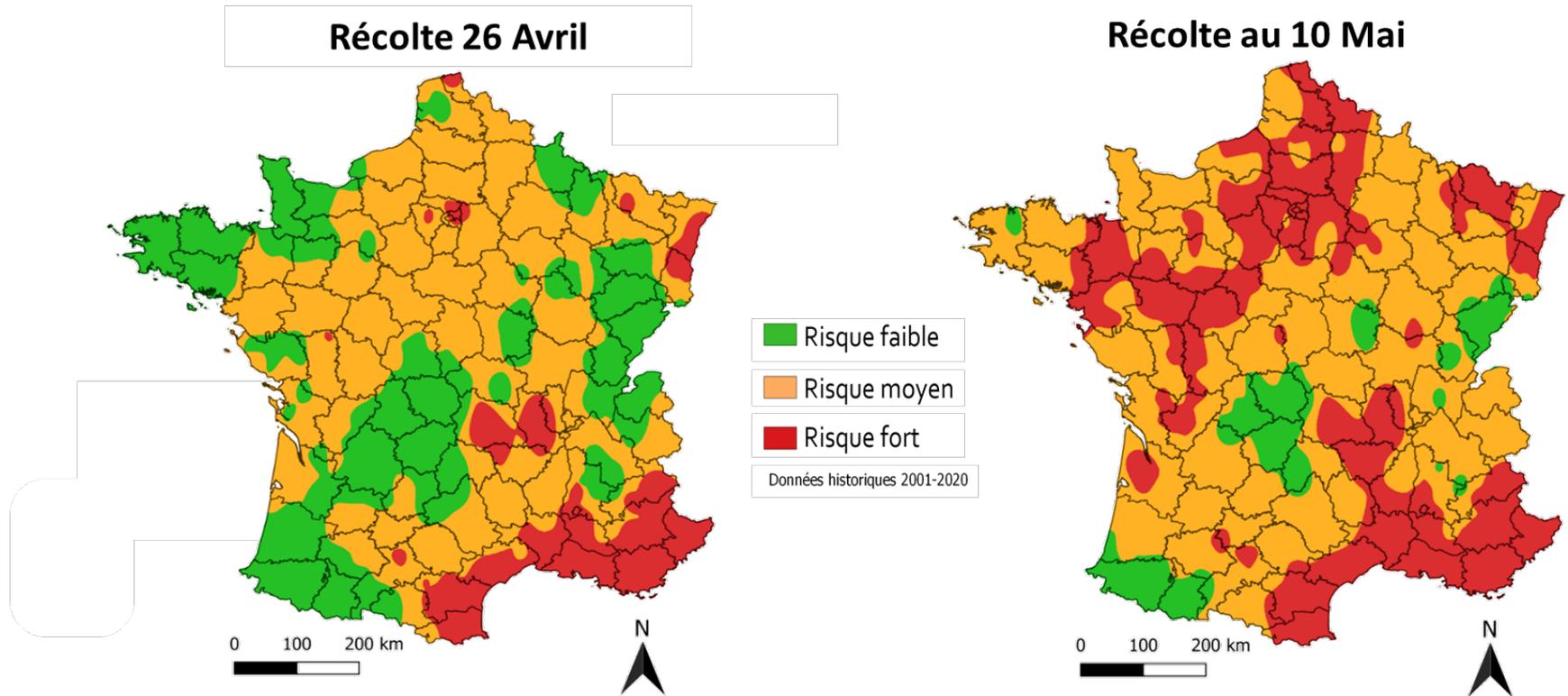
3 situations de référence de réserve utile (RU) :

- 80 mm
- 120 mm
- 180 mm

→ Détermination du risque selon l'occurrence d'avoir une réserve utile rereplie à plus de 75 %

- Risque faible : moins de 7 ans sur 20 ans
- Risque moyen: entre 7 et 14 ans sur 20 ans
- Risque fort : plus de 14 ans sur 20 ans

➤ **Risque que la RU ne se remplisse pas à plus 75% entre la récolte de la CIVE et le 26/05**



- ✓ **Retarder la date de récolte augmente le risque de stress hydrique pour la culture suivante. Situations à faible RU plus risquées**

Limites et Perspectives

Estimation du potentiel de rendement :

- prise en compte d'autres effets climatiques que la seule somme de température (rayonnement, alimentation hydrique et minérale)
- utiliser un modèle de culture CHN, STICS (Thèse de Camille Launay)

Risque de gel :

- lien avec la précocité à la montaison, mais des différences variétales
- intérêt de la création variétale

Risque hydrique :

- à valider par des mesures terrain
- mieux évaluer l'impact sur la culture suivante

Conclusions

- ✓ Faibles risques d'échec à la levée pour de semis fin septembre
- ✓ Potentiel de rendement, un gradient Nord-Est – Sud-Ouest
- ✓ Prendre en compte le risque de gel dans le choix d'espèces et de variétés
- ✓ Le déficit hydrique à la récolte des CIVE est général pour une récolte de mai et sa reconstitution insuffisante, notamment dans les sols à faible réserve utile ou avec une récolte tardive

→ Adapter le choix de l'espèce/variété de CIVE au contexte pédoclimatique et à la succession



Recital

ARVALIS
Institut du végétal

CAVAC
POSITIVE
AGRICULTURE!

euràlis
NOURRIR VOTRE CONFIANCE



AGRICULTURES
& TERRITOIRES
CHAMBRES D'AGRICULTURE

Aile
initiatives
énergie
environnement

Avec le soutien de



Et la participation de



ASSOCIATION
AGRICULTEURS
MÉTHANISEURS
DE FRANCE



OXYANE
INSPIRER L'AVENIR



ENGIE

INRAE

Cultures Intermédiaire à Vocation Énergétique (CIVE) : spécificités agronomiques et impacts environnementaux
Les rendez-vous INRAE au SPACE/13 septembre 2022

INRAE

**➤ Quels services écosystémiques rendus
par les CIVE ? Résultats d'expérimentation
et de simulation**

Camille Launay, INRAE Occitanie-Toulouse



➤ Différents types de cultures intermédiaires pour différents objectifs

| | | |
|--------------|---|---|
| CIVE | Culture Intermédiaire à Vocation Energétique Production d'énergie |     |
| CIPAN | Culture Intermédiaire Piège à Nitrates Réglementation Européenne qualité de l'eau |   |
| CIMS | Culture Intermédiaire Multi Services Production de services écosystémiques |    |



Seigle-féverole



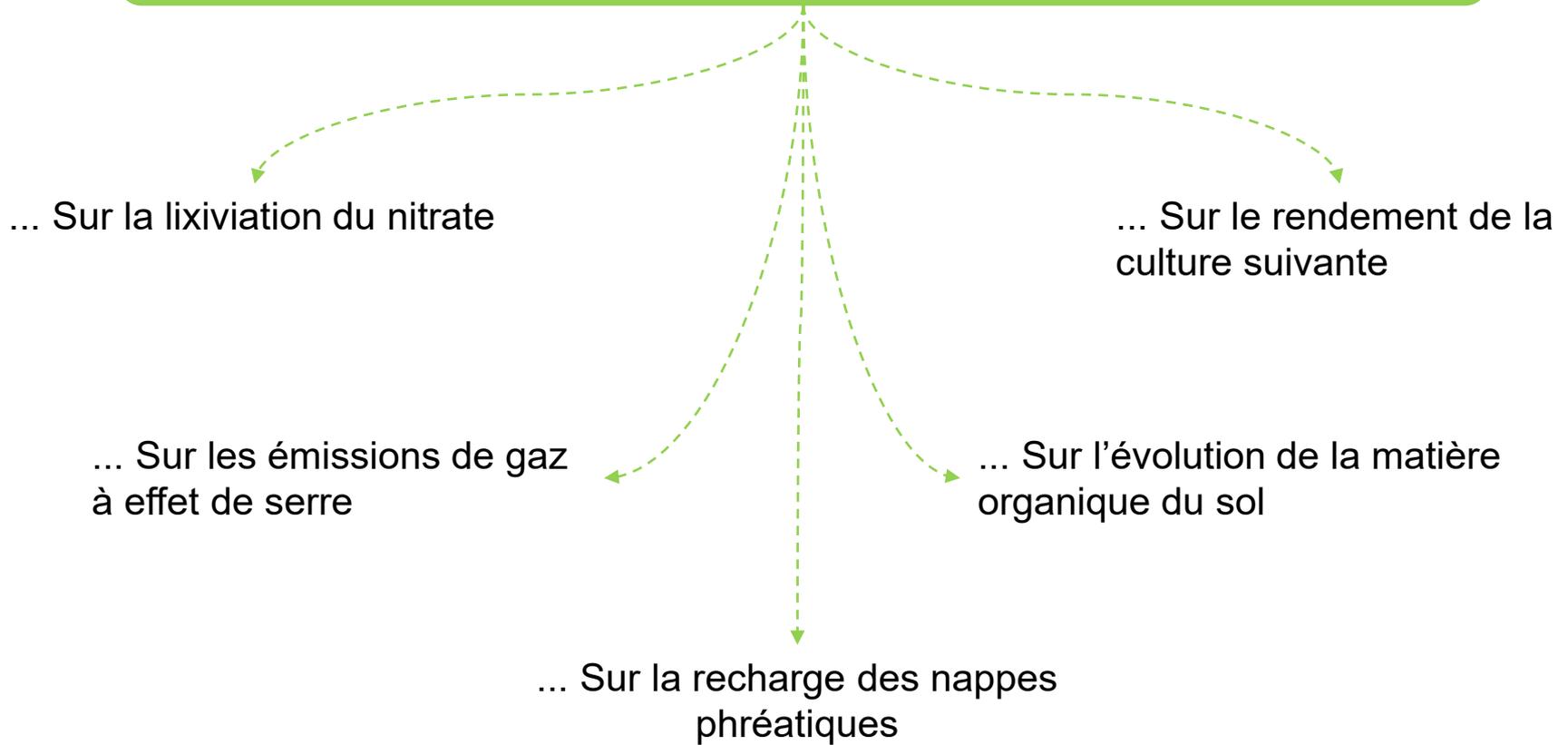
Moutarde blanche



Sorgho-vesce

➤ Problématique

Quelles conséquences environnementales des CIVEs par rapport aux autres formes de gestion des intercultures ?



➤ Méthode

2 ans

EXPÉRIMENTATION AU CHAMP

Quantité eau et azote dans le sol

Volatilisation d'ammoniac

Rendements

Azote absorbé par les plantes

30 ans

SIMULATION SUR STICS

Drainage

Lixiviation du nitrate

Émissions de N₂O

Stress hydrique et azoté

Stocks de carbone

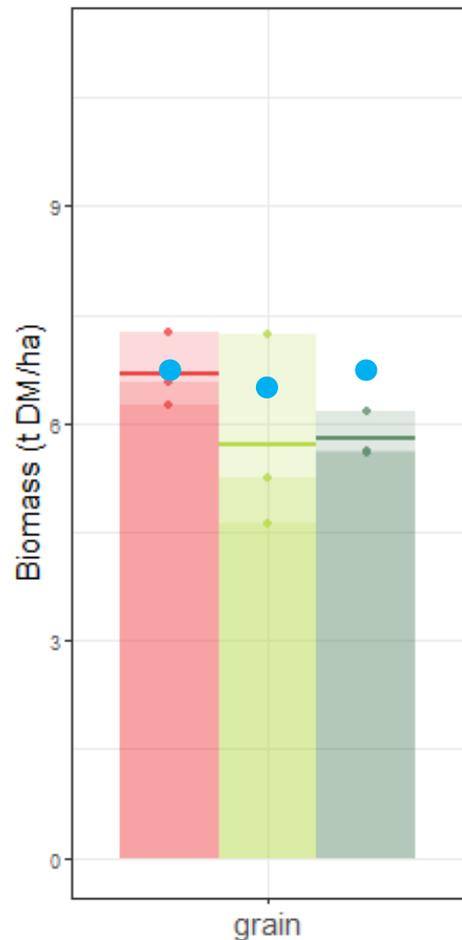
Calibration des espèces de couverts

➤ Impact sur la culture suivante

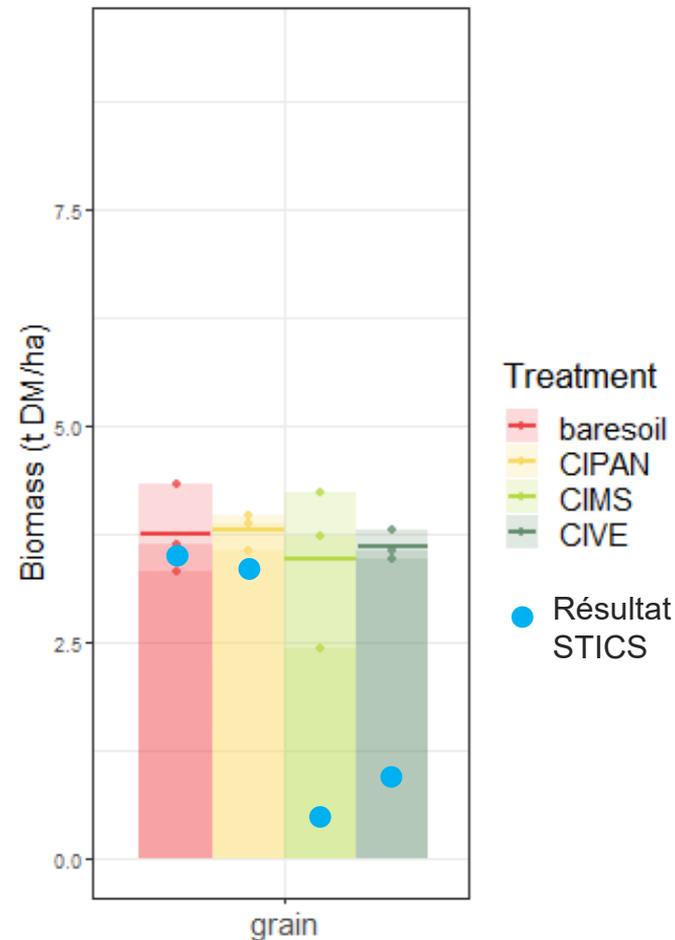
> Les couverts **n'ont pas réduit le rendement** de la culture suivante pendant l'expérience.

> STICS surestime les stress hydrique et azote sur le tournesol suivant la CIMS et la CIVE: -1.8 et -1.3 t/ha en moyenne respectivement

Winter barley production



Sunflower production 2021



➤ Impact sur le drainage

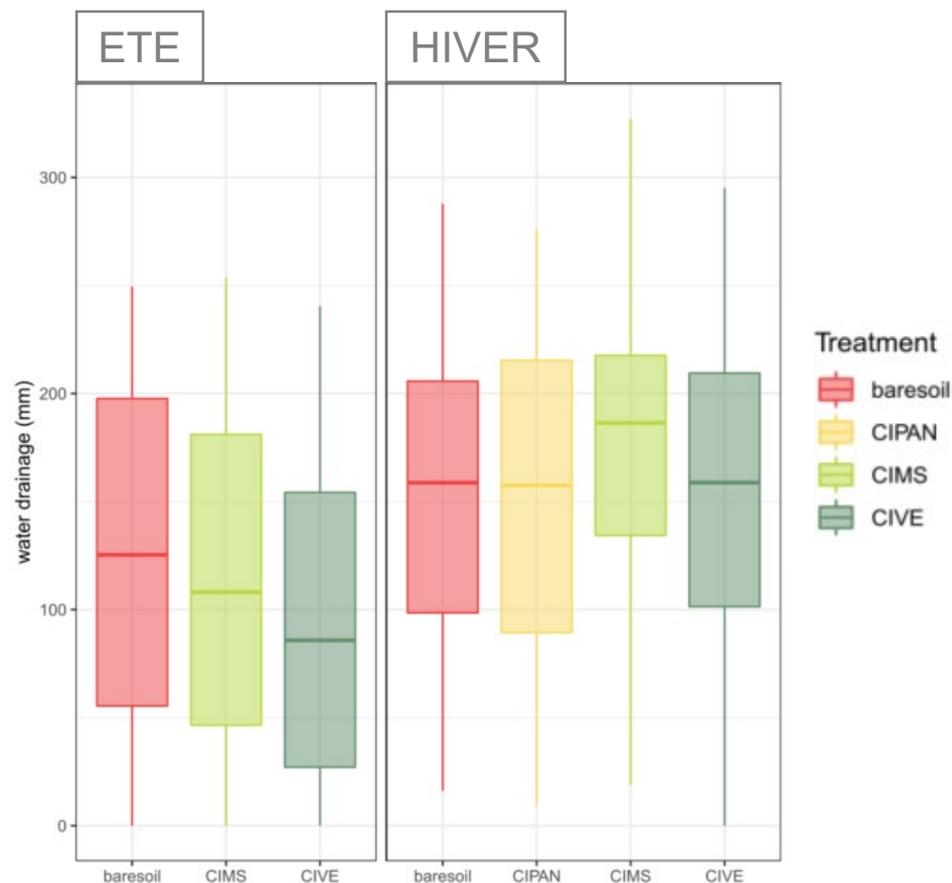
Au début de la période de drainage :

- Le stock d'eau dans le sol a été réduit après les couverts d'été
- Pas de différence entre les différentes gestions de l'interculture d'hiver

> **Légère réduction du drainage** quand les couverts étaient implantés en **été**

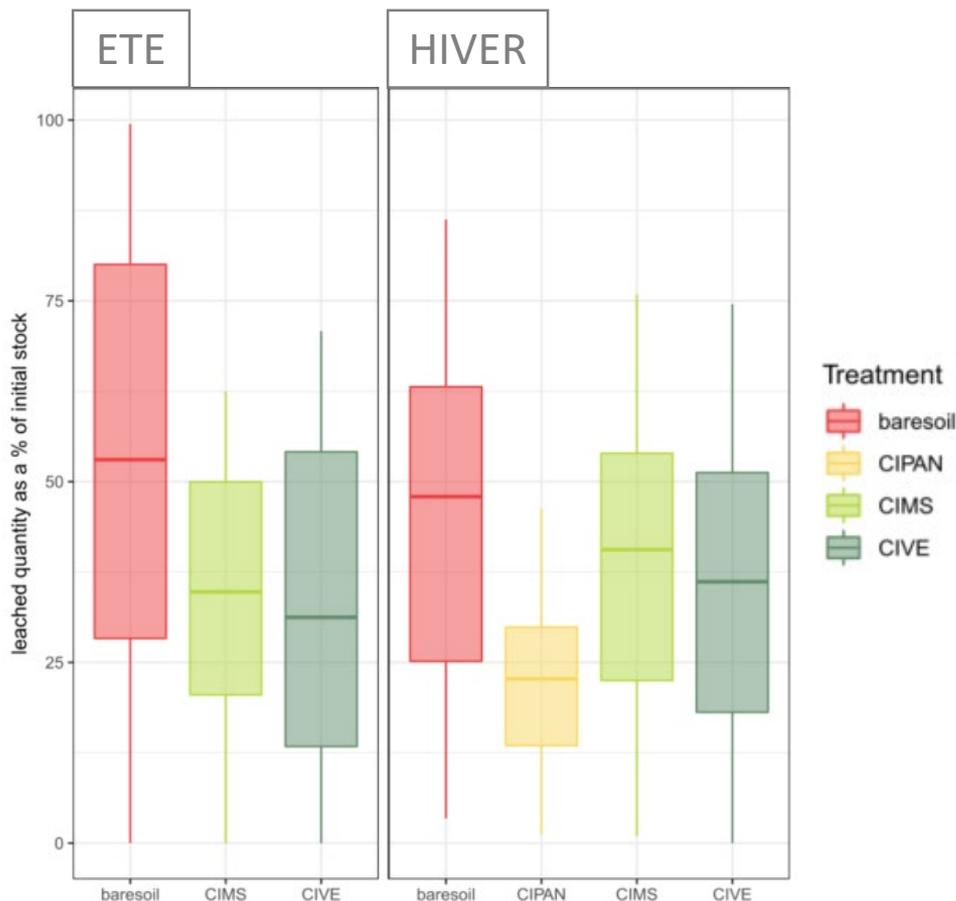
> **Pas de différence** quand les couverts étaient implantés en **hiver**

Cumul du drainage sous l'interculture et la culture suivante



➤ Impact sur la lixiviation du nitrate

Cumul de la lixiviation sous l'interculture et la culture suivante



> En **interculture d'hiver**, comme en **interculture d'été**, l'insertion d'une **CIMS** ou d'une **CIVE** ont été aussi efficaces pour réduire la lixiviation.

> La **moutarde** utilisée comme CIPAN était **2x plus efficace** que le mélange seigle-féverole ou que le seigle seul utilisés comme CIMS et CIVE.

> La **fertilisation** de la CIVE **n'a pas eu d'impact** sur le court terme (mais sur le long terme ?).

➤ Impact sur la volatilisation d'ammoniac



Le digestat épandu en juillet a été directement enfoui avant le semis de la CIVE

> Très peu de volatilisation: 2-5% du N-NH_3 appliqué



Le digestat épandu en mars a été appliqué en surface avec un tuyau d'arrosage

> Plus de volatilisation: 9-15% du N-NH_3 appliqué

Références dans la littérature :

- 6-29% du N-NH_3 appliqué en surface
- 4-12 % du N-NH_3 injecté

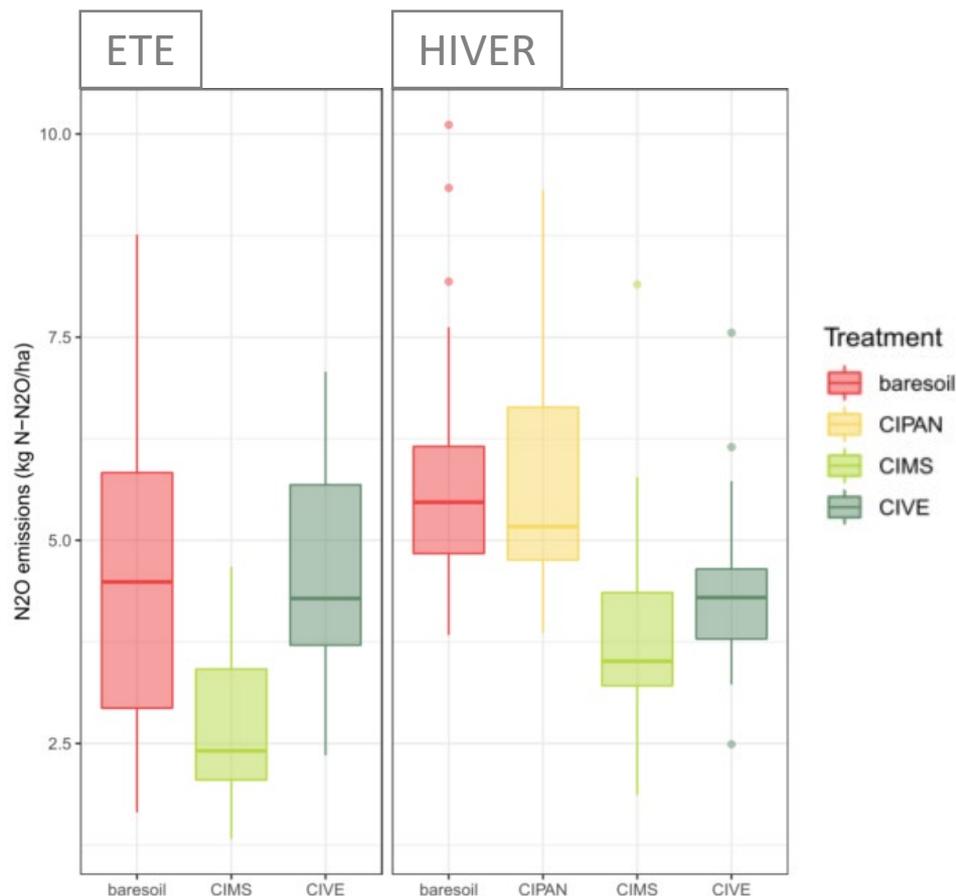
➤ Impact sur les émissions de N₂O directes

La capacité d'un couvert à réduire les émissions de N₂O dépend de sa capacité à réduire la quantité d'azote minéral dans le sol.

➤ **Les couverts ont réduit les émissions de N₂O** en comparaison au sol nu **excepté la CIPAN** à cause de la minéralisation de ses résidus à faible C/N

➤ **Les CIVEs étaient moins efficaces que les CIMS** malgré l'export des résidus à cause de la fertilisation supplémentaire

Cumul des émissions de N₂O pendant l'interculture et la culture suivante



Conclusion

- **Les CIVEs** sont des cultures intermédiaires qui fournissent des **services écosystémiques** en plus de leur premier service de **production d'énergie** (réduction de la lixiviation, réduction des émissions de N_2O).
- Mais elles peuvent aussi fournir des **disservices** sous certaines conditions: réduction du drainage, et volatilisation d'ammoniac à cause de l'utilisation de digestat
- **La fertilisation supplémentaire** apporte aussi certains désavantages : moins de réduction des émissions de N_2O , plus de risque de lixiviation sur le long terme.
- L'abondance et la diversité des microorganismes du sol a été mesurée mais les analyses sont en cours.



➤ **Impact des Cultures Intermédiaires Multi-Service (CIMS) sur le stockage du carbone organique dans les sols agricoles, dans un contexte de méthanisation**

Sabine Houot, INRAE Île-de-France – Versailles-Grignon

Florent Levavasseur, Patrice Kouakou, Julie Constantin, Romain Cresson, Fabien Ferchaud, Romain Girault, Vincent Jean-Baptiste, Hélène Lagrange, Sylvain Marsac, Sylvain Pellerin

➤ Contexte du projet

Cultures intermédiaires à vocation énergétique (CIVE) = potentiel important pour la méthanisation (*Ademe, 2018*), sans concurrencer la production alimentaire



web-agri.fr

Conduite de la culture en général intensifiée par rapport à un couvert non récolté pour ↗ production de biomasse : fertilisation, protection phytosanitaire, période de culture allongée...

Interrogation sur les effets agro-environnementaux de l'insertion des CIVE dans les systèmes de culture (*Launay et al., 2022*), notamment le C du sol :

- > ↗ de la production de biomasse aérienne et racinaire, mais biomasse aérienne exportée
- > Une partie du C exporté via la biomasse est restitué sous forme de digestat, avec une + forte stabilisation du C que la biomasse végétale brute (*Levavasseur et al., 2022*)

Projet CARBOCIMS : Quelle différence de stockage de carbone entre un système de culture avec CIVE et retour de digestat et un système sans CIVE ni digestat (sol nu ou culture intermédiaire non récoltée) ?

Pour une diversité de contextes pédoclimatiques et de systèmes de culture

➤ Méthodes : approche par modélisation

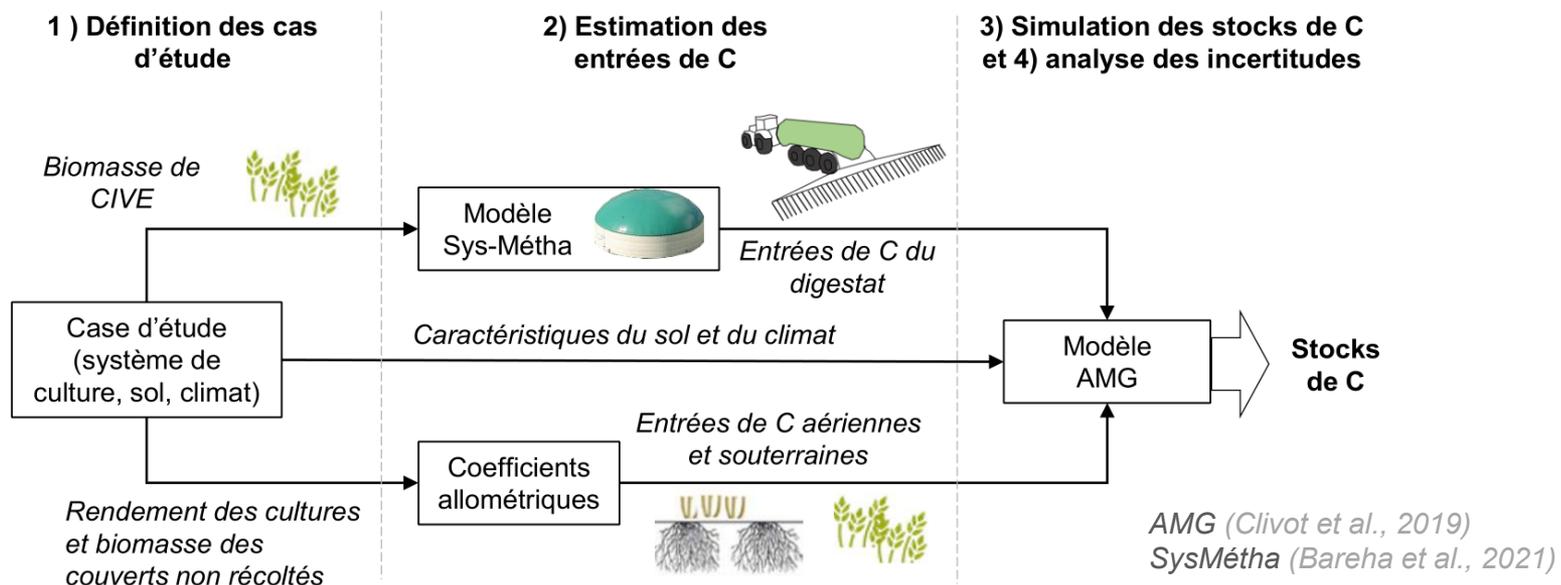
1) Définition de cas types à simuler, avec ou sans CIVE

2) Estimation des entrées de C :

> Par les couverts, résidus de cultures, racines à partir des rendements et de coefficients issus de la littérature

> Par le digestat grâce au modèle Sys-Métha qui estime le C des CIVE restant après méthanisation

3) Simulation de l'évolution des stocks de C avec AMG (0-25 cm à 30 ans)



➤ Méthodes : cas types

Cas types définis par grande région française, par expertise et/ou enquêtes :

> Type de sol et propriétés (argile, pH...), climat moyen annuel, rotation et rendements associés, gestion des pailles, travail du sol, irrigation

> Deux scénarios de couverts pour une interculture sur la rotation :

- Sans méthanisation : interculture nue ou couvert non récolté (type et production de biomasse associée)
- Avec méthanisation : CIVE (type et rendement associé)

> Insertion de la CIVE sans modification de la rotation, mais perte de rendement de la culture suivant CIVE d'hiver pour des rendements de CIVE > 5 t MS/ha

Exemple des cas types définis en Ile-de-France

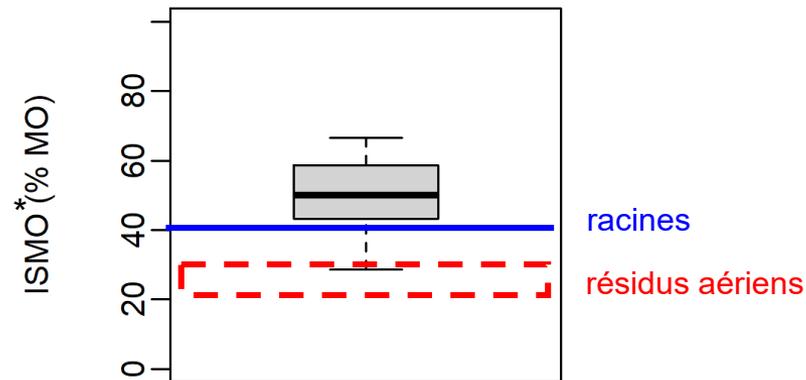
| ID | Region | Type de sol | Rotation | Couvert scénario de référence | Couvert scénario méthanisation |
|----|---------------|-------------|---|------------------------------------|---|
| 1 | Ile-de-France | Luvisol | Colza – blé – (couvert) – maïs grain – blé | Moutarde : 2 t MS ha ⁻¹ | Céréales d'hiver : 10 t MS ha ⁻¹ |
| 2 | | | Colza – blé – orge d'hiver – (couvert) – blé | Aucun | Maïs : 6 t MS ha ⁻¹ |
| 3 | | | Colza – blé – orge d'hiver – (couvert) – betterave – blé | Moutarde : 2 t MS ha ⁻¹ | Maïs : 6 t MS ha ⁻¹ |

➤ Méthodes : le carbone du digestat

Le modèle Sys-Métha prédit qu'environ **20% du C des CIVE reste dans le digestat** après méthanisation
> validation de cet ordre de grandeur sur 11 méthaniseurs de CIVE

Au-delà des quantités de C, besoin d'estimer la contribution du C du digestat au C du sol (stabilité du C)
> échantillonnage et analyse de la stabilité du C de digestats issus de 11 unités de méthanisation de CIVE
> le C des digestats est plus stable que celui des résidus et racines

* Indice de stabilité de la matière organique



Stabilité du C des digestats en comparaison à des résidus de culture et des racines



Résultats : entrées de C et stockage de C

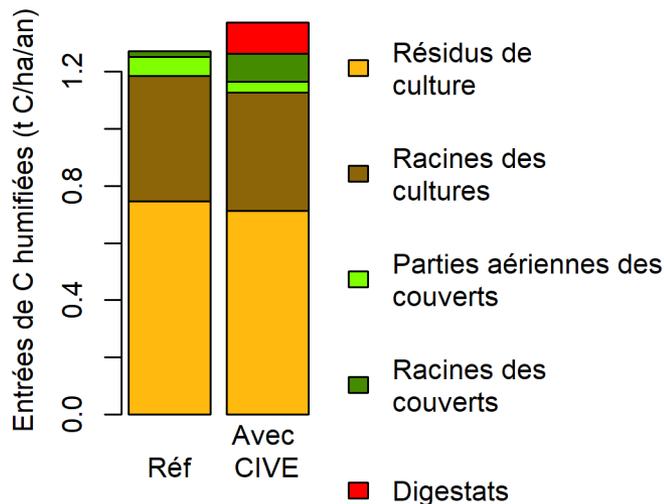
Exemple du cas type 1 (Ile-de-France, CIVE d'hiver avant maïs)

Entrées de C

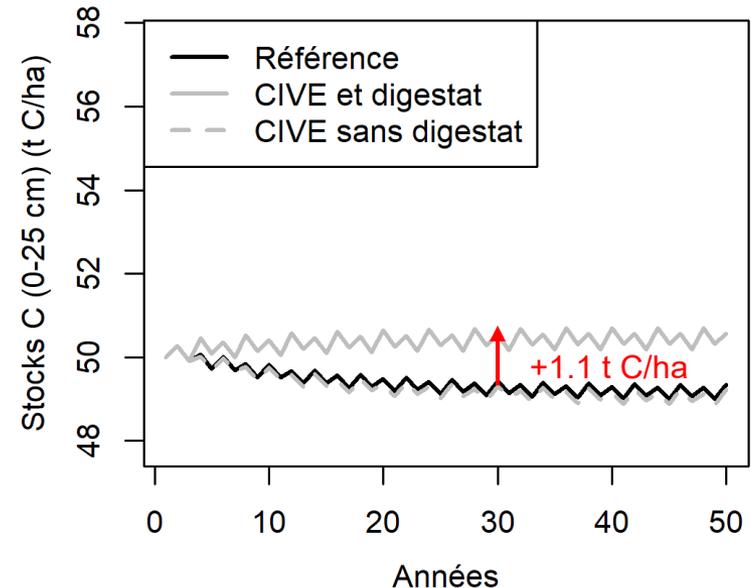
- > ↗ entrées C du couvert avec CIVE malgré l'exportation : contribution racinaire et exsudats
- > Légère ↘ des entrées de C des cultures principales (↘ rendement du maïs grain suivant CIVE)
- > Entrées C avec CIVE et digestat > sans CIVE, CIVE sans digestat ≈ sans CIVE

Conséquences sur les stocks de C

- > Stock avec CIVE et digestat > stock sans CIVE
- > Stock avec CIVE sans digestat ≈ stock sans CIVE



Entrées de C humifiées moyennes annuelles



Evolution des stocks de C au cours du temps, avec ou sans CIVE, avec ou sans digestat



Résultats : Influence du rendement des couverts

Exemple du cas type 1 (Ile-de-France, CIVE d'hiver avant maïs)

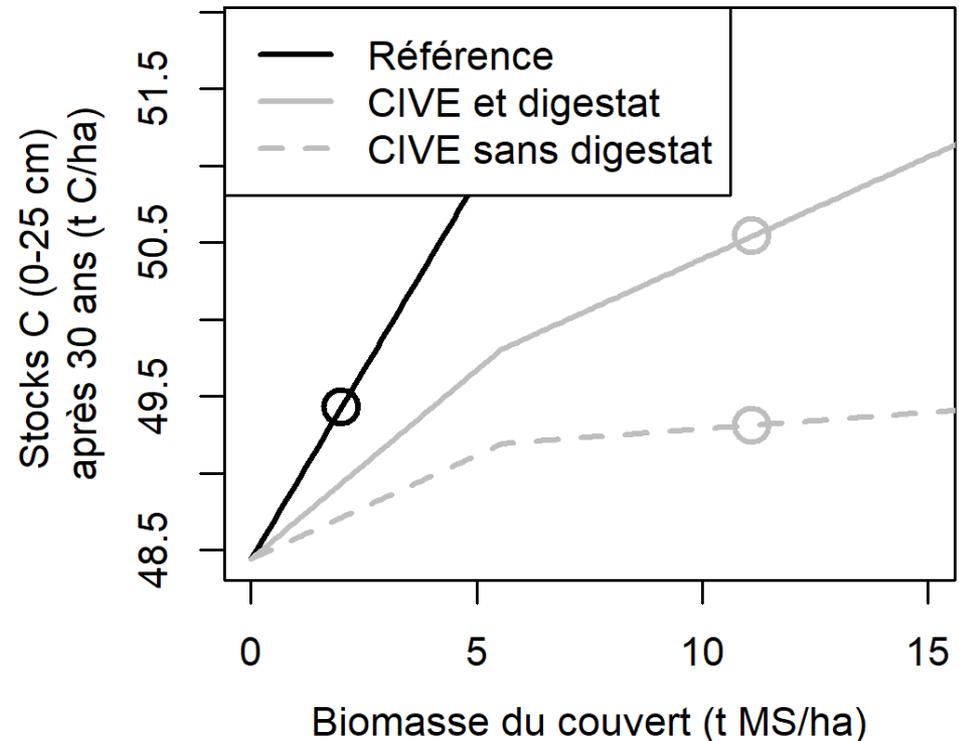
A rendement identique entre couvert non récolté et CIVE, le stock de C à 30 ans est plus important avec un couvert non récolté (et digestat)

Mais rendement des CIVE >> rendement des couverts non récoltés :

> Il faudrait 4.3 t MS/ha de couverts non récoltés pour stocker autant qu'une CIVE d'hiver à 10 t MS/ha

> Une CIVE d'hiver (avec digestat) stocke plus qu'un couvert non récolté (de 2 t MS/ha) à partir d'un rendement de 3.7 t MS/ha

Stock C à 30 ans (0-25 cm) en fonction du rendement des couverts



- Rendement référence CIVE hiver = 10 MS/ha récoltés (11 t MS/ha biomasse)
- Rendement référence couvert non récolté = 2 t MS/ha

➤ Résultats : stockage de C pour l'ensemble des cas types

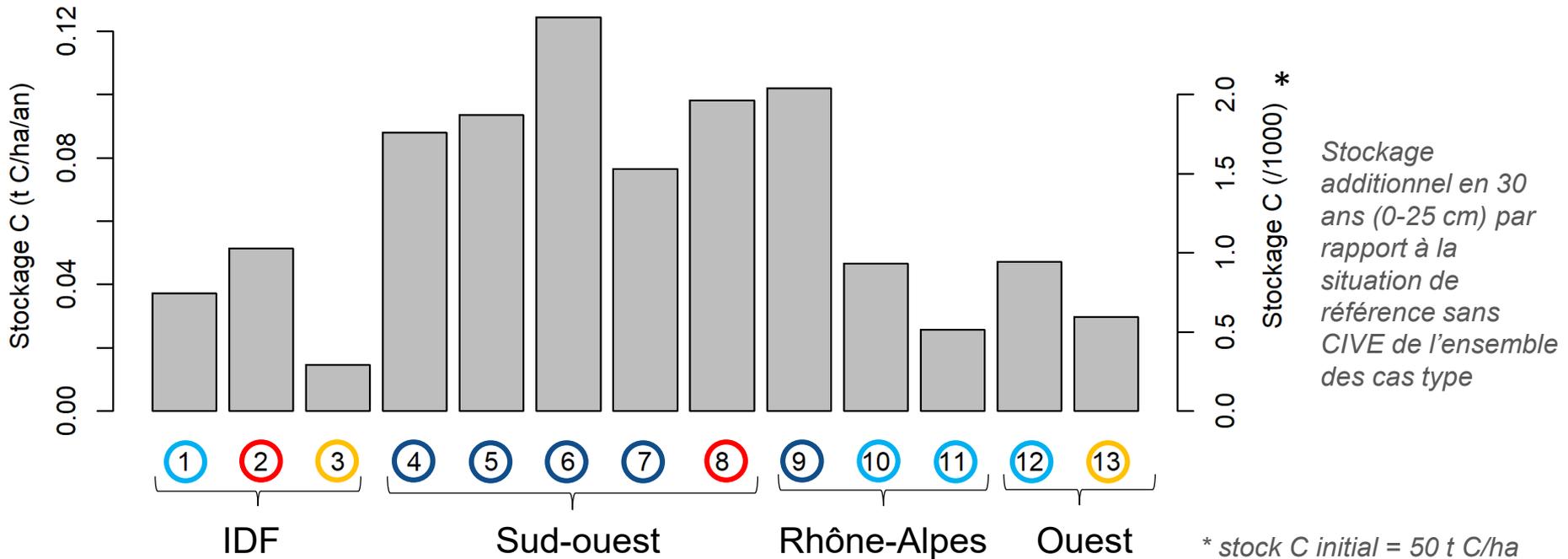
Stockage positif pour l'ensemble des cas type avec retour de digestat (de 0.3‰ à 2.4‰)

Variable selon les contextes pédoclimatiques, les fréquences et productions de CIVE considérées et la situation sans méthanisation :

- > CIVE hiver remplace sol nu ○
- > CIVE d'été remplace sol nu ○
- ou CIVE hiver remplace couvert non récolté ○
- > CIVE d'été remplace couvert non récolté ○



Diminution du stockage (mais reste positif)



Conclusions

A production égale de biomasse, une CIVE (avec retour de digestat) stockerait légèrement moins de C dans les sols qu'un couvert non récolté

Mais les rendements de CIVE sont supérieurs aux rendements des couverts non récoltés, ce qui amène à un stockage supérieur avec CIVE (encore plus si la CIVE remplace un sol nu)

Grosse incertitude sur les entrées racinaires des CIVE qui contribuent fortement au stockage

Incertitudes sur les paramètres du modèle (entrées racinaires, humification du digestat...) ne modifient pas les principales conclusions

Résultats dépendant de la représentation du C dans AMG, assez robustes aux incertitudes du modèle, mais souhaitable de les confirmer sur le terrain

Etude à système de culture constant (hormis CIVE). Dans la réalité, des changements possibles (rotation culturale...) et imports déchets extérieurs → effet sur le stockage de C à considérer

Autres effets à étudier (pertes N...) et bilan GES complet à établir

INRAE

➤ **Partage d'expérience avec le retour
d'un agriculteur breton utilisant des CIVE
dans sa recette d'alimentation
d'un digesteur**

Gildas Fouchet, exploitant de l'unité de méthanisation Méthavo



➤ SARL METHAVO ELEVAGES

13 ans de retour d'expériences avec les CIVEs

L'unité de méthanisation :

250 Kwe

5000 m³ d'effluents, 1500 T de cives,

2000 T de déchets extérieurs

La pratique des CIVEs :

Cives : orge ou seigle semé sous couvert de radis.

Rendements moyens : environs 8T de MS /ha

abandon des cives d'été



INRAE

> Conclusion

Romain Girault, INRAE Bretagne-Normandie



INRAE

**➤ Rendez-vous sur le stand
INRAE/L'Institut Agro
Hall 4-Stand B41**

