



# Concilier production de biomasse et performances en systèmes fourragers



Démarche construite dans le cadre du projet *Réseau de sites démonstrateurs* coordonné par Agri-Transfert Ressources et Territoires avec comme partenaires :



Projet soutenu financièrement de 2015 à 2020 par le FEDER, le FNADT au titre de l'initiative « Territoires catalyseurs d'innovation » et la Région Hauts-de-France



# SOMMAIRE

## Partie 1

### Présentation de l'essai

#### I. La plateforme de Beauvais



- ① Localisation et conduite de l'essai
- ② La parcelle d'essai : pédologie et historique

#### II. Les systèmes de culture « fourragers » suivis



- ① Système fourrager : système témoin et enjeux associés
- ② Déclinaison des systèmes de culture : objectifs et leviers techniques de production de biomasse employés
  - Le système « Alimentaire prioritaire »
  - Le système « Biomasse prioritaire »
- ③ Des scénarios étudiés selon deux modalités : travail et non travail du sol
  - Présentation des modalités
  - Six systèmes de culture testés

# SOMMAIRE

## Partie 2

### Niveau d'exportation de biomasse atteint avec ces systèmes de cultures

#### I. Exportation de biomasse permise par les différents scénarios



- ① Cumuls de biomasse obtenus
- ① Contribution des différentes cultures à la quantité de biomasse exportée dans chaque système
- ① Rendement attendus et réalisés pour les cultures principales des systèmes

#### II. Présentation des leviers techniques employés pour produire de la biomasse : quelle faisabilité technique ?



- ① Les Cultures Intermédiaires à Vocation Energétique (CIVE)
  - Définition
  - Evaluation agronomique
  - Faisabilité technique des CIVE d'hiver à une récolte
  - Faisabilité technique des CIVE d'hiver à deux récoltes
  - Faisabilité technique des CIVE d'été
- ① Faisabilité technique d'une succession de cultures à cycles courts

# SOMMAIRE

## Partie 3

### Conséquences agronomiques et environnementales des modifications du système et de l'exportation supérieure de biomasse

- I. **Méthodologie**
- II. **Performances environnementales des systèmes**
  - IFT Herbicide
  - P et K
  - Réserve hydrique
  - Concentration en nitrate de l'eau sous-racinaire et digestat
  - Carbone
  - GES

# SOMMAIRE

## Partie 4

### Conséquences du non-travail du sol sur sa fertilité



#### I. Fertilité biologique et organique

- Définitions
- Influence des pratiques agricoles sur l'activité biologique des vers de terre
- Influence des pratiques agricoles sur l'activité enzymatique du sol



#### II. Fertilité physique

- Mesures au champ
- Analyse

# SOMMAIRE

## Partie 5

### Conséquences économiques des modifications du système et de l'exportation supérieure de biomasse

#### I. Méthodologie

- ① Définition de la marge directe
- ① Calcul de la marge directe et hypothèses
- ① Zoom sur le calcul des charges d'engrais et d'amendements

#### II. Performances économiques des systèmes

- ① Marges directes obtenues pour les différents systèmes
  - Marges directes à l'échelle du système
  - Comprendre la marge directe du système « Alimentaire prioritaire »
  - Comprendre la marge directe du système « Biomasse prioritaire »
  - Part du couvert suivi d'un maïs fourrage dans la marge directe du système
- ① Réponse de la marge brute aux variations des prix de vente

## Synthèse

Enseignements globaux à retenir du cas d'étude  
 « Système de culture fourrager en travail et non travail du sol »

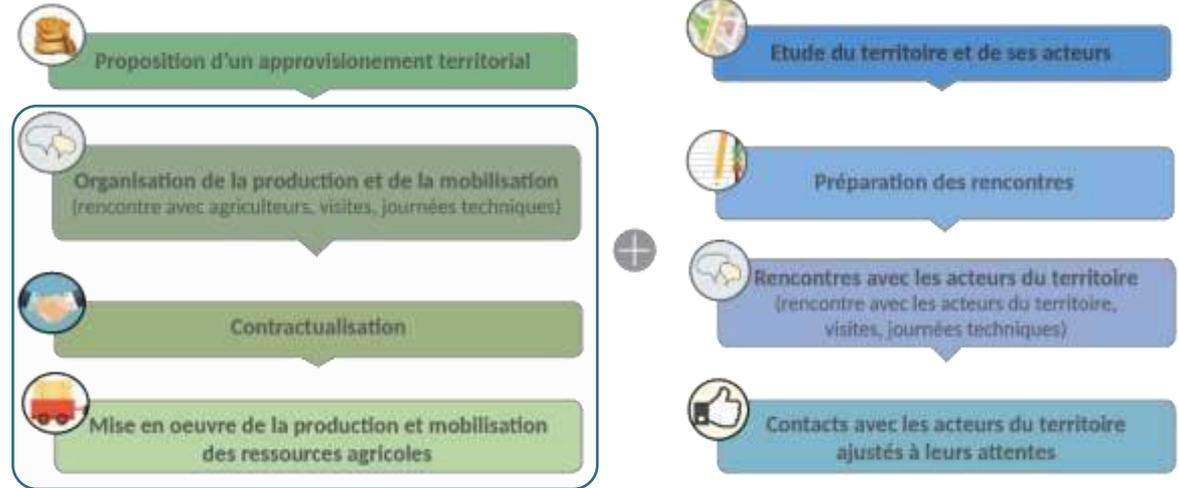


# La démarche FILBIOM

La mise en place d'une filière d'approvisionnement d'une unité de valorisation en biomasse agricole passe à la fois par le développement concret de la chaîne de valeur (conception d'un approvisionnement, organisation de la production, contractualisation...) et par l'ancrage du projet dans son territoire.

La démarche FILBIOM a vocation à aider à la mise en place de ces filières territoriales. Elle vous propose des clés de réussite basées sur des connaissances théoriques, des retours d'expérience et des références acquises via l'expérimentation et le suivi de projets.

## La démarche FILBIOM



Le document « **Concilier production de biomasse et performances en systèmes de culture fourragers** » porte sur le volet de la mise en œuvre concrète de la production de biomasse dans les systèmes de culture et notamment, dans ce cas d'étude, dans un système fourrager classique des Hauts-de-France, en situation de travail et également de non-travail du sol.



# Préambule

- ④ Ce document présente des résultats d'évaluation issues de l'expérimentation pluriannuelle de Beauvais (2016-2020) sur des systèmes de culture fourragers avec production de biomasse.
- ④ Ce document fait partie d'une série de documents intitulés « **Concilier production de biomasse et performances dans les systèmes de culture des Hauts-de-France** » qui vise à apporter des références et retours d'expériences en vue de fournir des éléments de réponses aux questions soulevées par la production de biomasse :
  - Quels sont les leviers techniques de production de biomasse agricole ?
  - Comment intégrer ces leviers de production de biomasse dans les différents types de systèmes de culture ?
  - Quel niveau de production maximale de biomasse peut-on atteindre dans ces différents systèmes ?
  - Quels sont les effets de la production et de l'exportation de biomasse sur les performances agronomiques, environnementales, économiques ?

Ce guide s'appuie sur les résultats obtenus par l'expérimentation de systèmes de culture pour la bioéconomie, menée dans le cadre du projet *Réseau de sites démonstrateurs* entre 2015 et 2020.

Quatre plateformes expérimentales réparties dans les départements de l'Aisne, de la Somme et de l'Oise ont été suivies. Elles étaient situées à Aizecourt-le-Haut (Ferme 3.0, 80), Landifay (02), Catenoy (60) et Beauvais (60).

Leurs objectifs :

- ④ Concevoir et tester des systèmes de culture pour alimenter les filières de la bioéconomie
- ④ Evaluer leurs performances agronomiques, environnementales et économiques
- ④ Montrer la capacité des Hauts-de-France à produire des agro-ressources





## Partie 1

### Présentation de l'essai

#### I. La plateforme de Beauvais



- Localisation et conduite de l'essai
- La parcelle d'essai : pédologie et historique

#### II. Les systèmes de culture « fourragers » suivis



- Système fourrager : système témoin et enjeux associés
- Déclinaison des systèmes de culture : objectifs et leviers techniques de production de biomasse employés
  - Le système « Alimentaire prioritaire »
  - Le système « Biomasse prioritaire »
- Des scénarios étudiés selon deux modalités : travail et non travail du sol
  - Présentation des modalités
  - Six systèmes de culture testés



# La plateforme de Beauvais

- ❖ Elle est basée dans la commune de Beauvais (Oise) au sein de la ferme expérimentale de l'école polytechnique UniLaSalle.
- ❖ L'essai a été conduit par UniLaSalle avec l'appui de la Chambre d'agriculture des Hauts de France et d'Agro-Transfert Ressources et Territoires.



Localisation de la parcelle d'essai



# Contexte pédologique et historique de la plateforme

## Caractéristiques de la parcelle

- L'essai est à cheval sur 2 parcelles historiques
- Malgré cela, la parcelle est assez homogène, de type limon argileux profond avec silex à 80cm
- Taux MO : environ 2% (plus faible sur la partie nord)
- RU : 160 – 180 mm (plus faible sur la partie nord)
- Da : 1,5 g/cm<sup>3</sup> (faible activité biologique et horizon assez tassé dans profils culturaux réalisé avant la mise en place de l'essai)

## Conduite historique de la parcelle

- Rotation
  - Parcelle Sud : OH – féverole – blé/OH
  - Parcelle Nord : colza/blé – OH/blé – maïs
- Campagne 2015 - 2016 : blé pour homogénéisation (précédent commun sur les deux parcelles)
- Plus de labour depuis 2015 pour parcelle Nord et au moins 2013 pour parcelle Sud
- Pression adventices élevée



Un dispositif expérimental à cheval sur deux parcelles historiques



Le dispositif expérimental étant à cheval sur deux parcelles historiques, l'ancienne délimitation de ces deux parcelles, une fourrière, constitue une zone tampon sur le dispositif.

Dans le projet, les 2 bandes parcelaires du dispositif traversées par cette ancienne fourrière ont été cultivées. Cependant les données issues de ces bandes ne sont pas intégrées dans les résultats d'évaluation présentés, du fait de la présence de la fourrière.

### LISTE DES ABBREVIATIONS

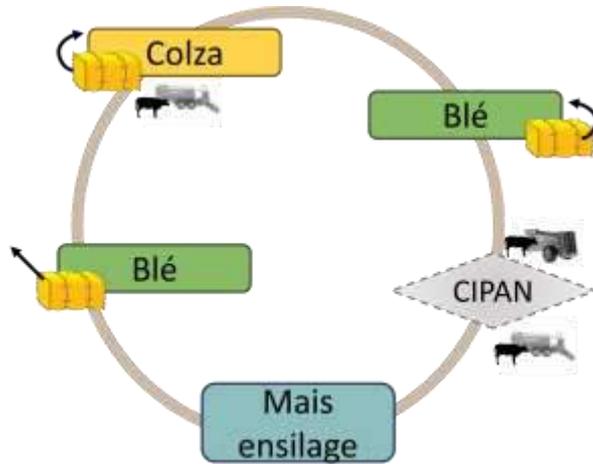
MO : Matière Organique  
 RU : Réserve hydrique Utile  
 Da : Densité apparente  
 OH : Orge d'hiver/Escourgeon



# Systèmes polyculture-élevages : le système de référence (témoin)

## Système témoin en 4 ans

*Système fourrager classique de la région*



Ce système a été décliné en différents scénarios de production de biomasse ayant comme objectifs principaux de :

- Maximiser la production de matière sèche à exporter (alimentation humaine, animale et biomasse)
- Diversifier les voies de valorisation des cultures du système (fourrage et méthanisation)
- Maintenir ou améliorer la fertilité organique des sols (matière organique, structure, activité biologique)



Tout en vérifiant que les systèmes proposés préservent le même niveau de performances environnementales et économiques, notamment :



Qualité de l'eau



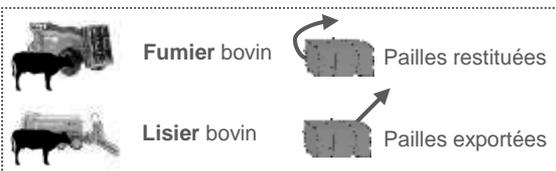
Emissions GES



Biodiversité



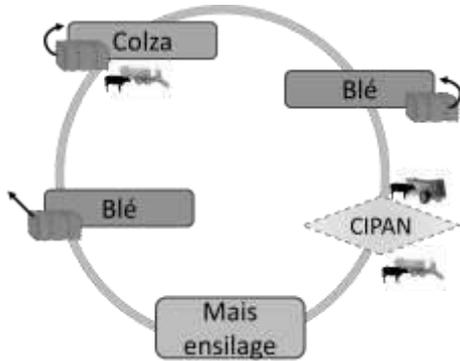
Marges



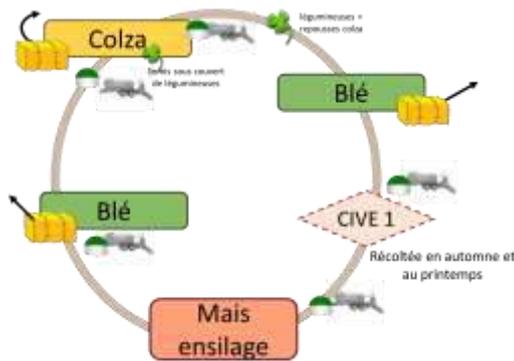


# Déclinaison des systèmes de culture testés

Gradient croissant de production de biomasse



Témoin



Alimentaire Prioritaire



Dans le système *Alimentaire prioritaire*, l'objectif est de **préserver la vocation alimentaire du système et produire davantage de biomasse**. Pour cela, nous avons :

- ① Conservé 4 cultures alimentaires et fourragères
- ① Remplacé la CIPAN par une CIVE longue d'hiver à 2 récoltes (Culture Intermédiaire à Vocation Énergétique)
- ① Exporté 2 pailles (blé)

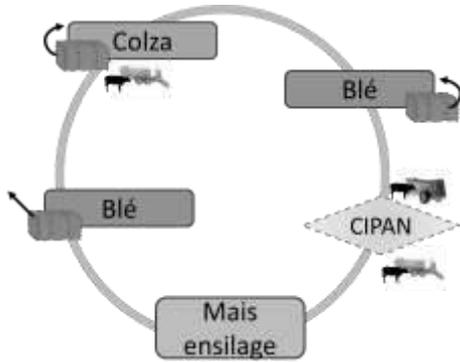
La volonté d'**améliorer de la fertilité du sol** étant également importante sur cette plateforme, nous avons :

- ① Semé le colza en association avec une légumineuse
- ① Augmenté la fréquence des apports en matière organique (5 apports par rotation)
- ① Modifié la nature de la MO en **remplaçant les effluents d'élevage par du digestat**

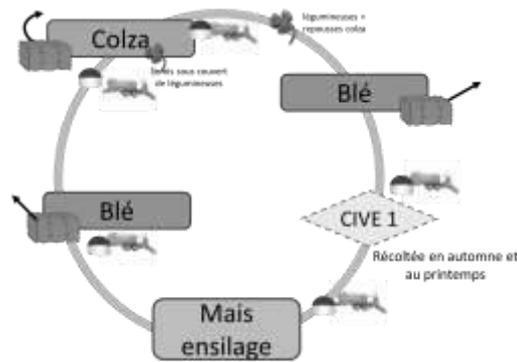


# Déclinaison des systèmes de culture testés

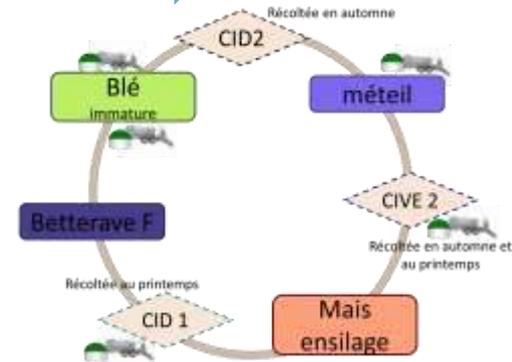
Gradient croissant de production de biomasse



Témoin



Alimentaire Prioritaire



Biomasse Prioritaire



Dans le système *Biomasse prioritaire*, l'objectif est de **produire plus de biomasse, tout en répondant aux autres objectifs.**

Concrètement, le système a été conçu pour **tendre vers une autonomie fourragère ou de méthanisation**, en accordant une moindre importance à l'aspect *alimentation humaine*.



# Déclinaison des systèmes de culture testés

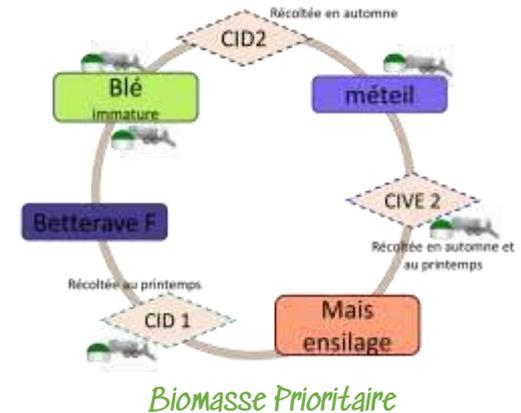
Pour ce faire, la rotation a été repensée pour **favoriser une succession de cultures à fort potentiel de production de biomasse, notamment grâce à des cultures de printemps à cycle court et des récoltes en immature (biomasse verte).**

Elle est maintenant composé de :

- Un **méteil** (OH + légumineuses) récolté en immature et suivi d'une première **CIVE longue d'hiver à 2 récoltes** (automne et printemps) pour permettre l'implantation d'un **maïs ensilage** au printemps,
- Une seconde **culture intermédiaire longue d'hiver appelé CID (Culture Intermédiaire Dédiée) récolté précocement** au printemps. La récolte précoce de la CID permet l'implantation d'une **betterave fourragère**. Cette CI est nommé différemment puisque sa valorisation initiale est plutôt orientée pour le fourrage (alimentation animale), contrairement aux CIVE qui ont une vocation énergétique.
- Un **blé récolté en immature** suivi d'une troisième **CI (CID à cycle court)**

La volonté d'**améliorer de la fertilité du sol** étant également importante, nous avons :

- Cherché à maximiser la biomasse restituée au travers de la biomasse racinaire et des chaumes
- Augmenté la fréquence des apports en matière organique (5 apports par rotation)
- Modifié la nature de la MO en **remplaçant les effluents d'élevage par du digestat**





# Des scénarios étudiés selon deux modalités de travail du sol

- Le système de référence a donc été décliné en deux scénarios de production de biomasse appelés *Alimentaire prioritaire* et *Biomasse prioritaire*.
- La particularité du dispositif expérimentale de la plateforme de Beauvais est que **chacun des 3 scénarios a été conduit selon 2 modalités de travail du sol, afin de répondre à l'objectif de maintien et/ou d'amélioration de la fertilité des sols :**
  - Une modalité en travail du sol** ayant recours au travail profond (labour) et superficiel (déchaumage, TCS).  
Le recours au labour n'était pas systématique. Il était adapté et raisonné selon la rotation et les conditions pédoclimatiques.
  - Une modalité en non travail du sol** avec l'utilisation de semis direct, de strip-till ou l'implantation de couverts

## HYPOTHÈSES SOUS JACENTES

Le choix de conduire les systèmes de culture selon deux modalités de travail du sol a été fait dans l'idée que la réduction du travail du sol permettrait de :

- Améliorer la fertilité du sol** (dynamique et disponibilité des nutriments, structure du sol, fonctionnalité des communautés vivantes du sol)
- Diminuer les émissions de GES et les consommations énergétiques**

Et ainsi de proposer des systèmes innovants répondant aux enjeux agronomiques et environnementaux étudiés dans le projet.

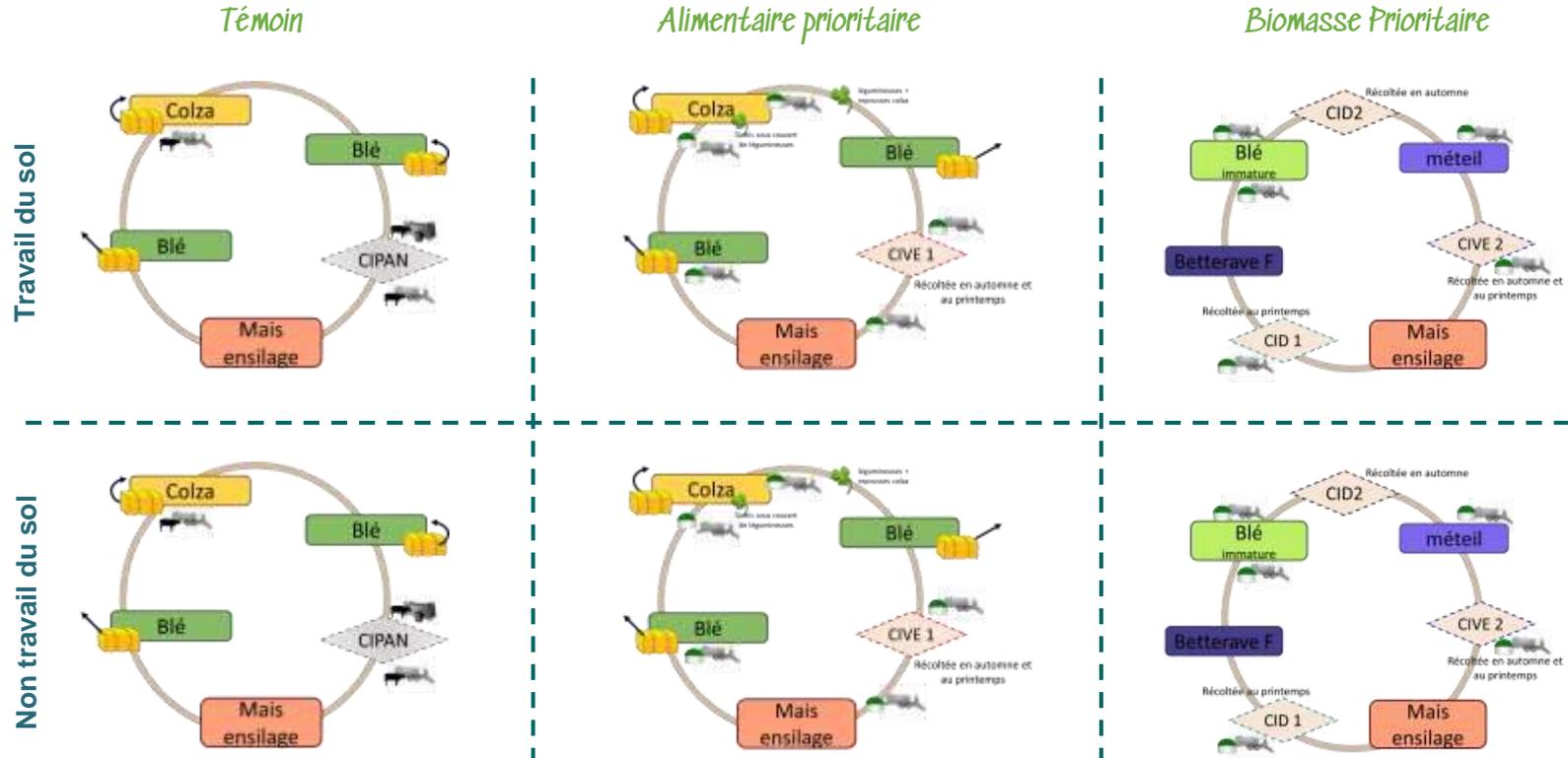




# Au total : 6 systèmes testés

Au total, 6 systèmes ont été mis en place et suivis sur la plateforme (3 scénarios de système de culture x 2 modalités de travail du sol).

Pour un même système de culture, les itinéraires techniques varient selon la modalité de travail ou non travail du sol.





## Partie 2

### Niveau d'exportation de biomasse atteint avec ces systèmes de cultures

#### I. Exportation de biomasse permise par les différents scénarios



- ① Cumuls de biomasse obtenus
- ② Contribution des différentes cultures à la quantité de biomasse exportée dans chaque système
- ③ Rendement attendus et réalisés pour les cultures principales des systèmes

#### II. Présentation des leviers techniques employés pour produire de la biomasse : quelle faisabilité technique ?



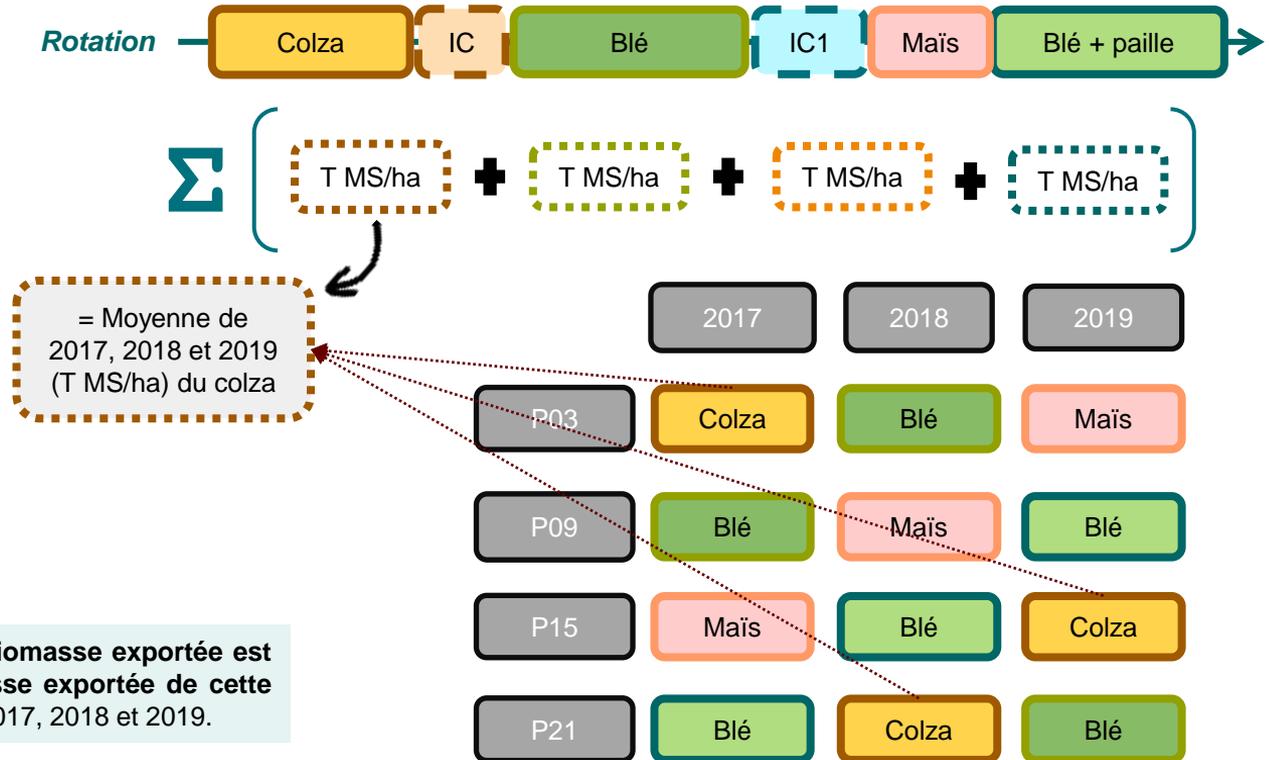
- ① Les Cultures IntermédiaIRES à Vocation Energétique (CIVE)
  - Définition
  - Evaluation agronomique
  - Faisabilité technique des CIVE d'hiver à une récolte
  - Faisabilité technique des CIVE d'hiver à deux récoltes
  - Faisabilité technique des CIVE d'été
- ② Faisabilité technique d'une succession de cultures à cycles courts



Les trois rotations suivies sur la plateforme sont toutes d'une durée de 4 ans. L'essai a été conduit sur cette durée afin de permettre l'obtention de données relatives à une rotation complète.

Cependant, au moment de la réalisation des évaluations, les données de la dernière année de campagne n'étaient pas encore disponibles. Ainsi, les résultats présentés ont été obtenus grâce à une méthode permettant de calculer les cumuls de biomasse exportée sur la rotation avec une rotation incomplète (3 ans sur 4). Le schéma ci-contre explicite cette méthode.

Méthode utilisée pour calculer les cumuls de biomasse exportée sur la rotation avec une rotation incomplète (3 ans sur 4)



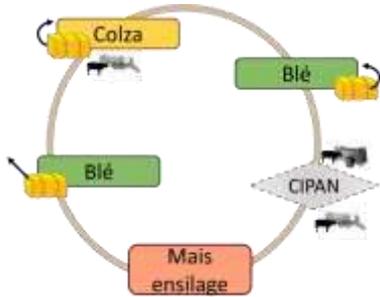
Pour chaque culture de la rotation, la **biomasse exportée est définie par la moyenne de la biomasse exportée de cette culture**, obtenue à partir des données 2017, 2018 et 2019.



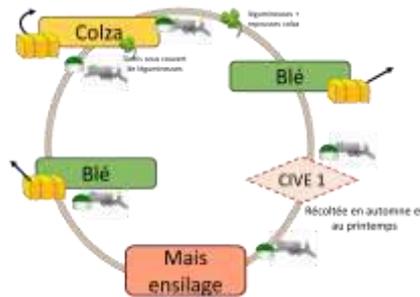
# Résultats d'exportation de biomasse

*Hypothèse :*

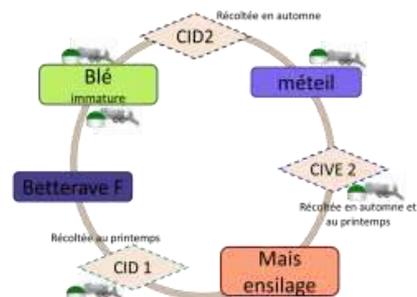
*Gradient croissant de production de biomasse*



*Témoin*



*Alimentaire prioritaire*



*Biomasse prioritaire*

Travail du sol

43 T MS/ha  
80 T MB/ha

50 T MS/ha  
109 T MB/ha

61 T MS/ha  
253 T MB/ha

Non travail du sol

40 T MS/ha  
74 T MB/ha

48 T MS/ha  
103 T MB/ha

60 T MS/ha  
245 T MB/ha

*Résultats*



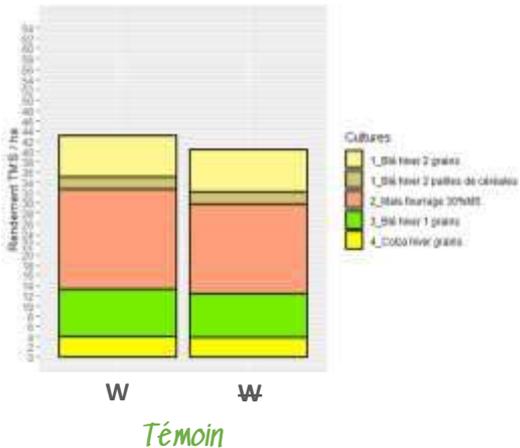
L'objectif de gradient d'exportation de biomasse est atteint avec les systèmes de culture conçus. La quantité de biomasse exportée est très légèrement inférieure, en moyenne, en non travail du sol.

La suite de cette deuxième partie permet d'approfondir la contribution des cultures à cette production de biomasse et de revenir sur les leviers de production de biomasse.



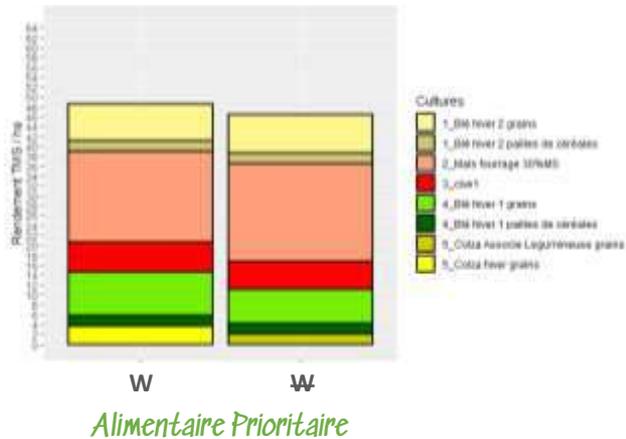
# Contribution des cultures à la biomasse exportée

Cumul de biomasse



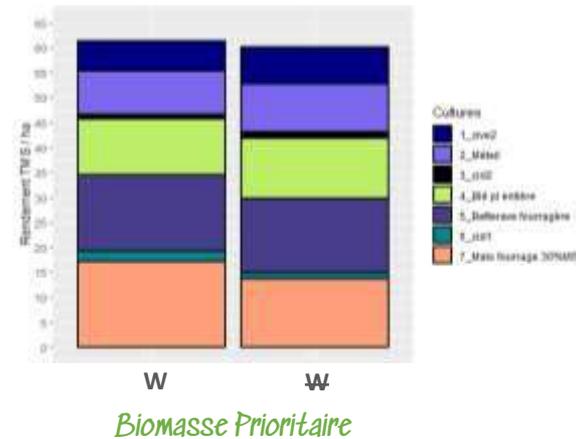
- Les rendements des cultures principales sont conformes aux objectifs\* du pilote (cf. diapo suivante)
- Le **maïs** contribue, pour les deux modalités, à environ la moitié de la biomasse exportée

Cumul de biomasse



- Les rendements des cultures principales sont conformes aux objectifs\* du pilote (cf. diapo suivante)
- Le **maïs** ensilage contribue, pour les deux modalités, à environ la moitié de la biomasse exportée
- La production de biomasse de la **CIVE 1** dans ce système et l'exportation de la **seconde paille de blé** font que le niveau d'exportation du système est plus élevé que le **témoin**, permettant de répondre à l'objectif de production de biomasse.
  - Exportation CIVE 1 = 5,8 T MS/ha
  - Exportation des 2 pailles blé = 5,4 T MS/ha

Cumul de biomasse



- Les rendements des cultures principales sont conformes aux objectifs\* du pilote (cf. diapo suivante)
- Le cumul de biomasse exporté est supérieur à celui des autres systèmes, grâce à l'introduction de cultures dédiées, ayant un fort potentiel de production de biomasse. Respectivement, les exportations de **betterave fourragère**, de **blé immature**, de **méteil** et de la **CIVE 2** sont de **15 T MS/ha**, **11 T MS/ha**, **8 T MS/ha** et **6,4 T MS/ha**.
- Le **maïs** ensilage permet d'exporter moins de biomasse que sur les autres systèmes



# Les niveaux de rendements des cultures principales

Objectifs de rendement fixé par le pilote de la plateforme

Rendement	Objectif de rendement* fixé par le pilote de la plateforme
Blé hiver	90 qx/ha
Colza	40 qx/ha
Maïs ensilage	16T MB/ha
Méteil / blé immature	10 T MS/ha
Betterave fourragère	16 T MS/ha

\* Rendements aux normes commerciales



Les objectifs de rendement ont été fixés par le pilote de la plateforme en tenant compte des rendements potentiels des cultures dans le secteur géographique et ce contexte pédoclimatique de la plateforme.

## METHODOLOGIE

### Les objectifs de rendement sont-ils atteints dans les systèmes de culture testés ?

#### ❖ Atteinte de l'objectif annuel de la culture

Chaque année et pour chaque culture, le rapport entre rendement mesuré au champ (*placette*) et objectif de rendement est calculé.

Par exemple :

$$\Delta_{\text{blé témoin}_{2017}} = \frac{\text{Rendement placette}_{\text{blé témoin}_{2017}}}{\text{Objectif de rendement}_{\text{blé}}} \times 100$$

#### ❖ Atteinte moyenne de l'objectif de rendement de la culture

La moyenne des rapports annuels ( $\Delta_{\text{culture}_{\text{année}}}$ ) entre rendement obtenu et objectif pour la culture permet de déterminer si, globalement, l'objectif de production a été atteint pour la culture étudiée.

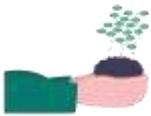
Par exemple :

$$I_{\text{blé témoin}} = \frac{\Delta_{\text{Blé témoin}_{2017}} + \Delta_{\text{Blé témoin}_{2018}} + \Delta_{\text{Blé témoin}_{2019}}}{3}$$

#### ❖ Atteinte moyenne des objectifs de rendement du système

La moyenne de l'ensemble des écarts annuels entre les rendements obtenus et les objectifs permet de déterminer si, globalement, l'objectif de production a été atteint à l'échelle du système de culture.

$$I_{\text{système}} = \frac{\sum I_{\text{culture}}}{\text{Nombre de cultures dans le système}}$$



# Les niveaux de rendements des cultures principales

## ⊕ Atteinte moyenne des objectifs et variabilité

Le graphique ci-contre représente l'atteinte moyenne des objectifs de rendement des différents scénarios testés.

Il met en évidence que **les rendements sont proches ou atteignent les objectifs pour une bonne partie des cultures chaque année**. En effet, pour chaque scénario, on dépasse en moyenne les 100%, donc, en moyenne, les objectifs de rendements sont atteints.

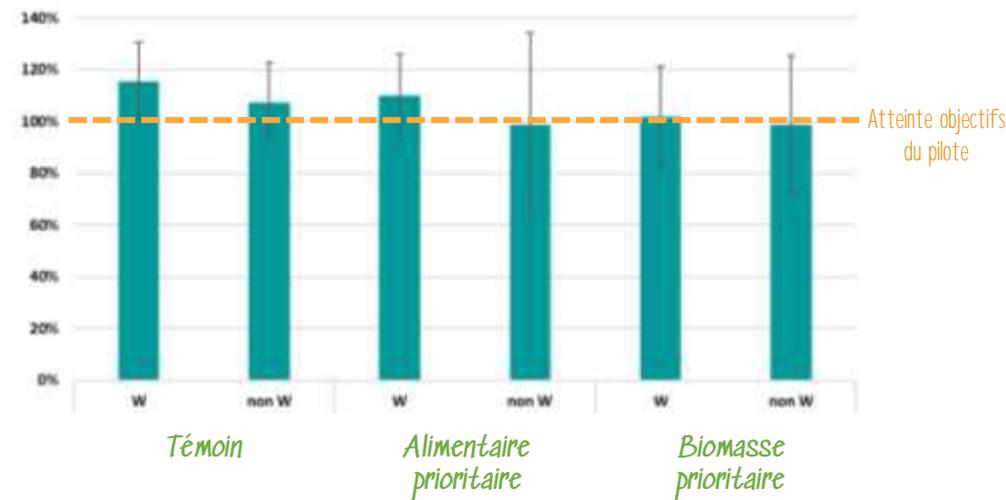
L'analyse des écart-types (barres noires verticales) met en évidence qu'il y a néanmoins des cultures et/ou des années où les rendements sont inférieurs aux objectifs (<100%) et d'autres où les rendements dépassent les objectifs (>100%). Par exemple, pour le scénario *AP - non travail*, les valeurs varient de 60% à 130% d'atteinte des objectifs de rendement.

## ⊕ Comparaison entre travail et non travail du sol

La comparaison entre travail et non travail du sol met en évidence qu'**un ITK en condition de non travail du sol permet d'atteindre en moyenne des niveaux de rendements équivalents à un ITK ayant recours au travail du sol**.

Cependant, **la variabilité des rendements est plus grande dans la modalité de non-travail du sol**, en particulier pour les systèmes *AP* et *BP*. Cela s'explique par le fait que :

- La maîtrise de cette conduite étant plus délicate, les incidences culturales peuvent être plus préjudiciables. Par exemple, en 2019, les rendements du maïs et du colza ont été inférieurs aux objectifs à cause des conditions climatiques qui ont perturbé le cycle cultural. Cela a été amplifié par le fait d'être en condition de non travail du sol.
- La parcelle d'essai était en phase de transition vers du non travail du sol.



Atteinte moyenne des objectifs de rendement fixés par le pilotes pour les années 2017 à 2019  
(rendements estimés par placettes)

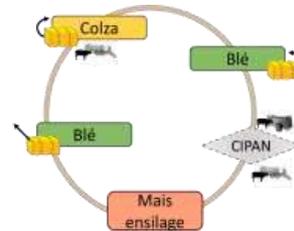
# Faisabilité technique des leviers de production de biomasse

Cette partie revient sur les leviers utilisés dans les systèmes de culture testés pour produire davantage de biomasse, à savoir :

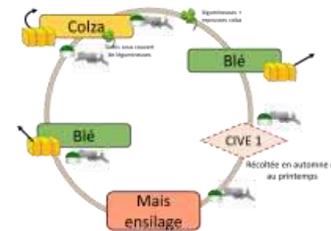
- ❶ L'exportation de paille de blé
- ❷ Les CIVE
  - D'hiver à 2 récoltes (CIVE 1 et CIVE 2)
  - D'hiver à 1 récolte (CID 1)
  - D'été courte (CID 2)
- ❸ La succession de cultures à cycle court récoltées en biomasse verte

La technique d'exportation de paille étant connue et maîtrisée par les agriculteurs, la faisabilité technique de ce levier ne sera pas développée dans cette partie. **L'accent est ici mis sur la production de CIVE et de cultures à cycle court successives.**

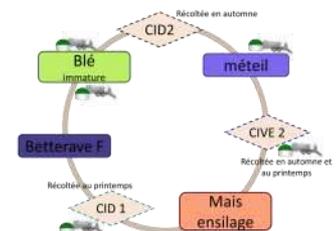
L'évaluation agronomique de ces leviers de production de biomasse et de leur faisabilité technique permet notamment de proposer des clés de réussite techniques aux agriculteurs et à leurs conseillers et ainsi les aider à produire ces cultures.



*Témoin*



*Alimentaire prioritaire*



*Biomasse prioritaire*



# Les cultures intermédiaires à vocation énergétique

Vous  
avez dit « **CIVE** » ?

Dans les systèmes de culture testés, nous avons eu recours aux **trois types de CIVE** :

- ❶ D'hiver à 2 récoltes avec les CIVE 1 et CIVE 2
- ❷ D'hiver à 1 récolte avec la CID 1
- ❸ D'été courte avec la CID 2

Les CIVE longues à deux récoltes ayant été faites dans le cadre d'une *double culture dédiée* (céréale immature suivie d'une culture biomasse, ici un maïs), nous présenterons également dans cette partie l'effet de cette culture sur la suivante (le maïs).

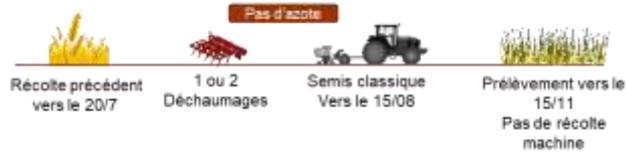
La CIVE, Culture Intermédiaire à Vocation Énergétique, est une culture dérobée, implantée entre deux cultures principales et récoltée en vue d'une valorisation en énergie. Elle peut également avoir d'autres débouchés, en alimentation animale par exemple. On distingue 3 types de CIVE :

- **CIVE d'été (ou courte)** : Elle est semée en été et récoltée à l'automne avant les premières gelées (soit environ 90-120 jours de cycle). Les espèces utilisées sont principalement des espèces à cycle court (ex : sorgho, phacélie, avoine, radis...).
- **La CIVE d'hiver (ou longue) à 1 récolte** : Elle est semée en automne et récoltée au printemps (soit environ 200-220 jours de cycle). Les espèces utilisées sont principalement des céréales immatures seules ou avec des légumineuses.
- **La CIVE d'hiver (ou longue) à 2 récoltes** : les espèces utilisées dans cette CIVE permettent de combiner les deux modes de récolte : un semis en été avec une première récolte à l'automne, puis, après repousse, une 2<sup>ème</sup> récolte au printemps (exemple mélange à base de ray-grass - trèfle).



## Éléments apparaissant systématiquement pour chaque type de CIVE étudiée

### Itinéraire technique moyen réalisé :



L'**itinéraire technique (ITK) moyen** correspondant aux pratiques culturales les plus récurrentes pour conduire la culture et à la moyenne des dates de leur réalisation

	Moutarde Abyssinienne + trèfle	Avoine + vesce	Avoine + vesce + trèfle
Biomasse totale (placettes)	1,3 T MS/ha [0,5-1,5 T]	1,7 T MS/ha [1,5-1,9 T]	2,7 T MS/ha [2,2-2,9 T]
Production de méthane	360 m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /ha	510 m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /ha	820 m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /ha

Un tableau avec les **résultats de production de biomasse** du levier obtenus en moyenne (en T MS/ha) et sa variabilité [x-x]

- Durée du cycle court (95j), cumul températures faible (1290°Cj), quotient photothermique (=cumul rayonnements / cumul températures) trop faible pour faire de la biomasse : la plante croit sans faire de biomasse → semis trop tardifs
- Légumineuses peu présentes → semis trop tardifs
- Absence de fertilisation → possible manque d'azote
- Problèmes de repousses notamment du colza malgré les déchaumages

Les **facteurs explicatifs** des résultats de biomasse obtenus; issus des évaluations agronomiques



Semis trop tardif de la CIVE derrière ble, orge de printemps et colza  
La réussite de ce levier est très aléatoire : Récolte d'opportunité!

Une **conclusion** sur la faisabilité technique du levier.



# Faisabilité technique des CIVE d'hiver à 2 récoltes

## ITK moyen de la CIVE 1 (AP)



## ITK moyen de la CIVE 2 (BP)



	CIVE 1	CIVE 2
<b>Biomasse exportée</b> (placette)	<b>5,8 T MS/ha</b> [3-9 T]	<b>6,4 T MS/ha</b> [4-11 T]
<i>Production de méthane</i>	929 m <sup>3</sup> Ch <sub>4</sub> /ha	944 m <sup>3</sup> Ch <sub>4</sub> /ha

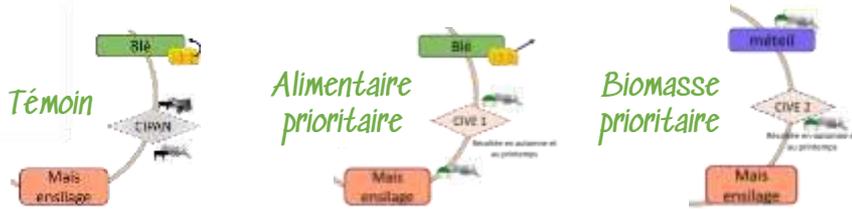
## Composition des mélanges et évolutions au cours du temps

Objectif : s'adapter aux impasses rencontrées afin de maximiser la production de biomasse.

	2017	2018	2019
<b>CIVE 1</b>	Triticale Phacélie Trèfle violet Féverole d'hiver Vesce commune	<i>Ajout de RGI</i>	Seigle RGI Phacélie Féverole Vesce Trèfle
<b>CIVE 2</b>	Sorgho Triticale RGI Féverole Vesce Trèfle	Maïs Triticale RGI Féverole Vesce Trèfle	

- Il n'y a pas de différences significatives de rendement entre les modalités de travail et non travail du sol.
- Les rendements les plus faibles ont été obtenus la première année et s'explique par un rendement faible lors de la récolte du printemps. Les rendements plus élevés ont été obtenus la dernière année grâce à de bonnes conditions hivernales sécurisant la récolte de printemps.
- La composition seigle + RGI + trèfle + féverole + vesce + maïs ou phacélie permet de réaliser 2 récoltes et d'exporter 6 T MS/ha (2x3 T)
- Le ray-grass italien dans le mélange semble sécuriser la production de biomasse au printemps.
- La part des légumineuses dans la BM reste faible même si elle représente 50% de la densité de semis (25% BM l'automne et 5% au printemps)
- La biomasse au printemps est très dépendante des conditions climatiques en sortie d'hiver (récolte précoce au 25/04) : de 2 à 7 T MS/ha

# Effet de la CIVE sur la culture suivante : le maïs



Une culture suivante commune sur les trois systèmes : le maïs ensilage

↓ Possibilité de comparer les trois systèmes entre eux

Effet combiné du précédent et de la modalité de travail du sol sur le rendement maïs

	Rendement moyen du maïs (T MS/ha)			
	Avec un précédent CI	Avec un précédent CIVE 1	Avec un précédent CIVE 2	moyenne
W	19,3	18,5	17,2	19,2
W	17,7	13,2	13,8	14,1
<b>moyenne</b>	<b>18,5</b>	<b>15,9</b>	<b>15,5</b>	

Effet travail du sol sur le rendement maïs

Effet précédent sur le rendement maïs

- Il semble y avoir un effet du précédent sur le rendement du maïs. Le rendement du maïs est moindre avec un précédent CIVE longue qu'avec une interculture classique de type CIPAN.
- Les modalités de travail du sol semblent également avoir un impact sur le rendement du maïs. En effet, en condition de non travail du sol, le rendement du maïs est bien plus faible qu'en travail du sol (semis au strip-till, 10cm). Cela s'explique notamment par
  - Des repousses importante de RGI dans le maïs après la CIVE, surtout en strip-till.
  - L'implantation du maïs en strip-till derrière CIVE est plus difficile qu'avec le labour qui remonte de l'humidité et permet une meilleure préparation (chevelu racinaire dense du RGI) → re-semis en 2018 et 2019 du maïs (retard rattrapé en 2018, parcelle retournée en 2019).
- Un effet combiné de ces 2 facteurs apparaît : le rendement de maïs est moindre en condition de non travail du sol avec précédent de type CIVE longue d'hiver.



# Faisabilité technique des CIVE d'hiver à 2 récoltes

## FAISABILITE TECHNIQUE : CE QUE L'ON PEUT RETENIR

- ❶ La composition en espèce des mélanges (environ 50% graminées, 50% légumineuses) permet de réaliser 2 récoltes et obtenir un niveau d'exportation de biomasse intéressant
- ❷ La récolte de printemps est plus sensible, plus dépendante des conditions climatiques que la seconde récolte. Elle propose des productions de biomasse plus aléatoires.
- ❸ Grâce à sa faculté de reprise de végétation et de repousse, l'ajout de RGI dans le mélange permet de sécuriser le rendement de la coupe de printemps.
- ❹ La part des légumineuses dans l'exportation de la biomasse produite est faible (25% en automne et 5% au printemps) malgré le fait que celles-ci représente environ 50% de la densité de semis. Les légumineuses ayant des besoins plus importants que les céréales pour produire de la biomasse et une reprise de végétation plus lente, la durée de cycle entre les 2 coupes est trop courte pour permettre leur développement.

Les CIVE longues d'hiver à deux récoltes permettent d'exporter en moyenne 6 T MS/ha en cumul des deux chantiers de récolte. Le rendement de la coupe de printemps est très dépendante des conditions de l'hiver et des espèces composant cette CIVE.

Il existe un risque que cette CIVE est un impact sur la culture suivante. Dans notre cas, la CIVE entraîne une réduction de la production de biomasse du maïs, accentuée en condition de non travail du sol.



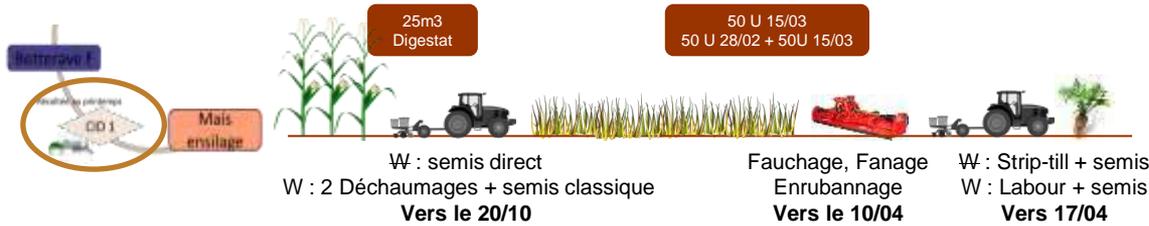
## IMPACT SUR LE SUIVANT : CE QUE L'ON PEUT RETENIR

- ❶ Sur la plateforme, la baisse de rendement du maïs avec un précédent CIVE peut s'expliquer par l'importance des repousses de RGI dans le maïs. Or ces repousses sont difficilement maîtrisables et impactent la culture dès son démarrage, celui-ci étant particulièrement sensible au salissement.
- ❷ Après la récolte de la CIVE au printemps, la préparation de sol pour le maïs peut ne pas être optimale. De plus, la consommation antérieure d'eau par la CIVE pour produire sa biomasse (réserve du sol entamée) couplée à un printemps plutôt sec peuvent être préjudiciables au maïs notamment au démarrage de la culture, engendrant des retards ou bien de l'hétérogénéité de peuplement ou de stade.
- ❸ L'influence de ces facteurs sur la biomasse du maïs s'accroît en condition de réduction du travail du sol (strip-till). En effet, les problèmes de repousses de la CIVE précédente s'accroissent dans ces conditions. De même, la préparation de sol est plus compliquée (chevelu racinaire dense) étant donné que la maîtrise de cette technique est complexe et nécessite une précision fine dans sa mise en œuvre.



# Faisabilité technique de la CIVE d'hiver à 1 récolte

ITK moyen de la CID 1 (BP)



Composition des mélanges et évolutions au cours du temps  
 Objectif : s'adapter aux impasses rencontrées afin de maximiser la production de biomasse.

	2017	2018	2019
CID 1	50% triticale 30% pois fourrager 20% féverole d'hiver		Seigle Pois fourrager Féverole d'hiver

- Le cycle cultural laisse peu de marge de manœuvre et limite le potentiel de biomasse : le moindre incident au cours du cycle conduit à pénaliser drastiquement le rendement et à remettre en cause la récolte (repousses de RGI, reprise de végétation tardive au printemps...) dans le cas d'une récolte précoce (mi avril)
- Ce type de CIVE, composée à 50% de graminées et 50% de légumineuses, peut permettre de produire et exporter un niveau de biomasse moyen compris entre 2 et un peu plus de 3 TMS/ha.
- Contrairement aux CIVE longues d'hiver à 2 récoltes, il y a un effet de la modalité de travail du sol ou non travail du sol sur le rendement. Le rendement est systématiquement plus faible en non travail du sol :
  - Présence importante de repousses de RGI (déjà présent dans le maïs précédent et provenant de la CIVE longue à 2 récoltes)
  - Une implantation et un démarrage de la culture plus difficile du fait d'une préparation de sol moins favorable
- Les écarts de rendements sont importants d'une campagne à l'autre. Certaines années, la quantité de biomasse exportée était pratiquement équivalente aux CIVE longues à 2 récolte (un peu plus de 5 TMS/ha) tandis que d'autres années, les niveaux de rendement étaient très faibles (<1TMS/ha), remettant en cause la récolte. Cette variabilité de rendement s'observe en conditions de travail du sol et de non travail du sol.

	Travail	Non travail
Biomasse exportée (placette)	<b>3,2 T MS/ha</b> [<1-5,5 T]	<b>2 T MS/ha</b> [<1-3,7 T]
Production de méthane	1110 m <sup>3</sup> Ch <sub>4</sub> /ha	654 m <sup>3</sup> Ch <sub>4</sub> /ha



# Faisabilité technique des CIVE d'hiver à 1 récolte

## ZOOM SUR LA PRODUCTION DE METHANE

Rendements et production de méthane moyens de la CID 1

	Travail	Non travail
<b>Rendement moyen plante entière</b>	<b>3,2 T MS/ha</b> [<1-5,5 T]	<b>2 T MS/ha</b> [<1-3,7 T]
<i>Production de méthane</i>	1110 m <sup>3</sup> Ch <sub>4</sub> /ha	654 m <sup>3</sup> Ch <sub>4</sub> /ha

Rendements et production de méthane moyens des CIVE longues d'hiver à deux récoltes

	CIVE 1	CIVE 2
<b>Biomasse exportée (placette)</b>	<b>5,8 T MS/ha</b> [3-9 T]	<b>6,4 T MS/ha</b> [4-11 T]
<i>Production de méthane</i>	929 m <sup>3</sup> Ch <sub>4</sub> /ha	944 m <sup>3</sup> Ch <sub>4</sub> /ha

- ❖ La production de méthane observée est très différente entre les modalités travail et le non travail du sol, avec une production moyenne beaucoup plus importante en travail du sol. Cela s'explique par le fait que la production de méthane à l'hectare d'une culture est corrélée à sa production de biomasse. Or les rendements en travail du sol sont plus élevés, par conséquent la production de méthane à l'hectare l'est également.
- ❖ Les valeurs de production de méthane de la CID 1 sont proches voire supérieures à la production moyenne des CIVE longues à deux récoltes. A l'inverse, les rendements sont inférieures. Cela s'explique par le fait que :
  - En 2019, la production de biomasse, notamment en travail du sol, était particulièrement importante grâce au changement du triticales par du seigle (espèce plus précoce et plus productive que le triticales) et à des conditions climatiques hivernales très favorables, permettant un faible ralentissement de la végétation (température douce) et une reprise de végétation rapide en sortie, ce qui fait augmenter la moyenne de la CID 1.
  - Cette même année, le potentiel méthanogène de la CID 1 à la récolte était extrêmement élevé pour une raison non déterminée.

La combinaison de ces phénomènes (production de biomasse élevée x potentiel méthanogène élevé) fait que la production de méthane en 2019 était particulièrement importante, tirant la moyenne des 3 années vers le haut.

En excluant ces valeurs importantes, le rendement et la production moyenne de méthane est plus faible pour la CID 1 que pour les CIVE longues à 2 récoltes. Cela va dans le sens de la corrélation rendement – production de méthane à l'hectare.



# Faisabilité technique des CIVE d'hiver à 1 récolte

## FAISABILITE TECHNIQUE : CE QUE L'ON PEUT RETENIR

- ❶ Dans nos essais, la CIVE d'hiver à une récolte permet, grâce à son cycle culturale court, notamment dans le cas d'une récolte précoce au printemps (début avril), d'implanter une culture de printemps (ici, une betterave fourragère)
- ❷ Dans cette situation, elle permet de produire et d'exporter en moyenne 3 TMS/ha.
- ❸ Ce cycle culturale court laisse peut de marge de manœuvre à la réussite de la CIVE et le moindre incident peut être très préjudiciable. Lors d'années avec un hiver rigoureux, la reprise de végétation est plus tardive et ne permet pas à la CIVE de profiter de conditions climatiques suffisantes à son développement ( $T^{\circ}$  et rayonnements)
- ❹ Ces effets peuvent être accentués en condition de non travail du sol à cause notamment de :
  - ❶ la présence d'adventices et/ou de repousses importantes non ou peu maîtrisés.
  - ❷ réchauffement et du ressuyage plus lents du sol qui accentuent, en situation de non travail du sol, une reprise de végétation tardive (*retour d'expérience du pilote*)

La CIVE d'hiver est une solution intéressante de production de biomasse. Dans le cadre d'une récolte précoce (début-mi avril), le potentiel de biomasse est plus limité : exportation de 3 TMS/ha mi avril.

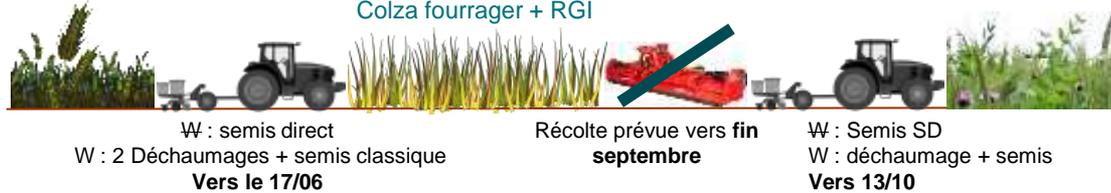




# Faisabilité technique de la CIVE d'été (CID 2)

ITK moyen de la CID 2 (BP)

25m3  
Digestat



Rendements moyens de la CID 2

	Travail	Non travail
Rendement moyen plante entière (placette)	1,3 T MS/ha	1,7 T MS/ha

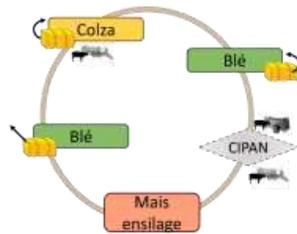
- Les rendements de la CIVE d'été, en condition de travail et de non travail du sol, sont faibles.
- Dans cet essai, la CIVE est positionnée entre un blé immature et un méteil. **Le cycle cultural est donc très court et ne permet pas de garantir une production de biomasse suffisante de la CIVE, tout en assurant la réussite des cultures précédente et suivante.**
- L'implantation de la CIVE à la mi-juin est particulièrement difficile, dû à :
  - Un lit de semence dans un sol souvent sec
  - Des conditions post-semis sèches, très préjudiciables à la levée et au démarrage de la culture
 Pour ces raisons, sur les trois années prises en compte, aucune récolte, et donc aucune exportation de biomasse, n'a pu être réalisée. Les rendements renseignés sont issus de prélèvements manuels (placettes).
- Un développement régulier du salissement de la parcelle lors du cycle de la CIVE a été constaté au fur et à mesure des années. (développement de plus en plus important du chénopode). Ce salissement s'explique par :
  - Une pression historique de la parcelle en adventice importante, notamment en chénopode,
  - Le faible développement de la CIVE a permis celui du chénopode, d'autant que la période d'implantation de la CIVE correspond à une période de levée et de développement préférentielle de cette adventice.
 Afin d'endiguer le développement du salissement de la parcelle, il a été nécessaire de broyer le couvert.

La réussite de ce levier de production de biomasse est aléatoire. Il faut considérer la récolte d'une CIVE d'été comme une récolte d'opportunité, notamment si la parcelle présente une pression historiquement élevée en chénopodes

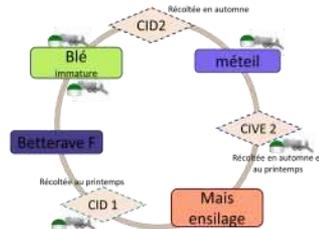




# Faisabilité technique d'une succession de cultures à cycle court



Témoin



Biomasse prioritaire

Dans le système *Biomasse prioritaire*, l'introduction de CIVE de différents types, de cultures dédiées à la biomasse ou de cultures récoltées en immature permet d'atteindre un niveau de d'exportation de biomasse d'environ 60 T MS/ha. Ainsi, grâce à sa conception en rupture par rapport au *Témoin*, ce système permet de produire et d'exporter davantage de biomasse.

**La succession de cultures à cycle court et à fort potentiel de production de biomasse permet d'exporter une grande quantité de biomasse à l'échelle de la rotation.**

Exportation de biomasse des systèmes

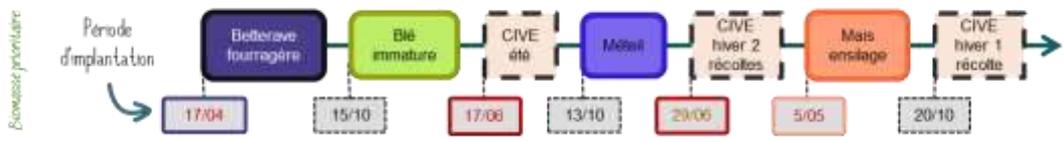
	Travail	Non travail
Témoin	43 T MS/ha	40 T MS/ha
Biomasse prioritaire	61 T MS/ha	60 T MS/ha



# Faisabilité technique d'une succession de cultures à cycle court

Sur la plateforme d'essai, la conduite du système *Biomasse prioritaire* montre que les performances de ce système sont à nuancer. En effet, une pression adventice accrue a pu être observée pour les parcelles de ce système. **Le salissement des parcelles augmente au cours des années d'essai, via notamment le développement du chénopode, historiquement présent sur la parcelle.** Cela peut s'expliquer en comparant les périodes d'implantation des cultures et d'interculture (temps entre récolte et implantation de la culture suivante) avec la période de levée du chénopode :

- La succession de cultures de printemps, de CIVE et de cultures récoltées en immature fait que les interventions culturales (récolte, implantation) ont majoritairement lieu au printemps. Les périodes d'interculture sont donc elles aussi au printemps.



- La période pour laquelle les levées de chénopode sont les plus importantes est le printemps.

Pic de levée du chénopode



Ainsi, **les périodes d'implantation et d'interculture du système correspondent aux pics de levée préférentiels de cette adventice.** La succession de cultures testée favorise donc le développement du chénopode.

Cette conclusion est à nuancer car elle se base uniquement sur le cas de la plateforme de Beauvais ; cas pour lequel la pression adventice historique est importante sur la parcelle d'essai. Ce phénomène n'est donc pas systématique et dépendra du contexte pédoclimatique dans lequel ce type de système sera mis place.

Le système *Biomasse prioritaire*, avec sa succession de cultures à cycle court, permet de produire et exporter de la biomasse et ainsi de tendre vers une autonomie fourragère/méthanisation. Cependant, il peut induire un problème de gestion des adventices et à terme remettre en cause ce type de système. Sur le long terme, la faisabilité technique de cette succession pose question en termes de gestion des bioagresseurs (adventices et potentiellement maladie avec la succession de graminées)





### Partie 3

## Conséquences agronomiques et environnementales des modifications du système et de l'exportation supérieure de biomasse

- I. **Méthodologie**
- II. **Performances environnementales des systèmes**
  - IFT Herbicide
  - P et K
  - Réserve hydrique
  - Concentration en nitrate de l'eau sous-racinaire et digestat
  - Carbone
  - GES

❶ Les différents indicateurs environnementaux étudiés sont présentés sous la forme d'un graphique radar afin de comparer les performances des systèmes biomasse entre eux (*Alimentaire prioritaire* et *Biomasse prioritaire*) ainsi qu'au système de référence (*Témoin*).

❷ Chaque axe correspond à un indicateur, pour lequel :

- La borne **0** est la **moins bonne performance** 😞
- La borne **100** est la **meilleure performance** 😊

❸ Les bornes 0 et 100% sont calculées à partir des valeurs extrêmes de l'indicateur, obtenues sur l'ensemble des dispositifs expérimentaux (soit sur les 18 systèmes de culture du projet).

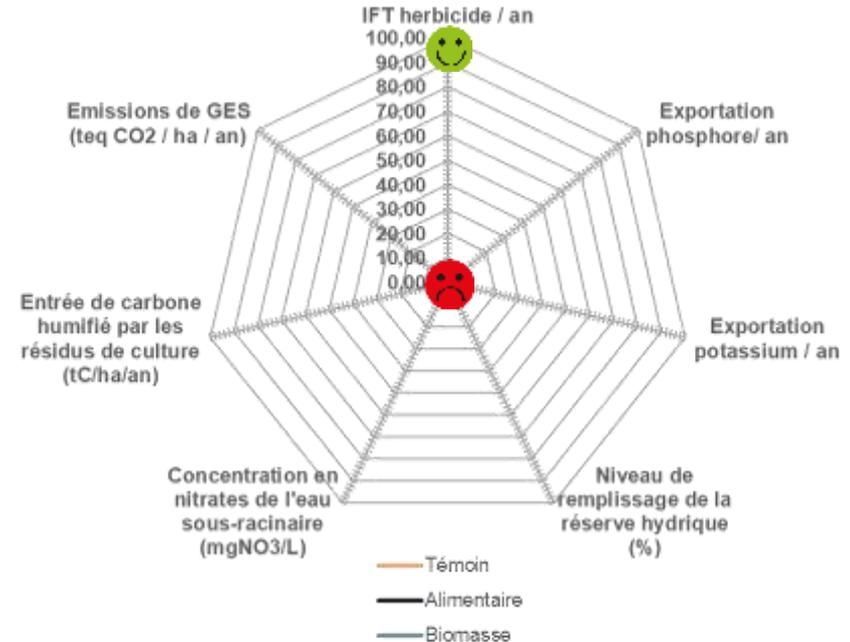
❹ En fonction des indicateurs, la meilleure performance est atteinte avec une forte valeur (cas du niveau de remplissage de la réserve) ou à l'inverse avec une faible valeur (cas de l'IFT)

Exemple avec l'IFT Herbicide (H) de la rotation

- l'IFT H maxi des PF = 10,6 → 0% (moins bonne performance)
- l'IFT H mini des PF = 3,4 → 100% (meilleure performance)

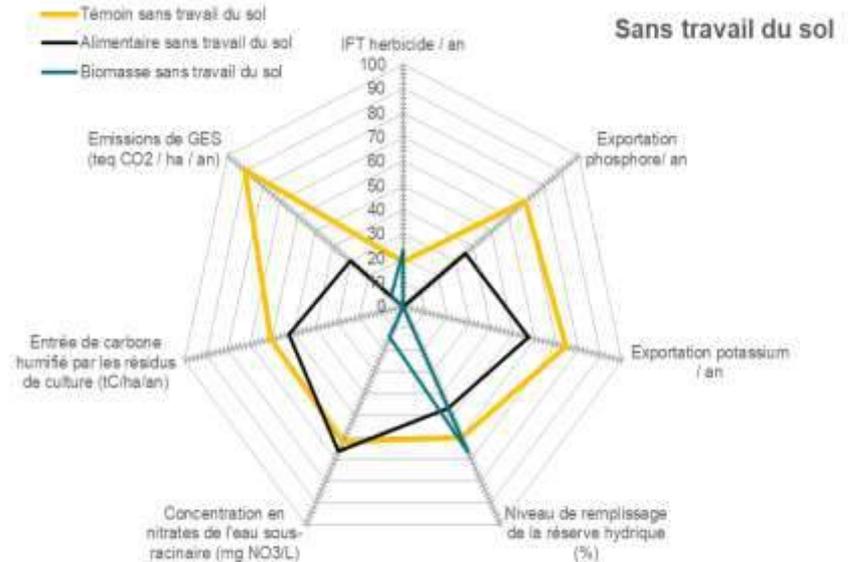
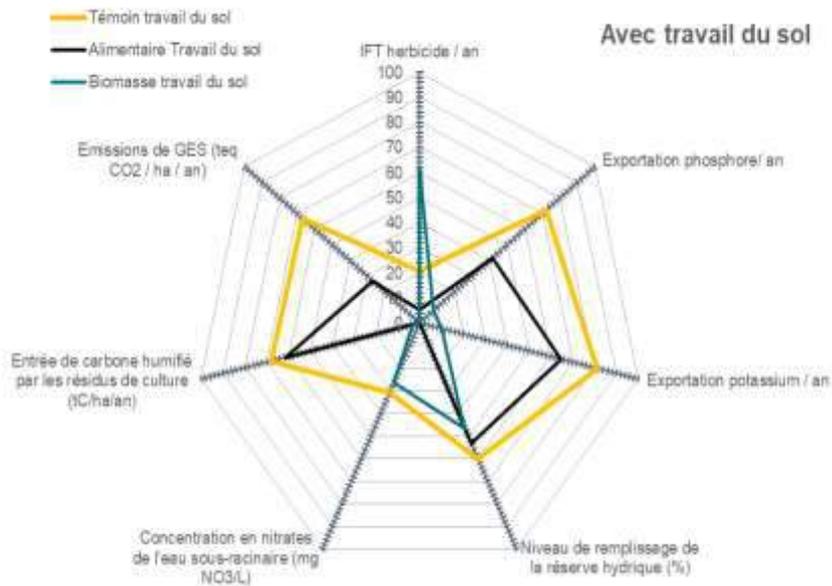
❺ Le système évalué est donc positionné sur les axes en transformant les valeur absolue de l'indicateur en pourcentage par rapport aux bornes minimales et maximales.

- IFT du système témoin = 9 → 20%



Les bornes sont issues des résultats des 18 systèmes, avec de systèmes très différents et donc difficilement comparables entre eux. Le graphique radar sert essentiellement à **comparer relativement les 3 scénarios de la plateforme**. On ne s'attardera donc pas tant à comparer les valeurs absolues de l'indicateur aux bornes et aux autres systèmes

# Les résultats environnementaux



- ① Le classement entre les scénarios est globalement identique pour la plupart des indicateurs, en travail et non travail du sol
- ① Le scénario *Témoin* présente globalement des performances environnementales supérieures aux deux autres systèmes
- ① Sur la majorité des indicateurs, le scénario *biomasse prioritaire* a de moins bonnes performances que les deux autres systèmes

Dans les diapos suivantes, chaque indicateur environnemental est détaillé comme suit :

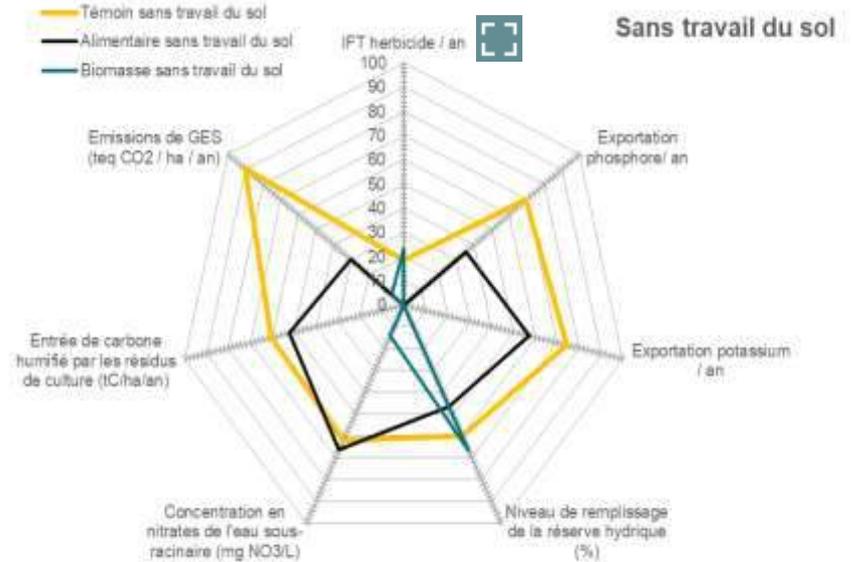
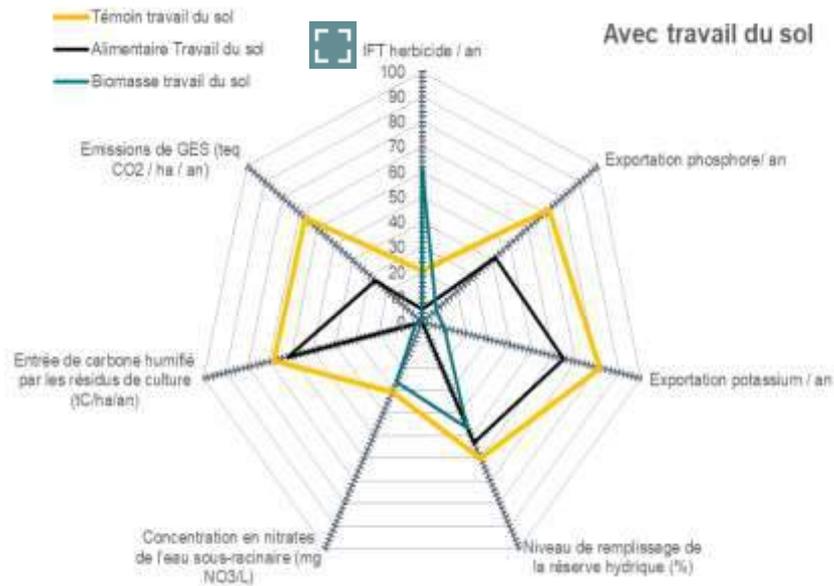
- ❶ Une première diapo où le graphique radar permet d'identifier l'indicateur qui va être présenté, les bornes utilisées pour construire le radar et le positionnement des 3 scénarios sur cet axe.
- ❷ Une deuxième diapo expliquant la méthode utilisée pour calculer l'indicateur et ce que l'indicateur peut traduire en terme de performances environnementales.
- ❸ Une ou des diapos avec l'analyse des résultats.



*Zoom indicateur*

# Les résultats environnementaux

- Niveau de protection herbicide des systèmes -

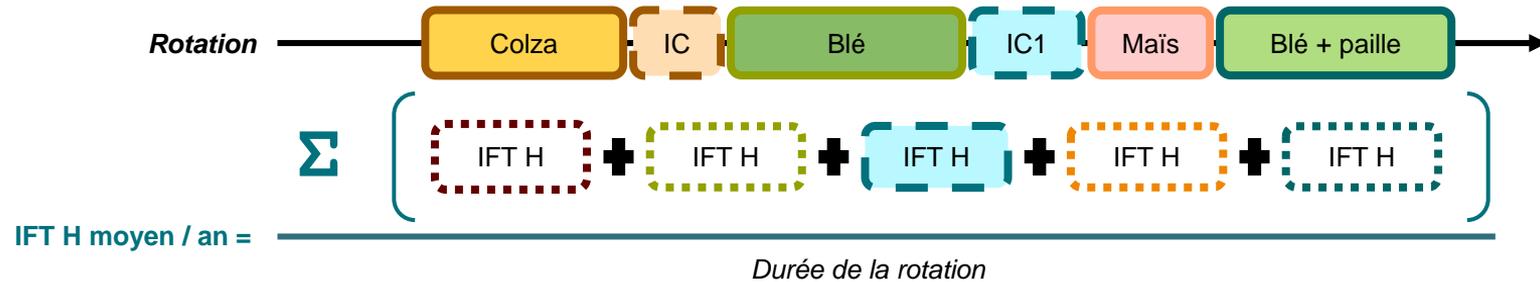


Le positionnement des systèmes sur l'axe IFT Herbicide est identique pour les modalités de travail et non-travail du sol ( $BP > T > AP$ ). Le système *Alimentaire prioritaire* présente la performance la plus faible tandis que le système *Biomasse prioritaire*, dans les 2 modalités, présente la meilleure performance.

Pour rappel, les bornes du radar sont construites à partir des données de l'ensemble des 18 systèmes testés dans le projet *Réseau de sites démonstrateurs*. Ainsi, les performances des 6 systèmes de Beauvais pour la dimension IFT herbicide sont relativement mauvaises puisque les points sont proches du centre du radar, c'est à dire des moins bonnes performances. La valeur de l'IFT herbicide du système *Alimentaire prioritaire* en non travail du sol correspond à la moins bonne valeur, pour l'ensemble des systèmes.

	Borne valant 100 %	Borne valant 0 %
IFT herbicide	1/an	2,7/an

- ① L'Indice de Fréquence de Traitement (IFT) herbicide caractérise les pratiques de protection des cultures vis-à-vis **des adventices** (intensité d'utilisation des produits phytosanitaires à l'échelle de la rotation)
- ① Il correspond aux nombres de doses homologuées de produits phyto appliquées à l'hectare.



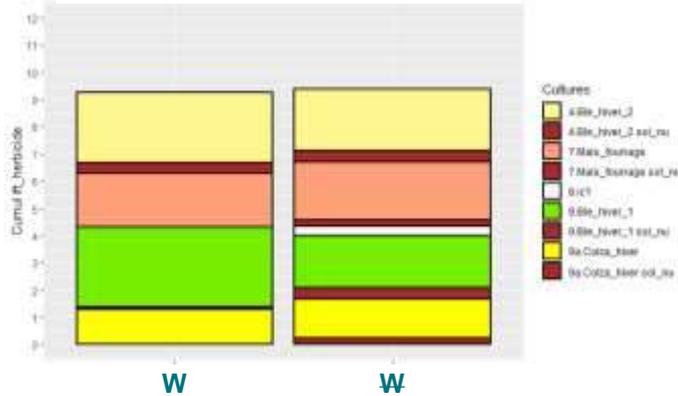
### L'IFT Herbicide peut traduire :

- ① Un problème de pression en adventices dans un système (en faisant l'hypothèse qu'un système plus dépendant aux herbicides est un système avec une pression en adventices supérieure)
- ① Mais cela est à relativiser car l'IFT H dépend aussi du raisonnement du pilote, et en particulier de son niveau de tolérance au salissement.

# Résultats IFT herbicide de la rotation

- Comparaison aux autres systèmes *Témoin* -

*Témoin*



Cumul d'IFT Herbicide en moyenne pour la rotation *Témoin* et répartition entre les cultures et intercultures

Comparaison des IFT H annuel des systèmes *Témoin* de chaque dispositif du projet *Réseau de sites démonstrateurs*

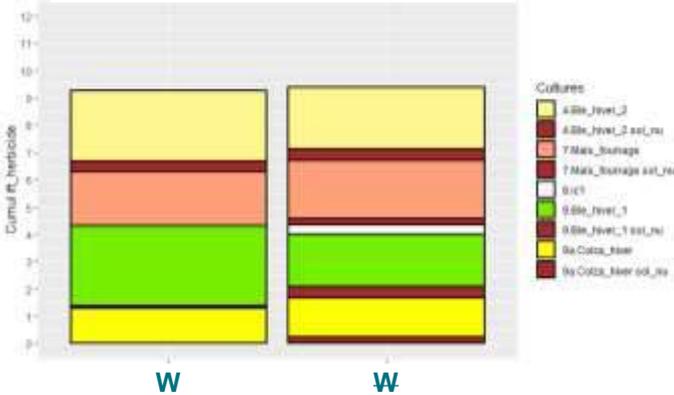
IFT H	IFT moyen / an
<b>Système betterave (02)</b>	1,3
<b>Système SCOP (80)</b>	1,8
<b>Système betterave (80)</b>	1,9
<b>Système polyculture-élevage (60)</b>	2,3 (moyenne des deux modalités)

- ❶ Les deux scénarios *Témoin* de la plateforme de Beauvais présentent les IFT H annuels les plus élevés de tous les témoins des dispositifs testés dans le projet Réseau de sites démonstrateurs. En effet, l'IFT H moyen annuel des systèmes de culture témoin du dispositif de Beauvais est de 2,3 tandis qu'il est inférieur à 2 pour les trois autres dispositifs du réseau.
- ❷ En regardant la contribution des cultures, il apparaît que ce sont principalement les cultures de blé qui font augmenter l'IFT H moyen annuel, que ce soit dans la modalité de travail ou non travail du sol.
- ❸ Pour la modalité de non travail sur sol, les intercultures font également augmenter l'IFT annuel. En effet, la gestion des adventices n'a pas pu se faire de façon mécanique et a nécessité d'utiliser des produits phytosanitaires.

# Résultats IFT herbicide de la rotation

- Comparaison aux références régionales -

Témoin



Cumul d'IFT Herbicide en moyenne pour la rotation *Témoin* et répartition entre les cultures et intercultures



Hauts-de-France : évolution de l'IFT herbicide en 2011, 2014 et 2017 (Agreste)



Comparaison des IFT H obtenus en moyenne pour les cultures de la rotation *témoin* aux IFT H de « référence » pour la région

	IFT H (travail du sol)	références régionales 2017
Bh	3	1,9
Ch	1,9	1,8
maïs	2	1,4
Cumul pour une même rotation	9,9	7

En cumul, pour la même rotation et en réalisant un cumul des références, l'IFT H est de 7 tandis qu'il est de 9,9 pour le système *Témoin*.

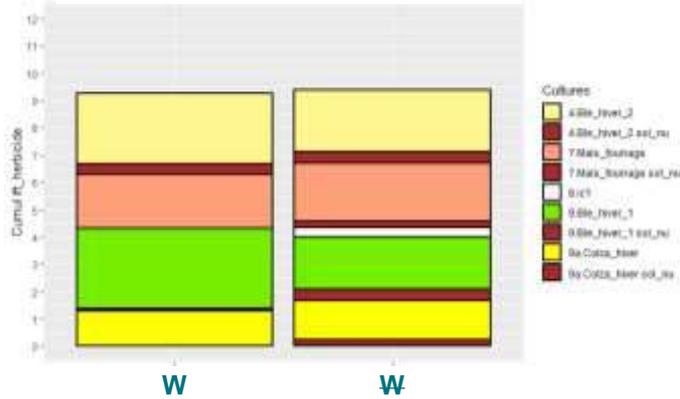
**Le scénario témoin présente un IFT H élevé par rapport aux références régionales.**

Seule la culture de colza présente un IFT H similaire à la référence régionale.

# Résultats IFT herbicide de la rotation

- Comparaison entre modalité de travail et non travail du sol -

Témoin



Cumul d'IFT Herbicide en moyenne pour la rotation *Témoin* et répartition entre les cultures et intercultures

Comparaison des IFT H des grandes cultures des systèmes *Témoin* en fonction des modalités de travail et non travail du sol

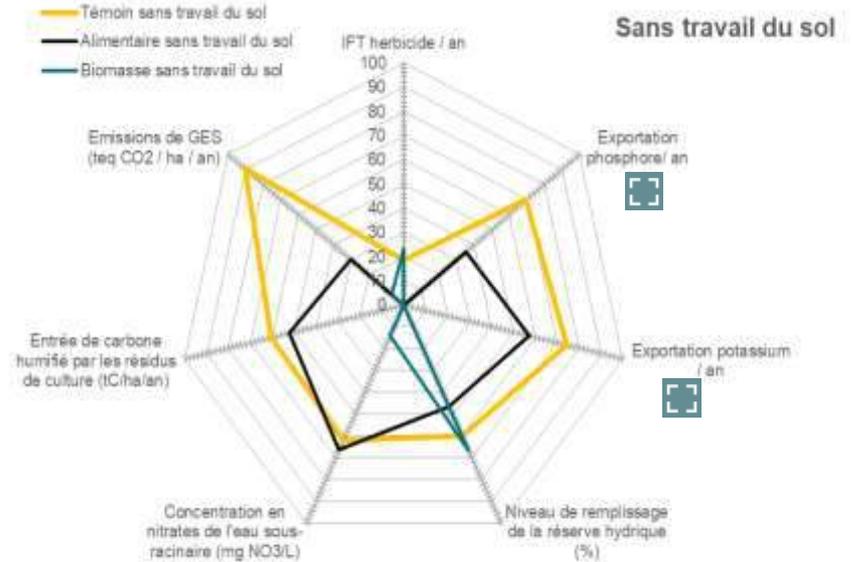
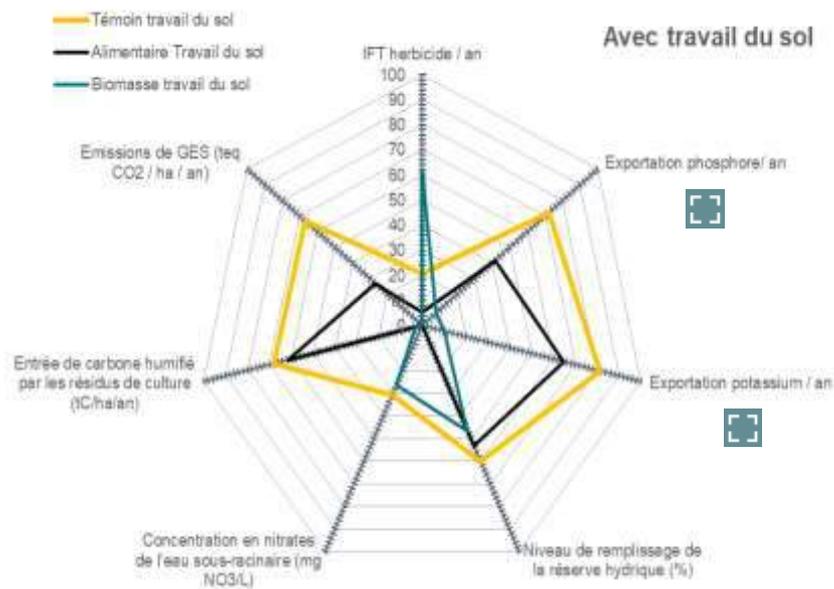
	Travail du sol	Non travail du sol
Bh	3	2,5
Ch	1,9	2,1
maïs	2	2,4

- ❶ En terme de cumul d'IFT H, les modalités travail et non travail du sol présentent peu de différences entre elles.
- ❷ Cependant, en regardant le détail des contributions des cultures dans ce cumul, il apparaît que les IFT H moyens des grandes cultures sont plus élevés en condition de non travail du sol qu'en condition de travail du sol, mise à part pour la culture de blé.
- ❸ Le niveau d'IFT H élevé du système *Témoin* peut s'expliquer par une flore adventice très présente et difficile à maîtriser sur les parcelles de l'essai. Cette flore est le fruit de plusieurs facteurs :
  - Historique (cas du chénopode et du géranium)
  - De l'environnement de la plateforme où la flore adventice peut facilement provenir des parcelles voisines (cas du cardon)
  - De la configuration du dispositif avec la présence d'une allée enherbée (cas du ray-grass)
  - La conduite en non travail du sol des culture pouvant accentuer le salissement



# Les résultats environnementaux

- Exportation de phosphore et de potassium des systèmes -



Le positionnement des systèmes sur l'axe des exportations de phosphore (P) ou des exportation de potassium (K) est identique pour les modalités de travail et non-travail du sol ( $T > AP > BP$ ). Le système *Biomasse prioritaire* présente les performances les plus faibles tandis que le système *Témoin*, dans les 2 modalités, présente la meilleure performance.

Pour rappel, les bornes du radar sont construites à partir des données de l'ensemble des 18 systèmes testés dans le projet *Réseau de sites démonstrateurs*. Ainsi, les performances du système *Biomasse alimentaire* de Beauvais pour les dimensions *Exportations annuelles de P et K* correspondent au moins bonnes performances, pour l'ensemble des systèmes.

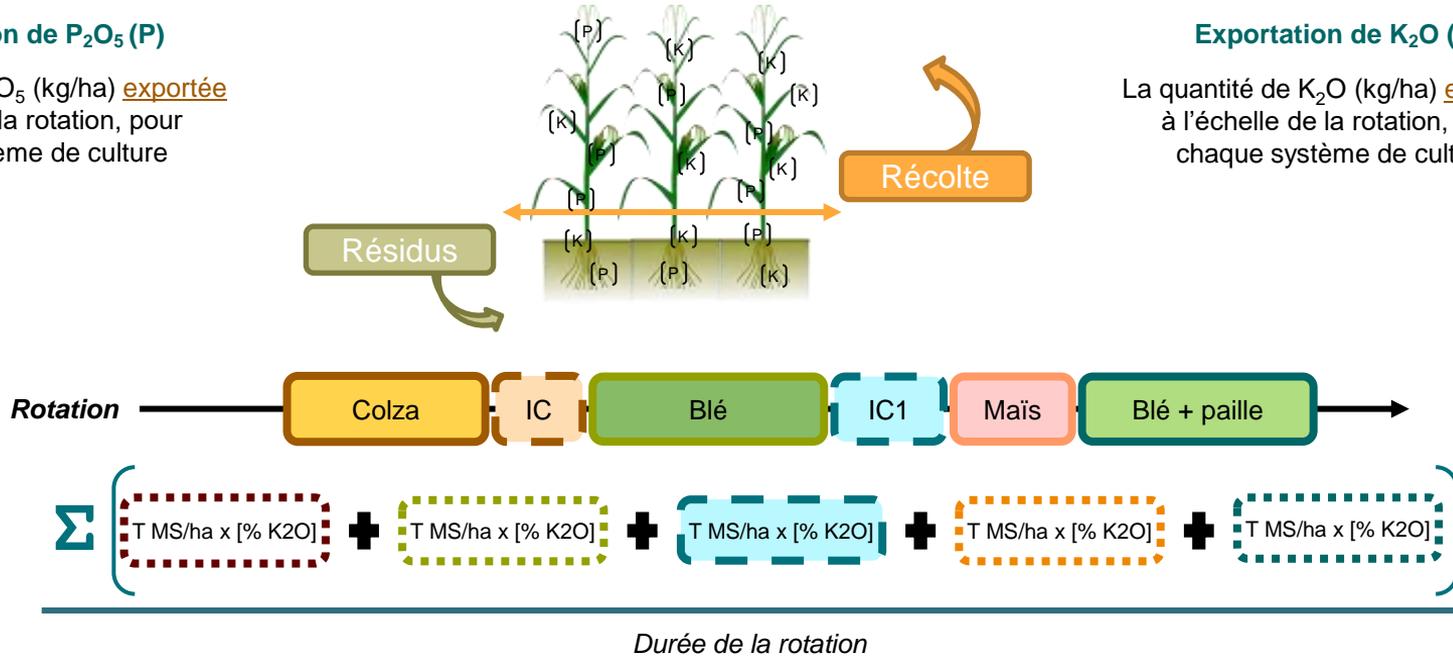
	Borne valant 100 %	Borne valant 0 %
Exportation phosphore	33 U/an	83 U/an
Exportation potassium	40 U/an	338 U/an

## Exportation de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (P)

La quantité de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (kg/ha) exportée à l'échelle de la rotation, pour chaque système de culture

## Exportation de K<sub>2</sub>O (K)

La quantité de K<sub>2</sub>O (kg/ha) exportée à l'échelle de la rotation, pour chaque système de culture



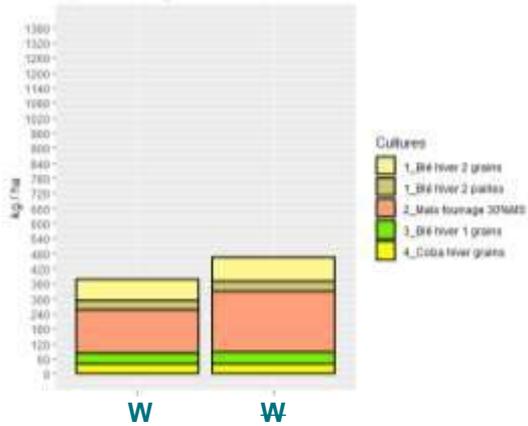
### Ce que nous disent les valeurs de P et K exportés :

- Un système de culture avec un niveau d'exportation élevé en P/K peut conduire à abaisser la biodisponibilité du P/K dans le sol et nécessitera des apports de fertilisation potassique et/ou phosphatée importants pour compenser l'exportation. Cette compensation a un coût économique et environnemental.

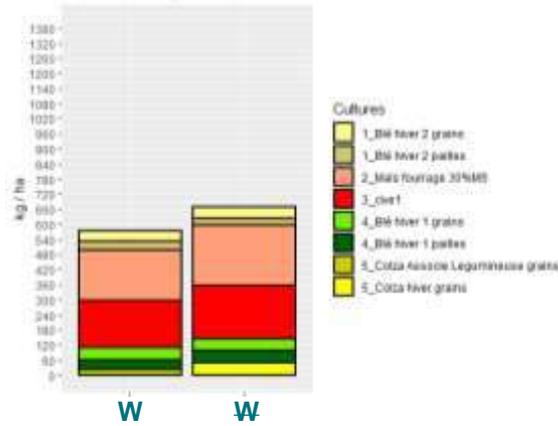
# Résultats exportation de potassium de la rotation

- A l'échelle de la rotation -

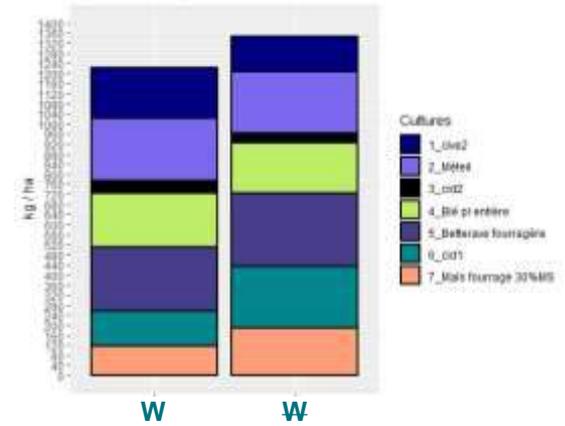
Témoin



Alimentaire Prioritaire



Biomasse Prioritaire



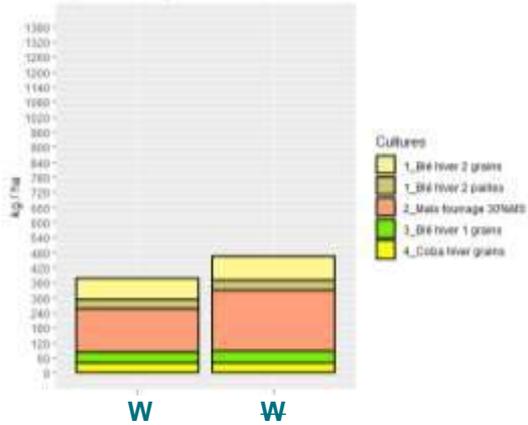
Exportation de  $K_2O$

La quantité de potassium exportée, à l'échelle de la rotation, s'accroît avec le gradient de production de biomasse ( $BP > AP > T$ ) du fait du cumul de biomasse exportée supérieure par hectare.

# Résultats exportation de potassium de la rotation

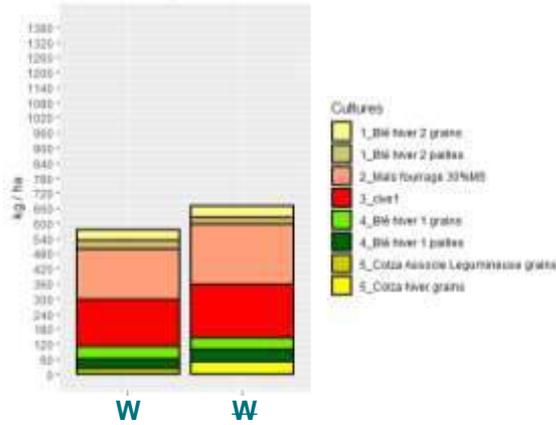
- Exportation par rapport à la biomasse exportée -

Témoin



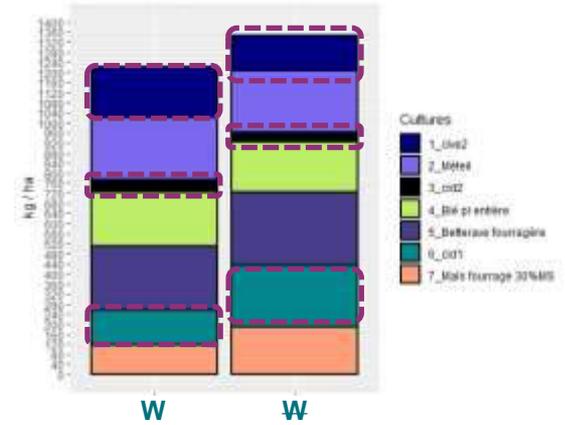
Exportation de 10 kg/ T MS

Alimentaire Prioritaire



Exportation de 12,5 kg/ T MS

Biomasse Prioritaire



Exportation de 21 kg/ T MS

L'essentiel du K est présent **dans les tiges et feuilles**, donc **en exportant des pailles et des plantes entières** (comme **avec les CIVE** du système biomasse prioritaire), **on exporte beaucoup de K<sub>2</sub>O/ T MS**.



«

Les cultures « sans résidus » de type maïs ensilé, céréales avec pailles exportées... abaissent de manière sensible la biodisponibilité du K dans le sol du fait, qu'après avoir prélevé de grandes quantités de K, elles n'en restituent que très peu.

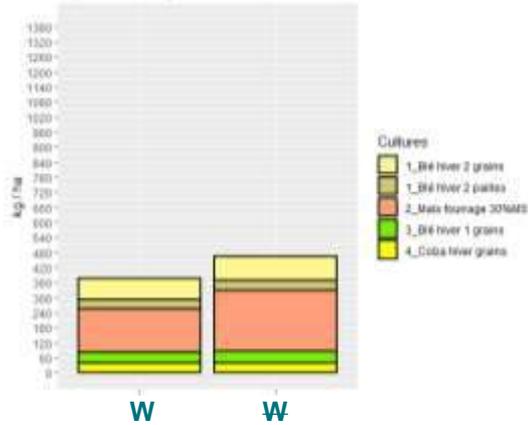
« Comifer »

»

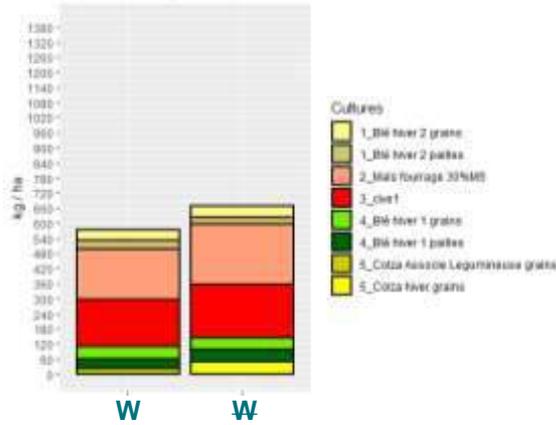
# Résultats exportation de potassium de la rotation

- Préconisation -

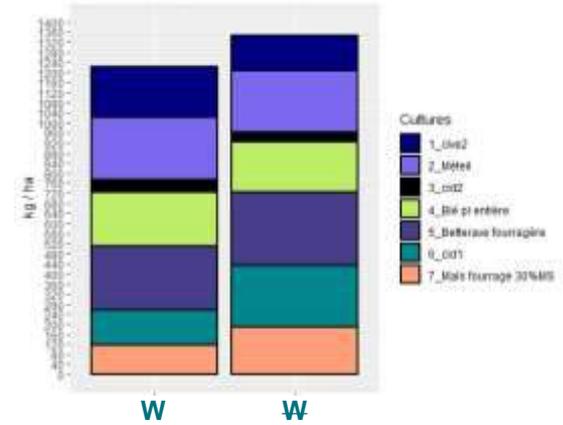
Témoin



Alimentaire Prioritaire



Biomasse Prioritaire



- ❶ La quantité de potassium exportée, à l'échelle de la rotation, s'accroît avec le gradient de production de biomasse du fait du cumul de biomasse exportée supérieure par hectare.
- ❷ L'essentiel du K est présent **dans les tiges et feuilles**, donc **en exportant des pailles et des plantes entières** (cas du système *AP* et *BP*) on exporte beaucoup de  $K_2O$ / T MS



Des apports de fertilisation  $K_2O$  sont nécessaires pour compenser les exportations importantes liées à l'exportation de plantes entières.

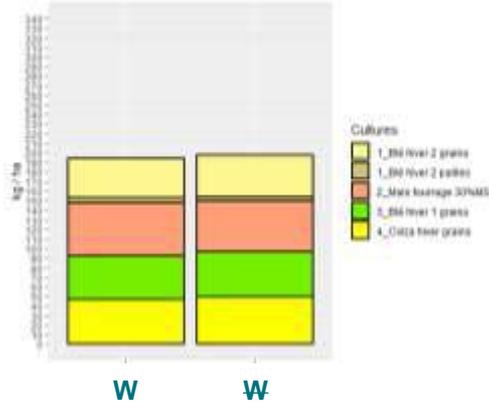
« Les cultures « sans résidus » de type maïs ensilé, céréales avec pailles exportées... abaissent de manière sensible la biodisponibilité du K dans le sol du fait, qu'après avoir prélevé de grandes quantités de K, elles n'en restituent que très peu. »

« Comifer » »

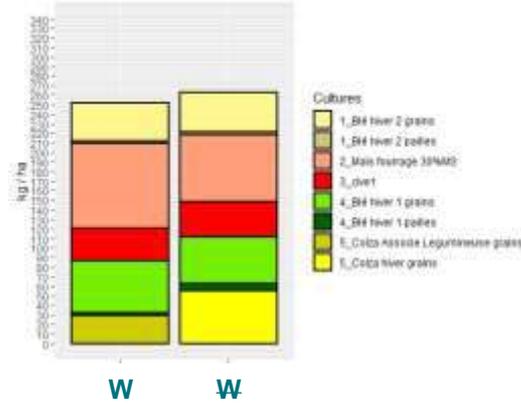
# Résultats exportation de phosphore de la rotation

- A l'échelle de la rotation -

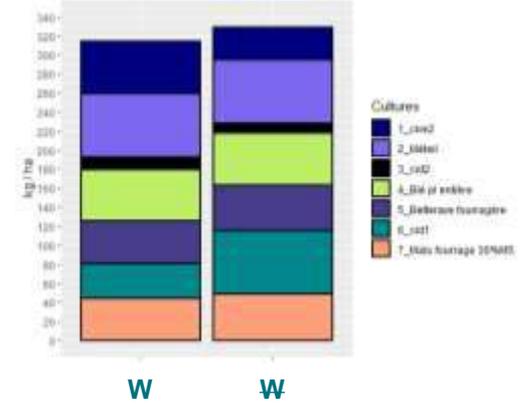
Témoin



Alimentaire Prioritaire



Biomasse Prioritaire



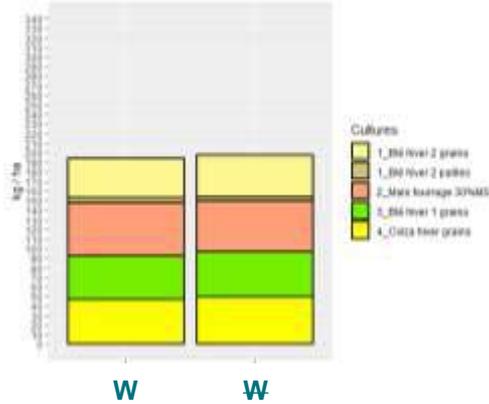
Exportation de  $P_2O_5$

La quantité de phosphore exportée, à l'échelle de la rotation, s'accroît avec le gradient de production de biomasse ( $BP > AP > T$ ) du fait du cumul de biomasse exportée supérieure par hectare.

# Résultats exportation de phosphore de la rotation

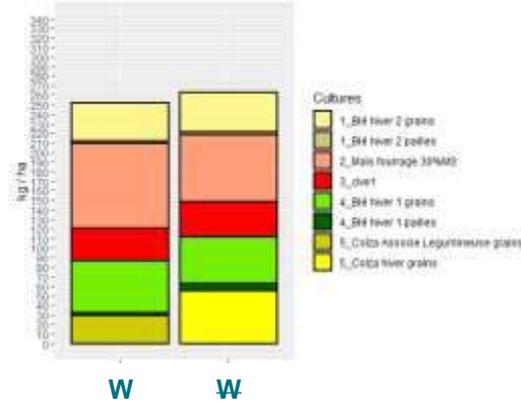
- Exportation par rapport à la biomasse exportée et préconisation -

Témoin



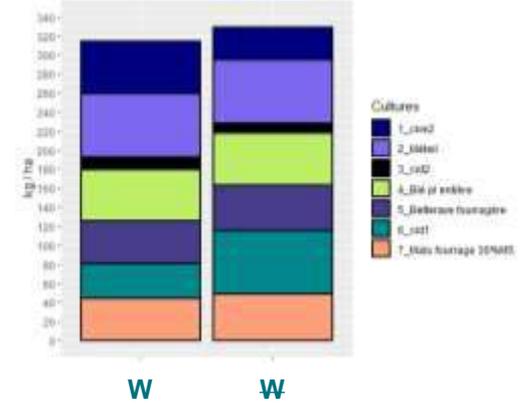
Exportation de 4,8 kg/ T MS

Alimentaire Prioritaire



Exportation de 5,2 kg/ T MS

Biomasse Prioritaire



Exportation de 5,3 kg/ T MS

A l'échelle de la rotation, la quantité de phosphore exportée s'accroît avec le gradient de production de biomasse ( $BP > AP > T$ ).

En revanche, ramenée à la tonne de matière sèche exportée, la quantité de phosphore exportée est équivalente dans les différents scénarios.

En effet, contrairement au potassium, le phosphore est plutôt localisé dans les grains. L'exportation de la plante entière ne conduit donc pas à des niveaux d'exportation de  $P_2O_5$  /T MS beaucoup plus élevés que dans le cas d'une exportation des grains de cultures à graines.

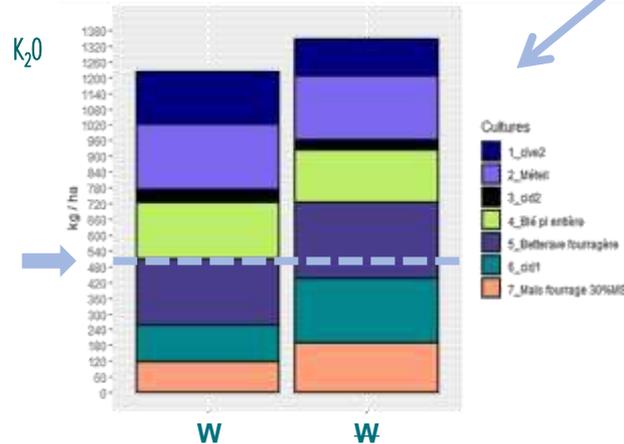
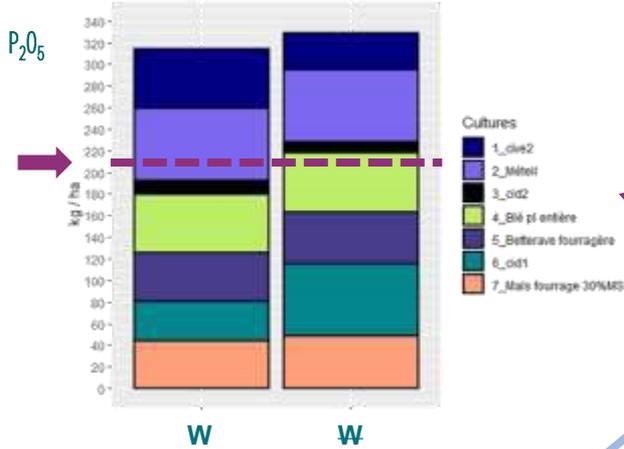


La quantité de P exportée à l'hectare étant supérieure en biomasse prioritaire, cette rotation nécessitera des apports supplémentaires de fertilisation  $P_2O_5$ .

# Biomasse prioritaire : zoom sur les apports de P et K par le digestat

Quantités moyennes de Phosphore et de Potassium apportées par les apports de digestat dans le système *Biomasse prioritaire*

	Quantités moyennes par apport	Quantité moyenne sur la rotation (5 apports)
Quantité de digestat	24 m <sup>3</sup> /ha	120 m <sup>3</sup> /ha
Quantité de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> apporté par hectare	43 kg/ha	215 kg/ha
Quantité de K <sub>2</sub> O apporté par hectare	104 kg/ha	520 kg/ha



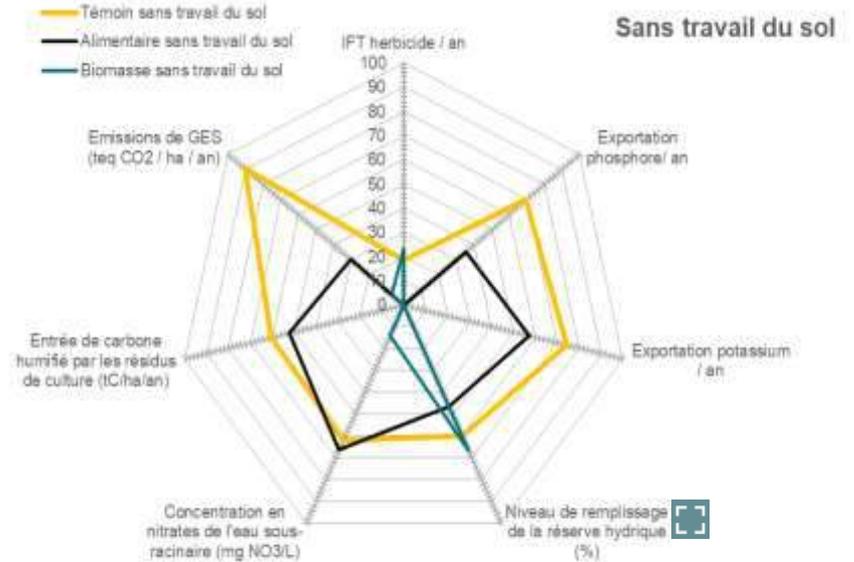
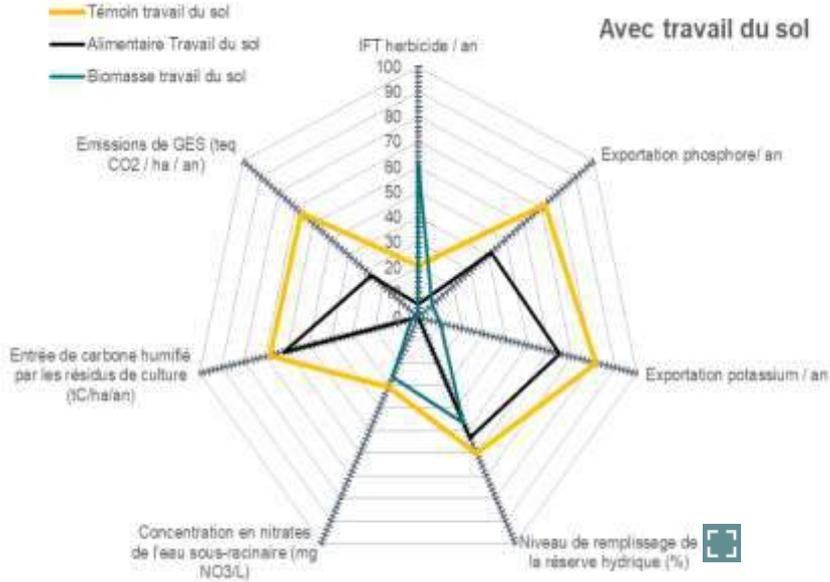
- ❖ La comparaison entre quantités de P et K apportées par digestat (*tableau*) avec le niveau d'exportation de ces minéraux dans le système *Biomasse prioritaire* (*graphiques*) met en évidence que, malgré des niveaux d'apports de PK importants, ceux-ci ne sont pas suffisants pour compenser les exportations.
- ❖ Ainsi, il y est préconisé de **prévoir dans le plan de fumure des apports en PK en plus de ceux permis par le digestat**. Cela permettra de compenser les exportations importantes du système en PK.

Dans le cadre de l'essai, le digestat était fourni par une unité de méthanisation du territoire. La biomasse produite sur l'essai n'y était pas valorisée. Ainsi, la composition du digestat utilisé dans l'essai est sans lien avec celles des plantes exportées dans les systèmes testés.

Il est à noter que lors du processus de méthanisation les éléments P et K ne subissent pas de transformation. Ainsi la quantité entrante en P et K dans la cuve du méthaniseur est la même que la quantité sortante de cette cuve. Si les cultures biomasses comme les doubles cultures permettent d'apporter de grandes quantités de P et K, elles peuvent toutefois être diluées par les apports complémentaires de produits pauvres en P et K. L'analyse du digestat permet d'avoir une idée des quantités apportées avec l'épandage de digestat et d'ajuster les apports minéraux.

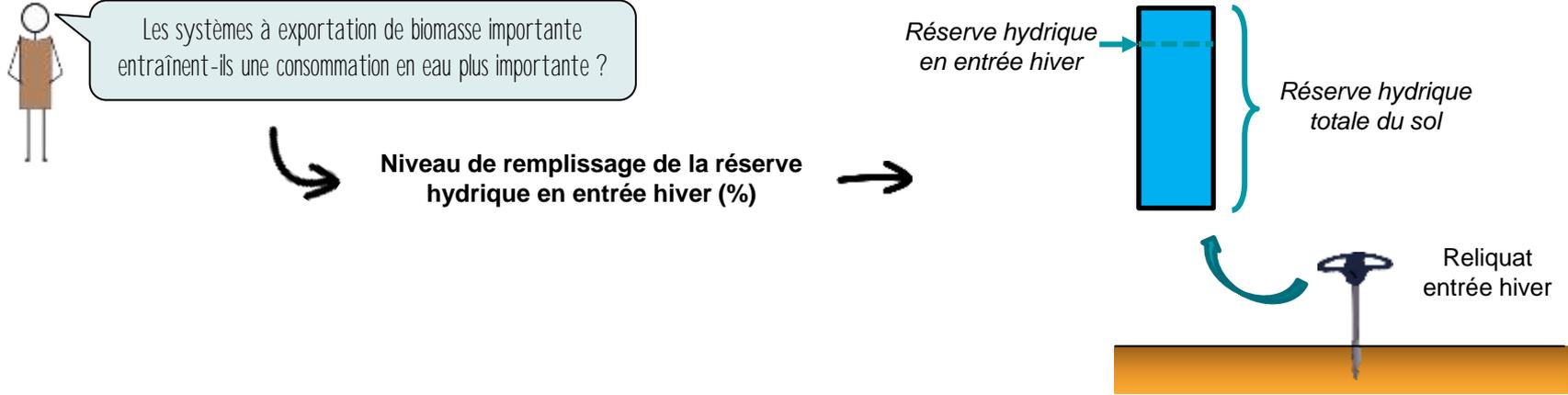
# Les résultats environnementaux

- Consommation en eau des systèmes -



Les systèmes à exportation de biomasse importante entraînent-ils une consommation en eau plus importante ?

	Borne valant 100 %	Borne valant 0 %
Niveau de remplissage de la réserve hydrique en entrée hiver	97%	82%

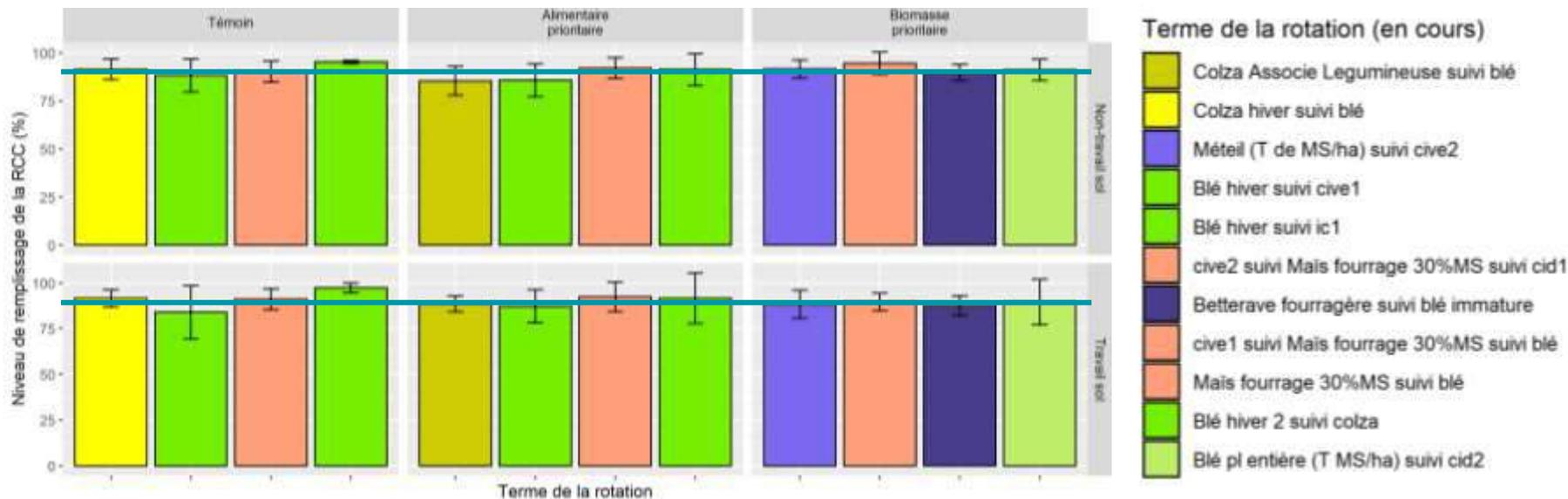


Le niveau de remplissage est obtenu en comparant la réserve hydrique en entrée hiver à la réserve totale du sol en entrée hiver.

**Un niveau faible peut traduire :**

- ❶ une consommation en eau importante des cultures (étant donné que les cultures ont reçu le même niveau de précipitation sur chaque année)
- ❶ un risque de réserve hydrique non reconstituée pour la culture suivante
- ❶ un risque de diminution de la recharge de la nappe

# Résultats remplissage de la réserve hydrique en entrée d'hiver



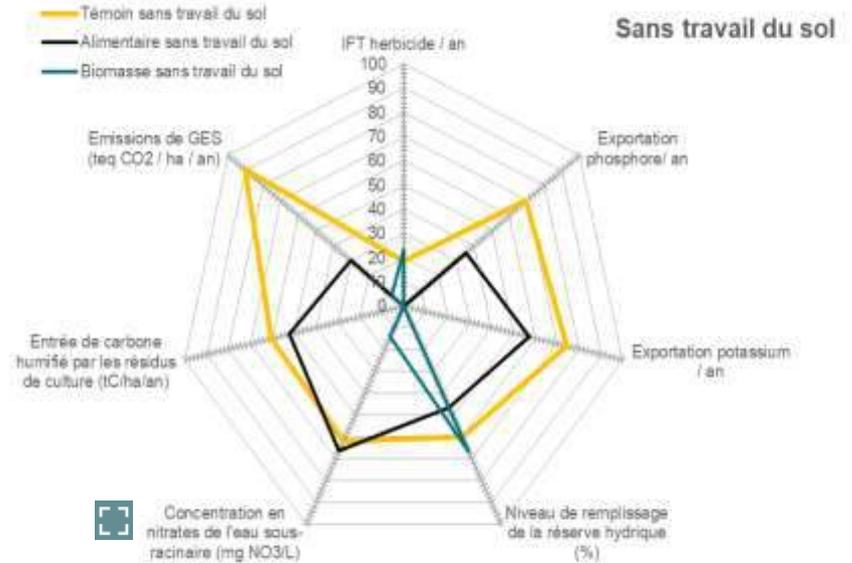
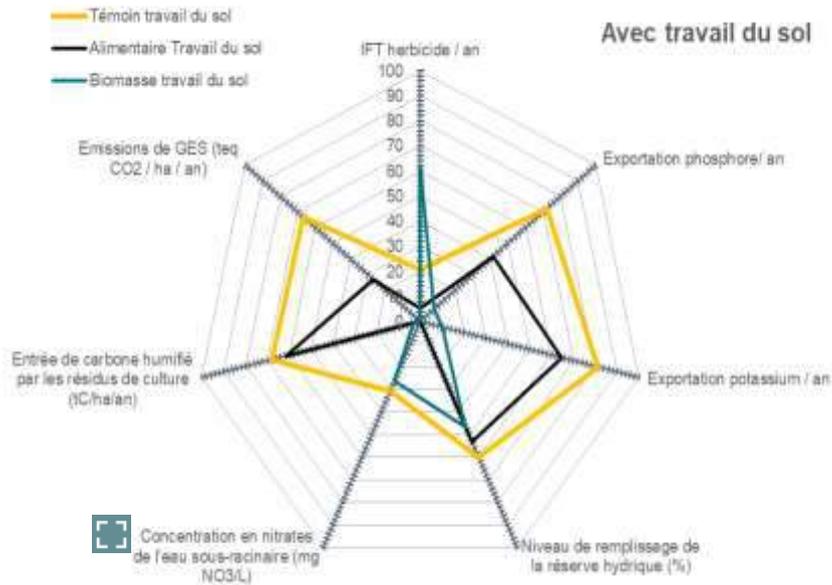
Détail du niveau de remplissage pour chaque terme des systèmes



Nous avons considéré un seuil de 90% de niveau de remplissage pour déterminer un niveau critique. Etant donné que les moyennes des niveaux de remplissage ne descendent pas sous ce seuil, nous pouvons conclure **qu'il n'y a pas eu de niveau critique de la réserve hydrique en entrée d'hiver pour aucune des cultures**. Cette conclusion se base sur les trois années d'observations utilisées dans cette évaluation et serait peut-être différente dans des années plus sèches, qui seront peut-être plus nombreuses à l'avenir.

# Les résultats environnementaux

- Concentration en nitrates de l'eau sous-racinaire -



Est-ce que des systèmes à exportation de biomasse importante ont un impact sur la qualité de l'eau sous-racinaire, en terme de concentration en nitrates ?

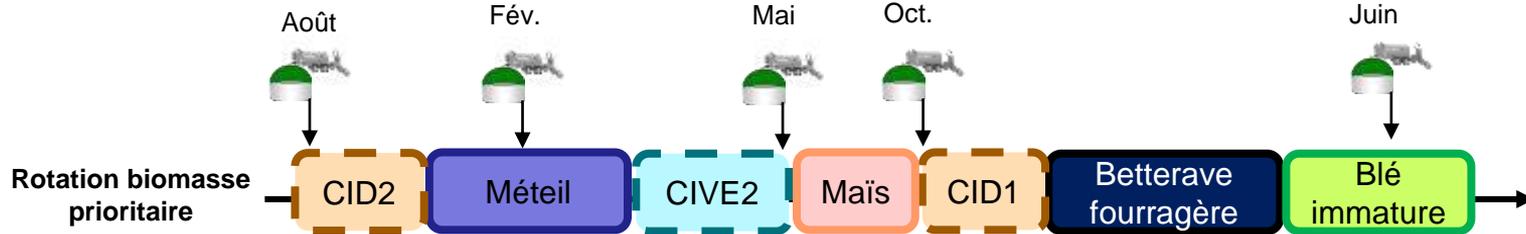
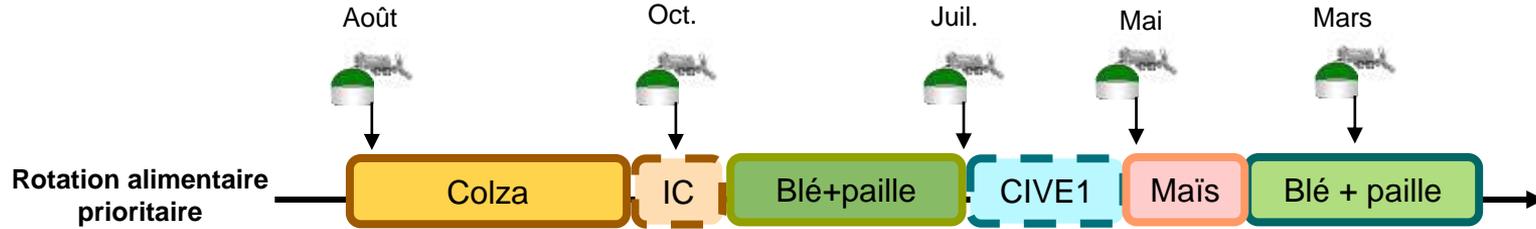
	Borne valant 100 %	Borne valant 0 %
Concentration en nitrates de l'eau sous-racinaire	56 mgNO <sub>3</sub> /L	14 mgNO <sub>3</sub> /L

# Plan d'épandage des digestats



## Rappel

Dans ce système, le plan d'épandage des digestats a été réfléchi pour représenter le fait de vider régulièrement la cuve d'un méthaniseur (5 fois dans la rotation).



# Le plan d'épandage des digestats à Beauvais

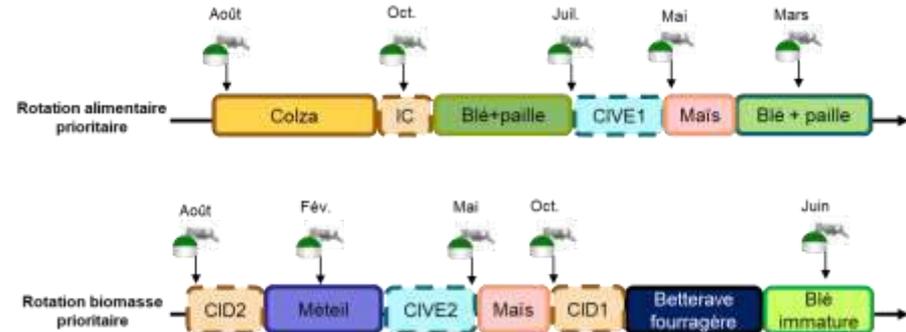
## Rappel

Dans ce système, le plan d'épandage des digestats a été réfléchi pour représenter le fait de vider régulièrement la cuve d'un méthaniseur (5 fois dans la rotation).

## RETOUR D'EXPERIENCE DE JULIEN GUIDET

Ce plan de fumure des digestats présente quelques contraintes selon Julien, pilote de la plateforme de Beauvais :

- ❶ Le digestat étant fourni par un prestataire, les apports devaient être regroupés sur cinq dates, qui n'étaient pas toujours les plus optimales pour les différentes cultures,
- ❷ Notamment pour les apports après maïs, même s'il pouvait être récolté assez tôt, le temps que les conditions d'épandage soient réunies, le drainage pouvait déjà avoir commencé et le semis du couvert était d'autant plus retardé. Ainsi, sa croissance et sa capacité à capter l'azote avant l'hiver en étaient fortement réduites, entraînant des risques de pertes importantes,
- ❸ Tous les digestats ont été analysés pour leur valeur fertilisante afin d'ajuster les apports minéraux complémentaires mais le résultat arrivait parfois trop tardivement pour cela. De plus, ces teneurs étant très variables, l'anticipation n'était pas possible et entraîne des difficultés à caler au mieux la fertilisation.



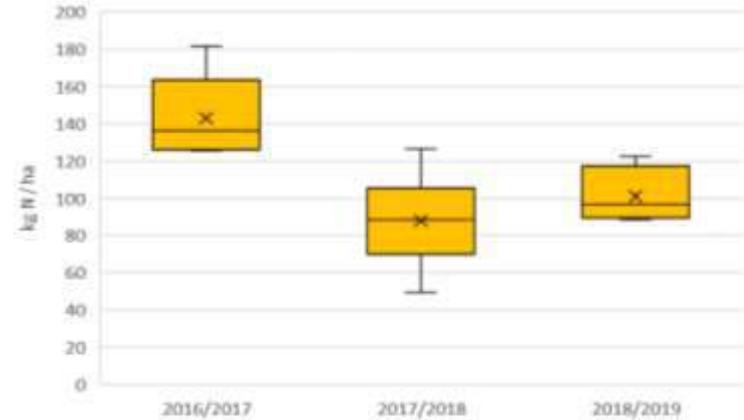
Etant donné les contraintes énoncées par le pilote, ainsi que la variabilité des digestats, nous avons voulu **en savoir plus sur leur composition**. Les digestats bruts étant notamment connus pour être riches en azote ammoniacal, la question se pose d'autant plus afin de **connaître l'impact de ce plan d'épandage sur la qualité de l'eau**.

# Valeurs fertilisantes des digestats

- Bibliographie et variabilité de la composition du digestat brut apporté (N) -

## CE QUE NOUS DIT LA BIBLIOGRAPHIE

- ❖ La composition des digestats varie en fonction de leur substrat d'origine (animale, déchets verts,...)
- ❖ Concernant les éléments fertilisants (N-NH<sub>4</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et K<sub>2</sub>O) :
  - Les digestats issus principalement des lisiers de porcs sont plus riches en éléments fertilisants que les digestats issus de biomasse, biodéchets ou encore de fumier/lisier de bovins.
  - Ils contiennent tous, en général, 65% d'azote ammoniacal. Les digestats bruts en seront plus riches que les digestats liquides, eux même plus que les digestats solides. Cela est dû à la séparation de phase entre liquide et solide, l'azote étant retenu dans la forme liquide.
  - On observe le même phénomène pour le potassium.
  - Concernant le phosphore, l'effet de séparation de phase est beaucoup moins important, les teneurs sont proches entre les différents digestats.



Quantité d'azote total (minéral + organique) apportée pour une dose de 24 m<sup>3</sup>/ha de digestat à Beauvais, en fonction de la campagne

Le digestat de Beauvais est apporté dans une forme brute (pas de séparation de phase). Il s'agit d'un substrat à base d'effluents d'élevage et de biomasse végétale. Sa teneur en azote ammoniacal varie de 18% à 65%, et la quantité d'azote totale est également très variable, comme on le voit sur le graphique. La dose de 24 m<sup>3</sup>/ha correspond à la dose moyenne des 3 années. Les données sont issues des analyses de valeurs fertilisantes réalisées dans le cadre du projet.



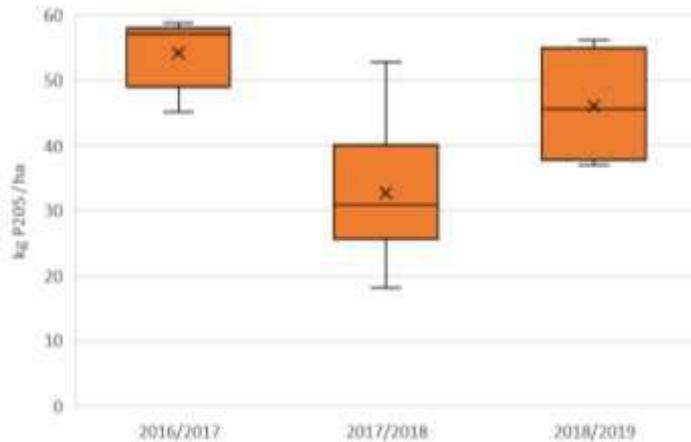
**Sources bibliographiques** : Ademe, 2004 (Solagro) et 2011 - Satege NPDC Somme, 2019 - Valdipro, 2019 - Chambres d'Agriculture - Doublet S, Berger S et al, 2005 - Etchart M, 2009 - méthanisation PACA, 2019 - Cuma Ouest, 2019

# Valeurs fertilisantes des digestats

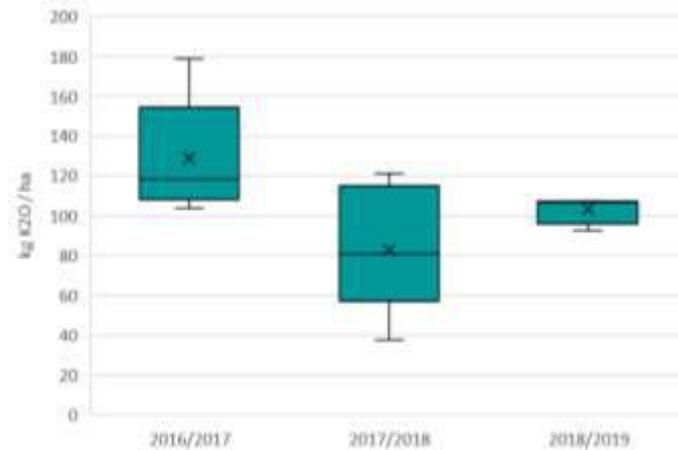
- Variabilité de la composition du digestat brut apporté (PK) -



Comme pour l'azote, les quantités de phosphore et de potassium apportées par les digestats à Beauvais ont fortement variés au cours du projet.



Quantité de phosphore ( $P_2O_5$ ) apportée pour une dose de 24 m<sup>3</sup>/ha de digestat à Beauvais, en fonction de la campagne

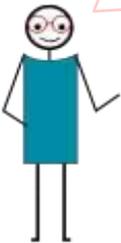


Quantité de potassium ( $K_2O$ ) apportée pour une dose de 24 m<sup>3</sup>/ha de digestat à Beauvais, en fonction de la campagne

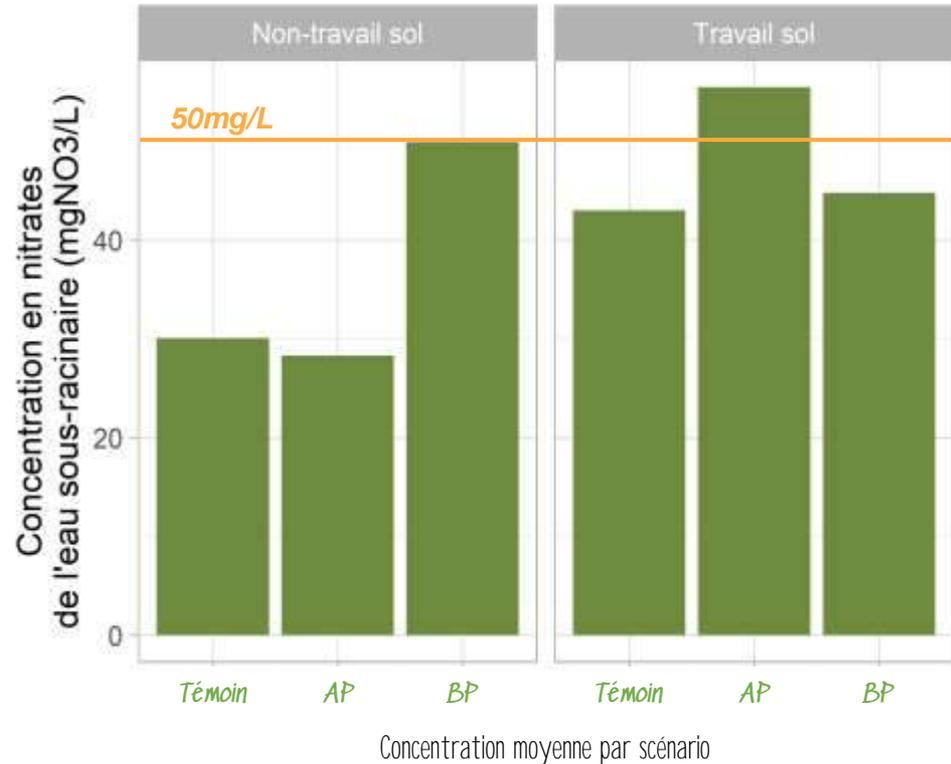
# Résultats concentration en nitrates de l'eau sous-racinaire



Les quantités d'éléments apportés sont très variables, riches en azote ammoniacal, et certains apports sont très tardifs. Quels impacts de ce plan d'épandage sur les pertes azotées et la qualité de l'eau ?



- ❶ Les scénarios à exportation élevée de biomasse présentent des concentrations en nitrates de l'eau sous-racinaire plus élevées que dans le système *témoin* et ce surtout dans la modalité avec travail du sol.
- ❷ Ces résultats interpellent et nous allons chercher à les approfondir, en repartant de la méthodologie de calcul de cet indicateur afin de comprendre ce qui nous amène à ces niveaux de concentrations.



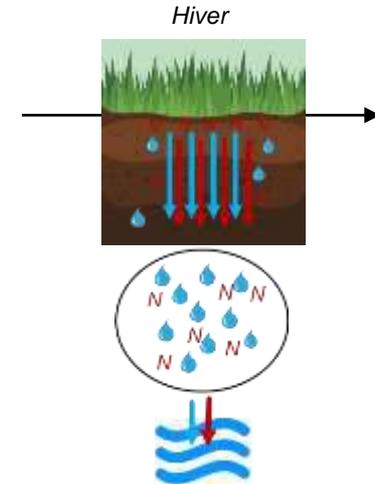
Valeurs estimées avec le modèle STICS, sur les périodes hivernales 2017-2018 et 2018-2019

Concentration en nitrates  
de l'eau sous racinaire  
(≠ de l'eau de la nappe)

=

Quantité d'azote entraînée par le drainage  
= **Azote lessivé**

Quantité d'eau entraînée vers la nappe phréatique  
sous l'effet des précipitations hivernales  
= **Eau drainée**



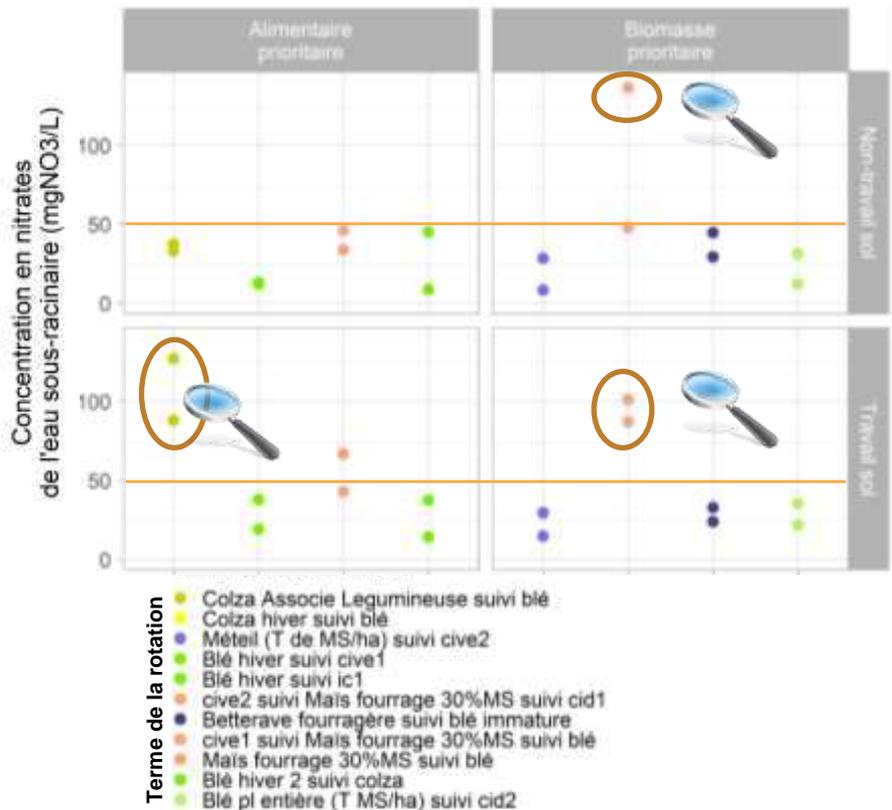
Une concentration élevée :

- ④ Traduit un système de culture à risque vis-à-vis de l'azote (apports > besoins, apports mal valorisés, absence de couverture automnale,...)
- ④ Est souvent liée à des reliquats entrée hiver élevés

On voit donc qu'il est important s'intéresser aux pertes de chaque terme, ce qui permet d'identifier les situations à risque.

Ces processus ont lieu pendant la période hivernale car peu de prélèvements des végétaux et précipitations intenses. C'est cette période qui est étudiée.

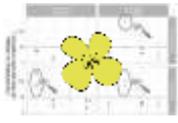
# Résultats concentration en nitrates de l'eau sous-racinaire



- ⊕ Les concentrations plus élevées dans le scénario *Alimentaire Prioritaire* sont notamment dues à des **concentrations élevées derrière le colza en travail du sol**.
- ⊕ Les concentrations plus élevées dans le scénario *Biomasse prioritaire*, dans les deux modalités de travail du sol, sont notamment dues à des **concentrations élevées derrière la double culture « CIVE 2 + maïs »**.



Niveaux de concentrations obtenus pour chaque culture sur les deux années étudiées, pour chaque scénario



# Résultats concentration en nitrates de l'eau sous-racinaire

- Zoom sur les concentrations élevées après le colza sur le scénario *Alimentaire prioritaire* -

Pour les périodes hivernales 2017-2018 et 2018-2019

- ❶ Dans le scénario *Alimentaire prioritaire* avec travail du sol, l'apport tardif de digestat amène à des reliquats entrée hiver (REH) dans le blé et des concentrations élevées [NO<sub>3</sub>].
- ❷ Cependant, cet effet n'est pas observable dans la modalité sans travail, alors qu'il y a eu le même apport.

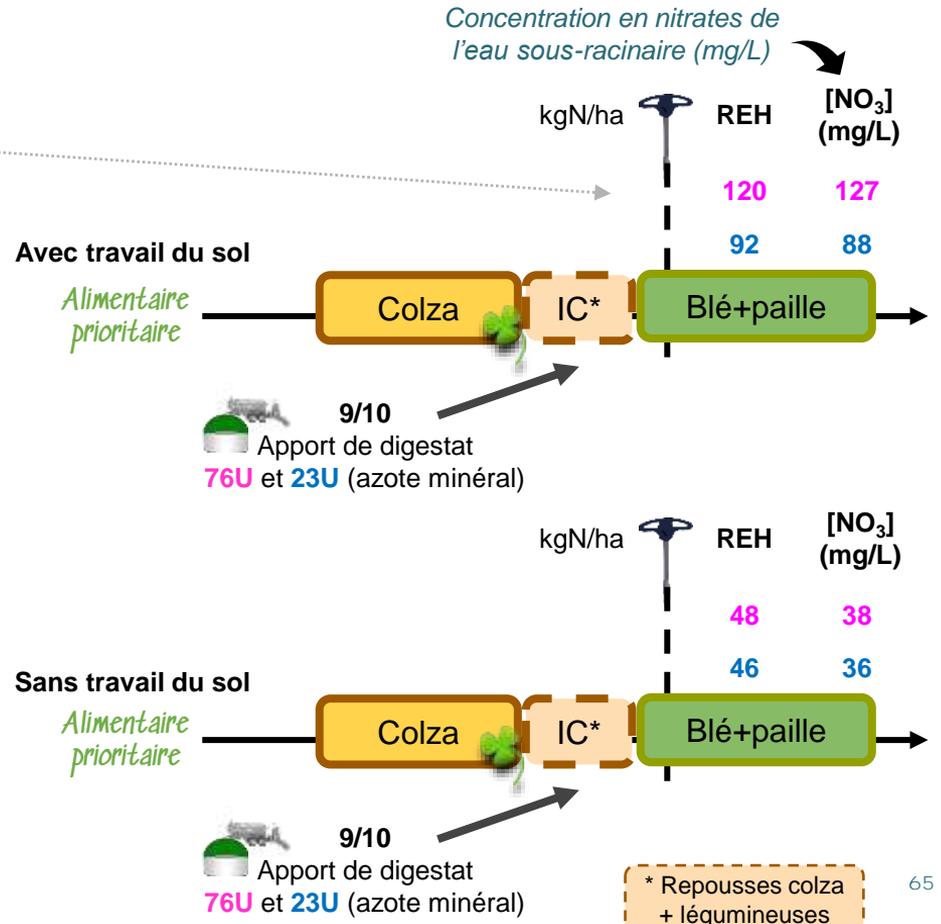
**Il reste des travaux à mener pour comprendre pourquoi l'effet est différent sans travail du sol.**

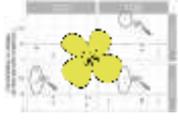
Plusieurs hypothèses peuvent être explorées :

- ❶ Le couvert de repousses de colza et de légumineuses présent en **non travail** à cette période car non détruit permettrait d'absorber davantage l'azote minéral apporté par les digestats ? **Qu'en est-il ? (voir diapo 65)**
- ❷ L'azote ammoniacal du digestat non enfoui (sans travail du sol) serait tout de suite volatilisé (et donc perdu dans l'environnement !) et ne serait plus visible dans le reliquat entrée hiver.

**Vous avez dit « REH » ?**

Il s'agit du Reliquat Entrée Hiver, mesuré avant période de drainage, qui va permettre de quantifier l'azote présente dans le sol à cet instant. Il est exprimé en kgN/ha.

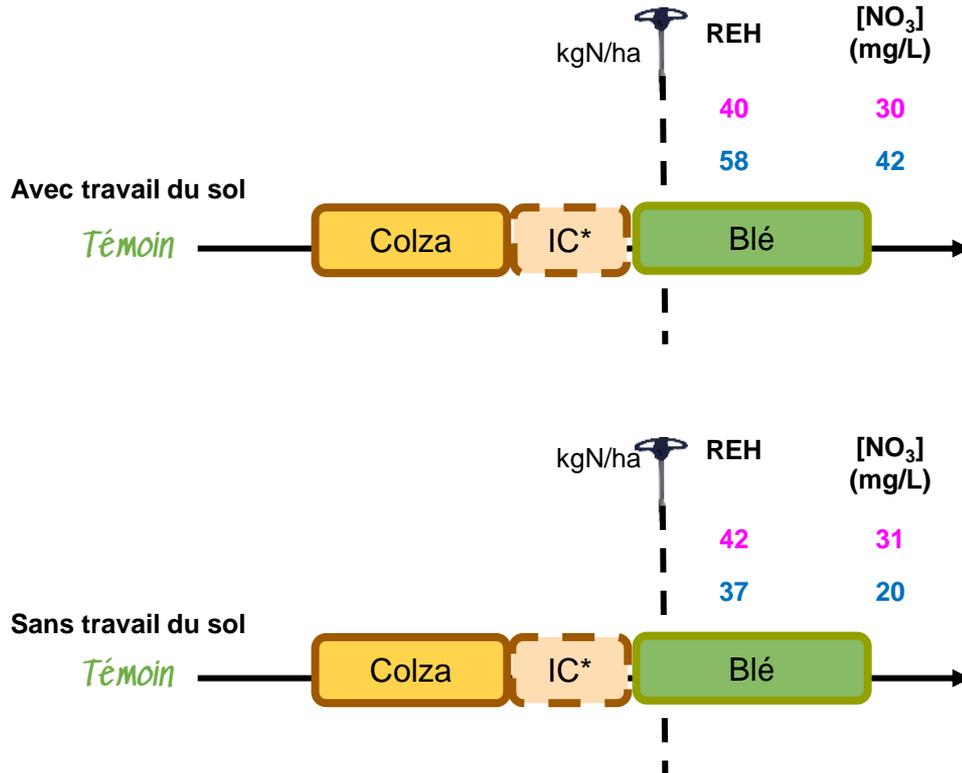




# Résultats concentration en nitrates de l'eau sous-racinaire

- Zoom sur les concentrations élevées après le colza & comparaison des scénarios *Témoin* et *Alimentaire prioritaire* -

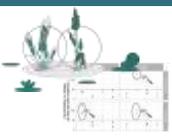
Pour les périodes hivernales 2017-2018 et 2018-2019



En comparaison au scénario *Alimentaire prioritaire*, le blé après le colza du scénario *témoin* présente des reliquats entrée hiver et des concentrations plus faibles et identiques en travail et non travail du sol.

\* Repousses colza



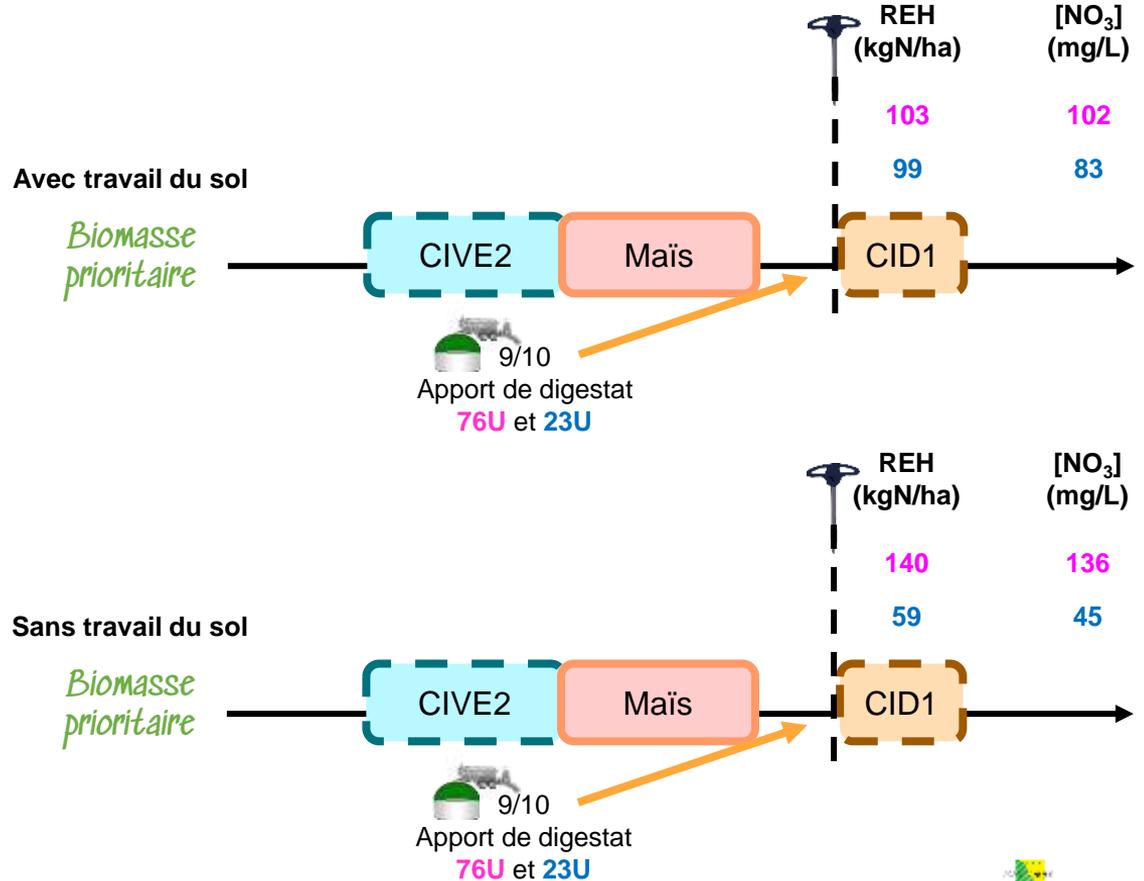


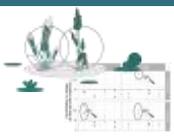
# Résultats concentration en nitrates de l'eau sous-racinaire

- Zoom sur les concentrations élevées après la **double culture** dans le scénario *Biomasse prioritaire* -

Pour les périodes hivernales **2017-2018** et **2018-2019**

- ① Dans le scénario *Biomasse prioritaire*, l'apport tardif de digestat (vers le 9/10 sur sol nu, avant implantation du couvert) riche en azote ammoniacal amène à des reliquats entrée hiver et des concentrations élevées.
- ① Cet effet est observable dans les deux modalités de travail du sol.

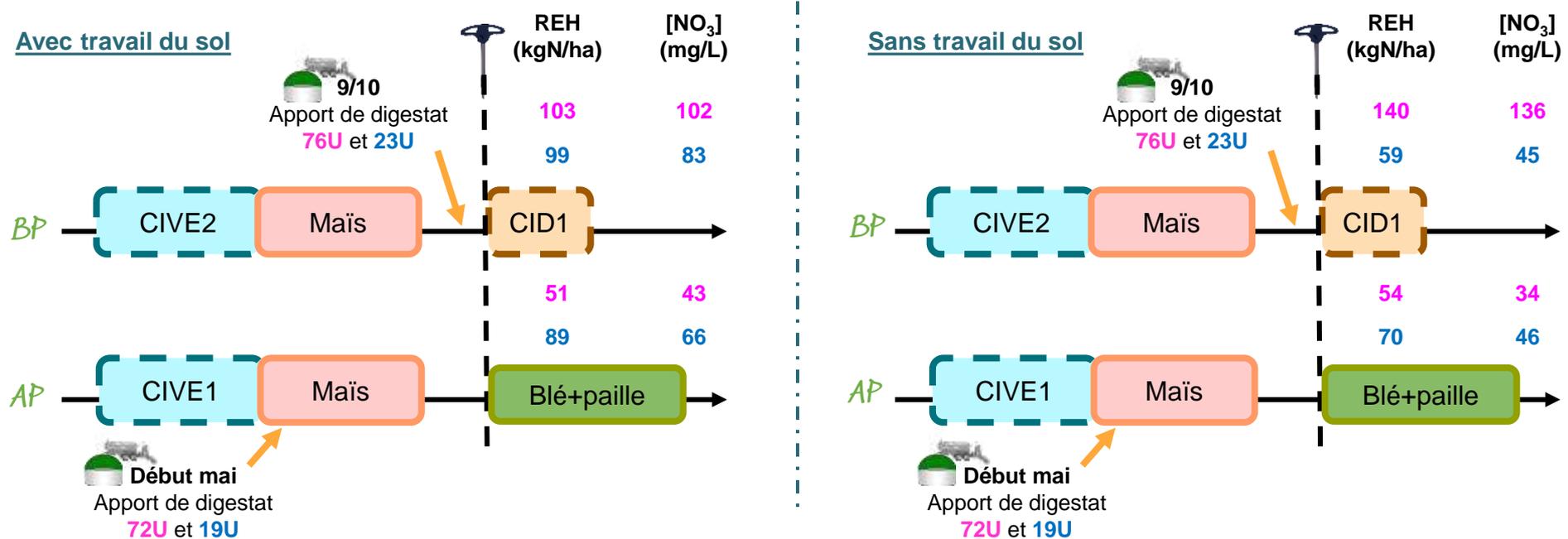




# Résultats concentration en nitrates de l'eau sous-racinaire

- Zoom sur les concentrations élevées après la **double culture** dans le scénario *Biomasse prioritaire* -

Pour les périodes hivernales **2017-2018** et **2018-2019**

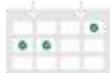


La comparaison des pertes derrière maïs des scénarios *Biomasse prioritaire* et *Alimentaire prioritaire* montre que pour un maïs dont le digestat est apporté au début de la culture (AP), les pertes sont moins importantes, que cela soit en travail du sol et non travail du sol.

**Il vaut donc mieux privilégier les apports au printemps.**

On peut tout de même noter que cet effet est surtout présent en 2017-2018 et moins en 2018-2019. Des travaux restent à mener pour comprendre et mieux décrire l'effet des doubles cultures sur les pertes d'azote par lessivage.





# Résultats concentration en nitrates de l'eau sous-racinaire

- Réglementation en Hauts-de-France sur les apports de PRO sur dérobée -



Que dit la réglementation en Hauts-de-France sur les apports de PRO sur dérobée ?

## CE QUE NOUS DIT LA REGLEMENTATION



### Dose

« 70 kg d'azote efficace »



### Calendrier

« Entre juillet et janvier : épandage possible de 15 jours avant l'implantation du couvert d'interculture jusqu'à 20 jours avant sa destruction ou récolte »

## CE QUI A ÉTÉ FAIT SUR LA PLATEFORME

Appports réalisés **18** et **3** jours avant implantation du couvert 

**9 octobre**

Apport d'azote total par le digestat

**160** et **84** kgN/ha



Soit **64** et **34** unités d'azote efficace



Même dans des conditions de respect de la réglementation, **des apports tardifs à l'automne présentent des risques de pertes d'azote par lessivage importante.**

# Résumé

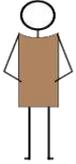
## CE QU'IL FAUT RETENIR

- ❶ Pas de risque de surconsommation d'eau des systèmes alimentaire et biomasse prioritaire.
- ❷ La composition des digestats en éléments fertilisants est très variable.
- ❸ Les apports tardifs de digestats amènent à des concentrations en nitrates de l'eau sous-racinaire élevées, même dans le respect de la réglementation.



# Les résultats environnementaux

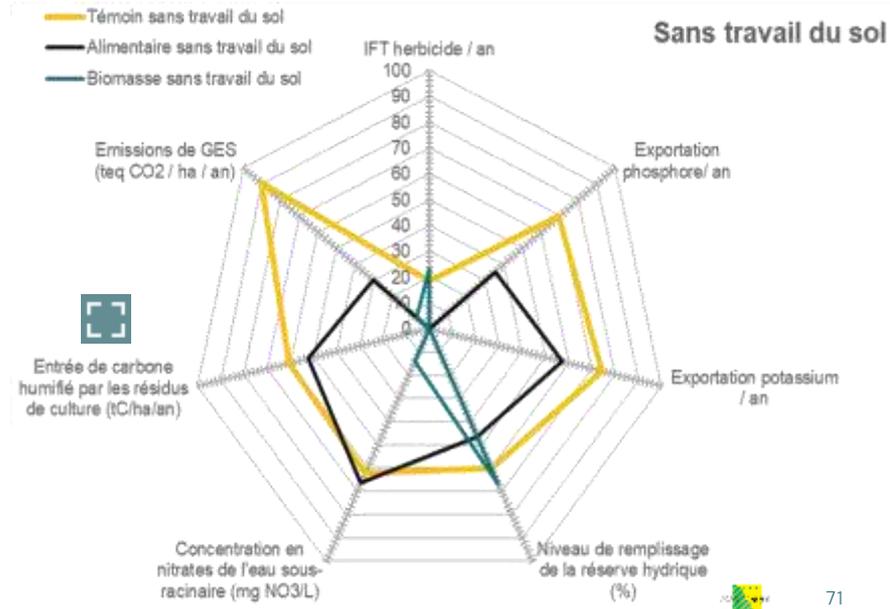
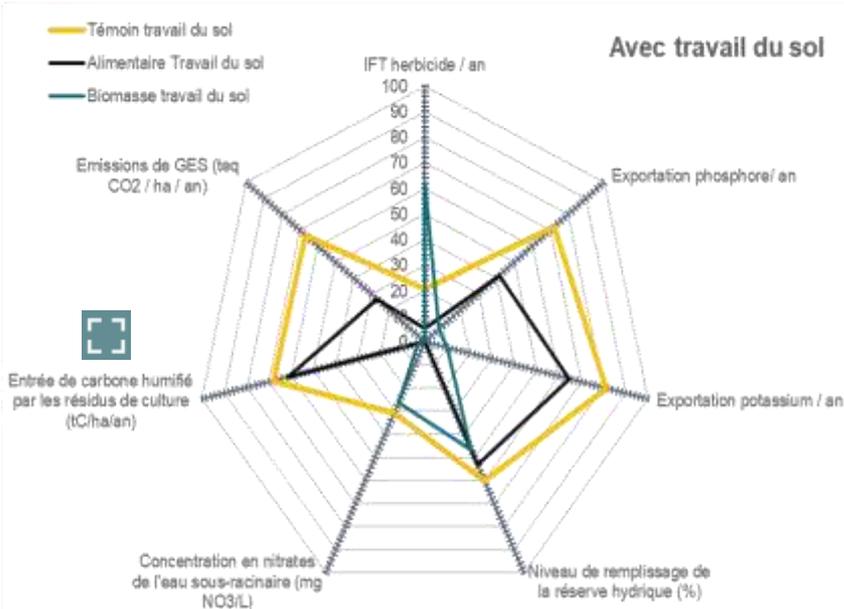
- Entrée de carbone humifié par les résidus de culture -



Les systèmes avec exportation de biomasse importante ont-ils un impact sur le stockage de carbone ?

*La question se pose ici de vérifier si les systèmes de culture à exportation de biomasse importante entraînent des restitutions de carbone réduites, ayant un impact sur le stockage de carbone.*

	Borne valant 100 %	Borne valant 0 %
Entrée de carbone humifié par les résidus de culture	2,3 TC/ha/an	1TC/ha/an

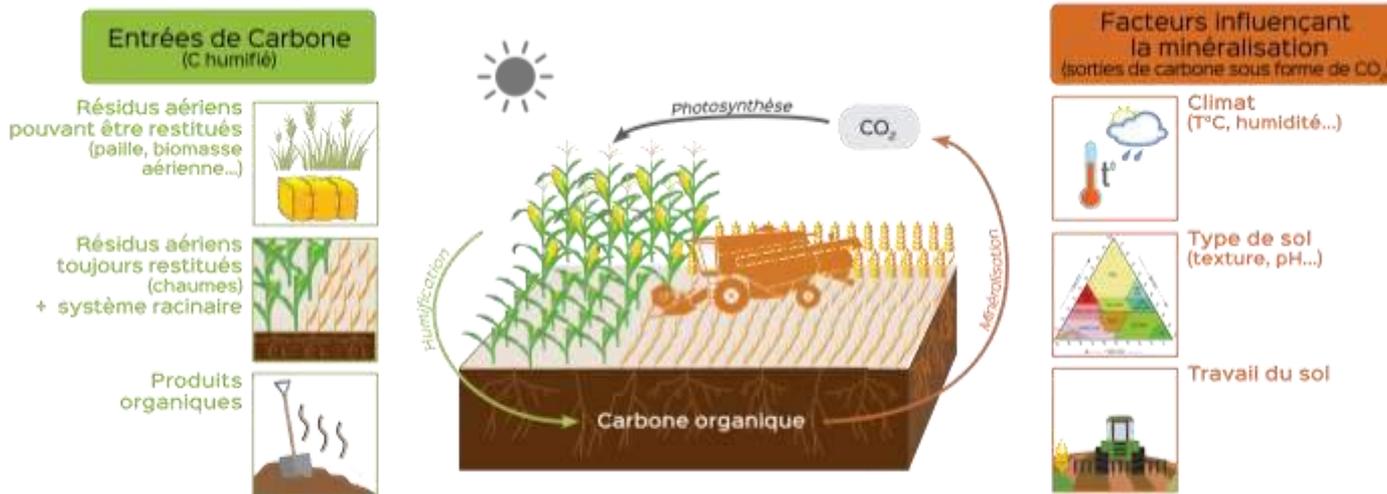


# Entrée de carbone humifié

- Le principe du bilan humique -

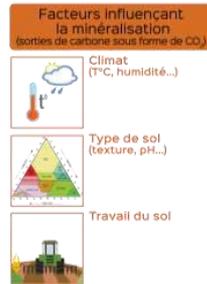
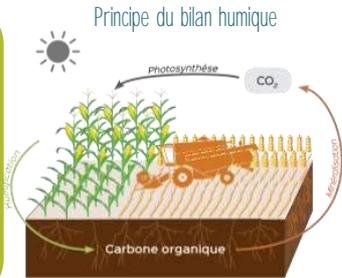
Stocker du carbone :

Fournitures de carbone humifié > Sorties par minéralisation



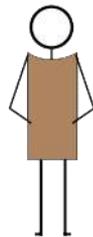
Le stock de carbone peut être comparé à un réservoir : un flux continu de carbone humifié l'alimente tandis qu'il se vide également en continu de par la minéralisation de la matière organique.

**Stocker du carbone** revient à avoir plus de fournitures de carbone via **les entrées de carbone humifié** (résidus, PRO, racines,...) pour compenser **les sorties de carbone**, qui sont issues de la minéralisation, influencées surtout par le type de sol et le climat.



- ❶ Les sorties de carbone sont fortement influencées par le type de sol, sur lequel on ne peut pas beaucoup agir
- ❷ A l'inverse, on peut impacter les entrées de carbone humifié via la rotation et les pratiques (apports de produits organiques, restitution de paille,...)
- ❸ S'intéresser aux **entrées de carbone humifié** permet de s'affranchir du type de sol et de comparer les systèmes sur la même base

Des **entrées de carbone humifié importantes** vont indiquer une contribution importante du système et de la culture au stockage de carbone dans les sols.



Les entrées de carbone humifié dans les systèmes avec exportation de biomasse importante sont-elles réduites par rapport au scénario initial ?



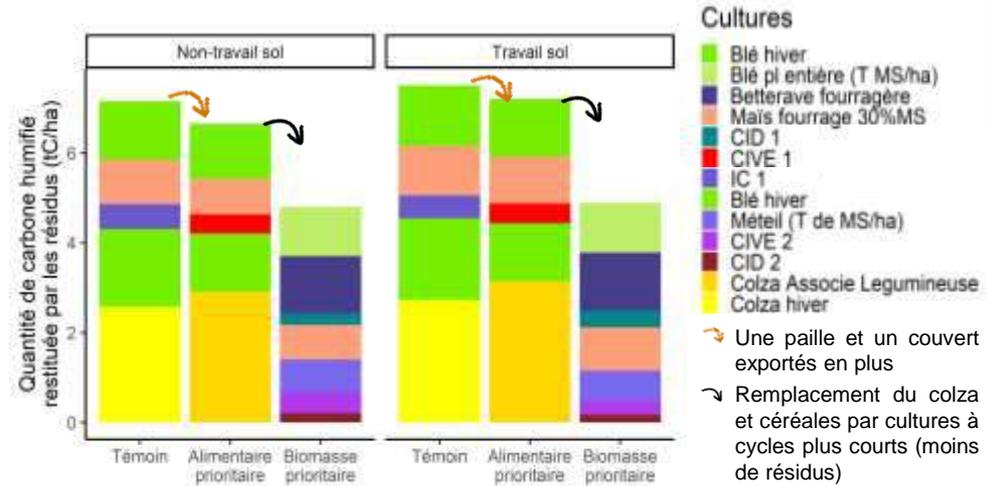
Les résultats présentés ci-après ont été obtenus avec l'outil SIMEOS-AMG, paramétré avec les données issues des expérimentations du projet Réseau de sites démonstrateurs, pour les années 2017, 2018 et 2019.

# Résultats entrée de carbone humifié

- ❶ Comme on peut le voir sur le graphique, en travail du sol ou non, les entrées de carbone humifié sont un peu moins importantes dans le scénario *alimentaire prioritaire* que dans le *témoin*, mais restent tout de même élevées. Cette diminution est due à l'export d'une paille et d'un couvert supplémentaire par rapport au scénario témoin.
- ❷ Dans les scénarios *biomasse prioritaire*, les entrées de carbone humifiés sont très fortement réduites par rapport au scénario *témoin*. Cela s'explique par le remplacement des céréales et du colza par un enchaînement de cultures à cycles plus courts, exportées en plante entière, et apportant moins de résidus.



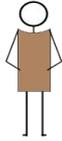
**La modification en profondeur de la rotation dans le système biomasse prioritaire réduit la quantité de carbone humifié restituée, notamment car il s'agit d'une succession de cultures à occupation du sol plus courtes.**



Quantité de carbone humifiées apportées par les résidus de chaque culture de chaque scénario

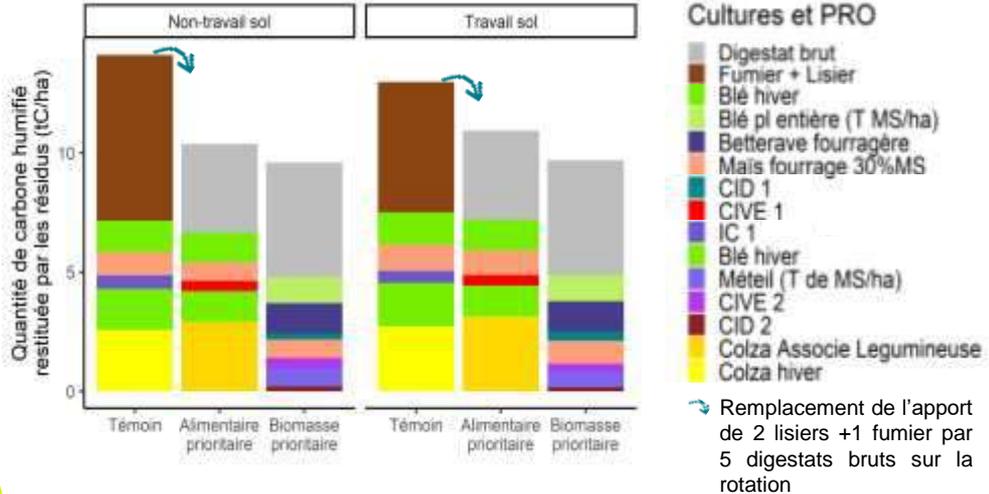
# Résultats entrée de carbone humifié

- Contribution des produits organiques aux entrées de carbone humifié -



Quelle contribution des produits organiques aux entrées de carbone humifié ?

- Les contributions des produits organiques aux entrées de carbone humifié ont été ajoutées sur le graphique, en plus de celles apportées par les résidus.
- On peut y voir que les contribution des 5 digestats sont inférieures à celles permises par les apports de fumier et lisiers dans le scénario *témoin*.
- Néanmoins, dans le cas où le scénario *témoin* ne recevrait pas d'apports de fumier et lisier, les quantités de carbone humifiées apportées par les digestats permettraient de compenser les entrées moins importantes par les résidus dans le scénario *biomasse*.



Quantité de carbone humifiées apportées par les résidus et produits organiques (PRO) de chaque culture de chaque scénario



La quantité de carbone humifié apportée par les digestats ne permet pas de compenser ce qu'apportent les fumiers et lisiers, mais dans le cas où il n'y aurait pas d'apports de fumier + lisiers, les digestats permettent de compenser la diminution d'entrées de carbone humifié dans le scénario biomasse prioritaire (pour ce plan d'épandage spécifique).

# Résultats entrée de carbone humifié

- Impact sur l'évolution du stock de carbone de la parcelle-

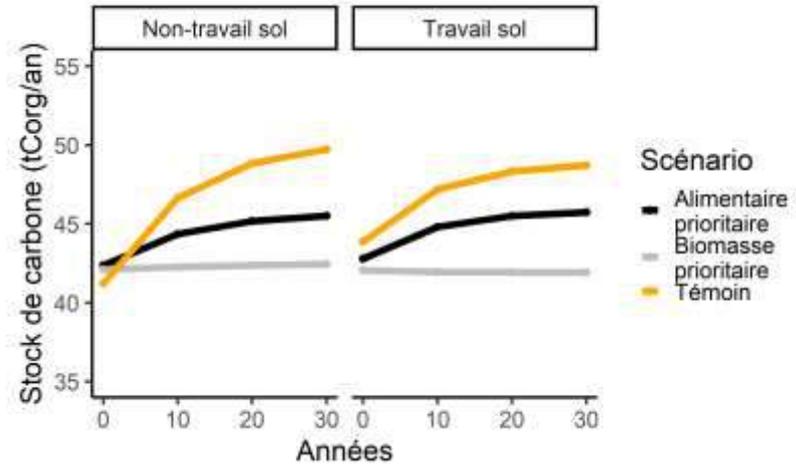


Quel impact sur l'évolution du stock de carbone de cette parcelle ?

- ➊ Nous avons évalué l'impact des modifications de pratiques sur l'évolution du stock de carbone de cette parcelle en particulier, projeté à 30 ans. Cette simulation a été faite avec l'outil SIMEOS-AMG.
- ➋ On observe sur le graphique que le stock augmente pour les scénarios *témoin* et *alimentaire*, en lien avec les entrées de carbone les plus élevées dans ces scénarios.
- ➌ En revanche, les entrées de carbone humifié fortement réduites par le changement de rotation dans le scénario *biomasse prioritaire* entraînent une stabilisation du stock voire une diminution.
- ➍ *Nb : Le stock initial est légèrement différent entre les scénarios car la parcelle agricole sur laquelle sont implantées les différents scénarios présente une variabilité des teneurs en matière organique (cf. [page 10](#)).*



Sur cette parcelle, **l'évolution du stock de carbone est surtout impactée par le scénario biomasse prioritaire**. L'évolution reste positive pour ce scénario car le stock initial est assez faible (potentiel de stockage plus élevé). **Mais dans ce type de sol, le scénario biomasse prioritaire ne permettrait pas de stocker du carbone sur le long terme.**



Evolution du stock de carbone pour chaque scénario (pour chaque scénario, moyenne des parcelles des différents blocs)

# Résumé

## CE QU'IL FAUT RETENIR

- ① Pour stocker du carbone dans les sols, il faut que les entrées de carbone humifié soient supérieures aux sorties par minéralisation.
- ① Le système biomasse prioritaire permet moins d'entrées de carbone humifié, ce qui impactera le stock de carbone de cette parcelle sur le long terme.
- ① Les cinq apports de digestats ne permettent pas de compenser ce qui peut être apporté par les fumiers et les lisiers.

