



# Concilier production de biomasse et performances en systèmes betteraviers sur BAC nitrates



Démarche construite dans le cadre du projet *Réseau de sites démonstrateurs* coordonné par Agro-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 Landifay



- ④ Localisation et conduite de l'essai
- ④ Localisation de la plateforme dans un BAC : un enjeu « qualité de l'eau »
- ④ La parcelle d'essai : pédologie et historique

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



- ④ Système betteravier sur un BAC nitrates : système témoin et enjeux associés
- ④ Déclinaison des systèmes de culture : objectifs et leviers techniques de production de biomasse employés
  - Le système « Alimentaire prioritaire »
  - Le système « Bioéconomie prioritaire »

# 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



- ① Les doubles cultures dédiées à la biomasse
  - Définition
  - Evaluation agronomique
  - Faisabilité technique

#### III. Comparaison de l'essai « système betterave » avec les autres systèmes suivis dans le réseau de plateformes

# 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
  - Carbone
  - GES

# SOMMAIRE

## Partie 4

### 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

#### II. Performances économiques des systèmes

- ① Marges directes obtenues pour les différents systèmes
  - Marges directes à l'échelle du système
  - Part de chaque terme cultural dans la marge directe du système
  - Part de chaque poste de charge 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 betteravier sur un BAC nitrates »

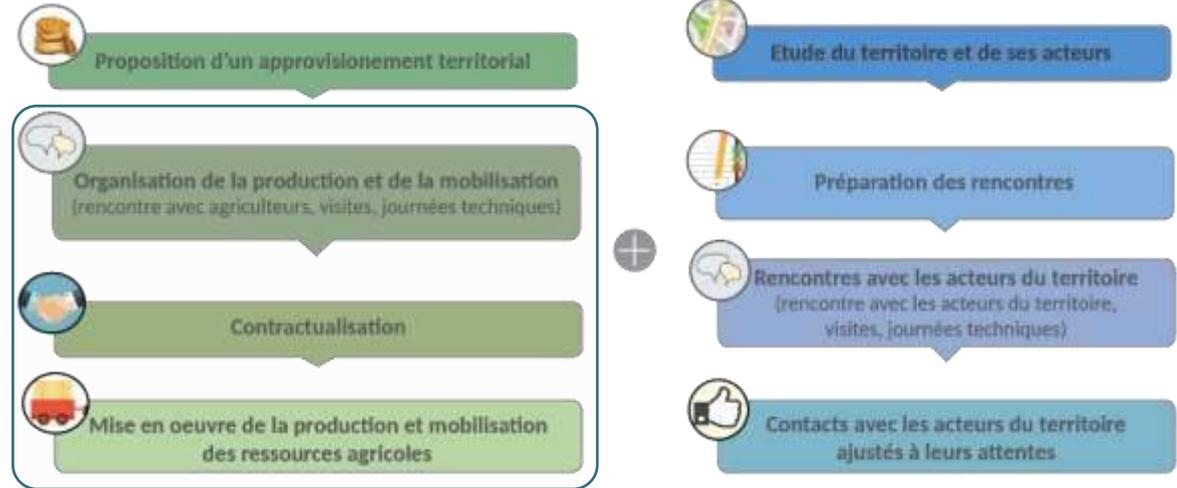


# La démarche FILABIOM

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 FILABIOM 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 FILABIOM



Le document « **Concilier production de biomasse et performances en systèmes de culture betteraviers sur BAC nitrates** » 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 betteravier classique des Hauts-de-France ayant la particularité d'être sur un BAC nitrates.



# Préambule

- ❶ Ce document présente des résultats d'évaluation issues de l'expérimentation pluriannuelle de Landifay (2016-2020) sur des systèmes de culture betteraviers avec production de biomasse.
- ❶ 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 :

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





## Partie 1

### Présentation de l'essai

#### I. La plateforme de Landifay



- ④ Localisation et conduite de l'essai
- ④ Localisation de la plateforme dans un BAC : un enjeu « qualité de l'eau »
- ④ La parcelle d'essai : pédologie et historique

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



- ④ Système betteravier sur un BAC nitrates : système témoin et enjeux associés
- ④ Déclinaison des systèmes de culture : objectifs et leviers techniques de production de biomasse employés
  - Le système « Alimentaire prioritaire »
  - Le système « Bioéconomie prioritaire »



# La plateforme de « Landifay »

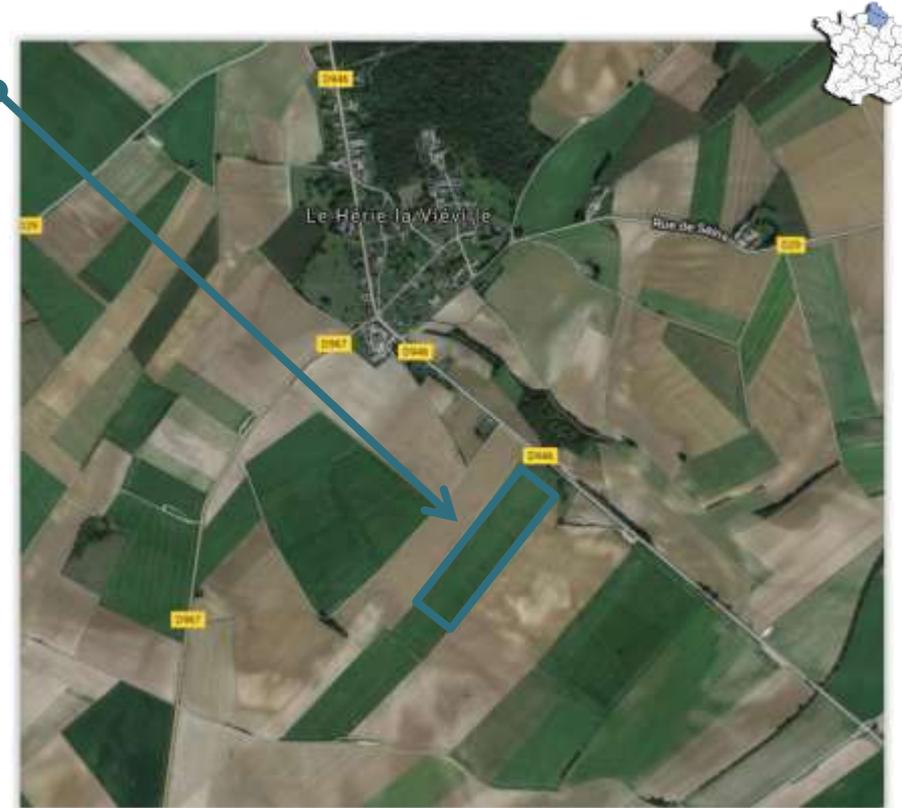
- ❶ Elle est basée dans la commune de Le Hérie-la-Viéville (Aisne)
- ❷ L'essai a été conduit en binôme entre Éric Buysse (agriculteur) et Nicolas Jullier (conseiller Agronomie-Environnement à la Chambre d'agriculture de l'Aisne).



Éric Buysse



Nicolas Jullier



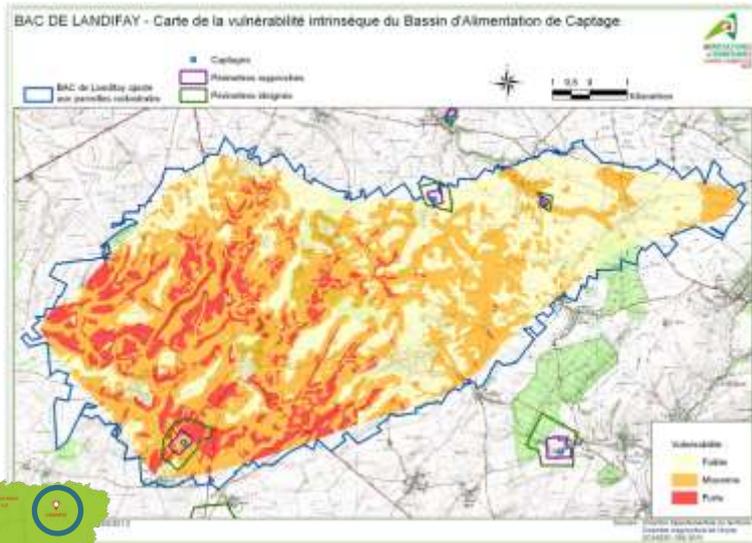
Localisation de la parcelle d'essai



# Plateforme localisé sur un BAC Grenelle « nitrates »

Le BAC de Landifay et Bertaignemont est un BAC prioritaire Grenelle, c'est-à-dire une zone de protection d'aire de captage vis-à-vis des nitrates de l'eau souterraine.

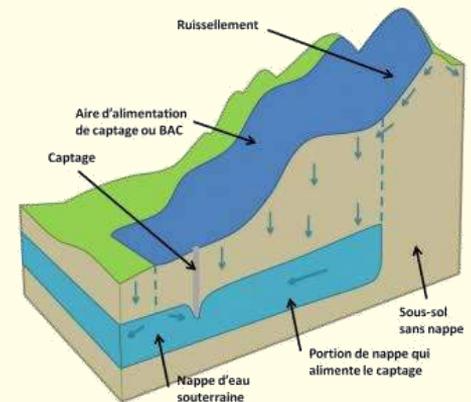
Il est soumis à un programme d'action qui fixe un objectif de concentration en nitrates de l'eau sous racines inférieure à 50 mg/L.



BAC de Landifay – Carte de vulnérabilité intrinsèque du BAC  
(source : CA Aisne - 2013)

**Vous avez dit « *BAC nitrates* » ?**

Un Bassin d'Alimentation de Captage (BAC) est la surface qui contribue à l'alimentation de la partie de la nappe qui alimente le captage.





# Contexte pédologique et historique de la plateforme

## Caractéristiques de la parcelle

- Parcelle homogène en limon moyen profond
- Parcelle sur BAC nitrate
- RU : 200 mm
- Teneur en MO : 1,7 à 2,1%
- Pas de problème de structure (profils culturaux réalisés en début de projet, avant la mise en place de l'essai)

## Conduite historique de la parcelle

- Parcelle en alternance labour/non labour, avec labour à 15 cm
- Apport de fumier régulier
- Rotation : blé, betterave sucrière, blé, lin, blé, colza, orge de printemps.

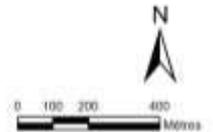


Mr BUYSSÉ Eric  
Carte des types de sols

Limite d'essai

Types de sols :

- CRB
- CRA
- LAP
- LC
- LAP



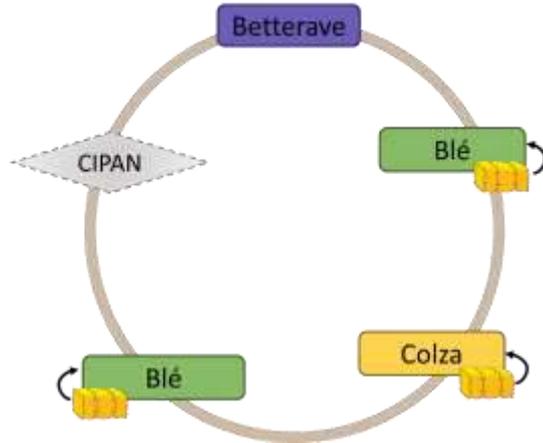
Carte des type de sols des parcelles de M. Eric Buysse, dont de la parcelle d'essai  
(source : CA Aisne - 2015)



# Systèmes betteraviers sur BAC nitrates

## Système témoin en 4 ans

Système betteravier classique de la région



: Pailles restituées

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

- Maximiser la production de matière sèche à exporter (alimentation et biomasse) 
- Maintenir ou améliorer la fertilité organique des sols 
- Limiter les pertes en azote vis-à-vis vis de la pollution des eaux souterraines en nitrates 

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



Fertilité des sols



Emissions GES



Biodiversité

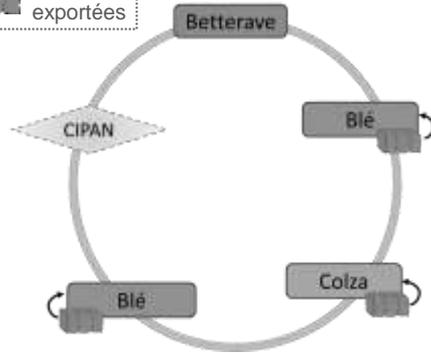


Marges

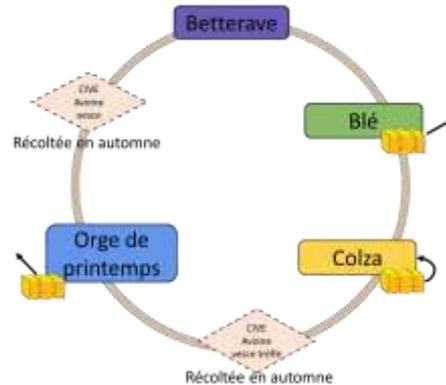


# Déclinaison des systèmes de culture testés

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 de la biomasse**. Pour cela, nous avons :

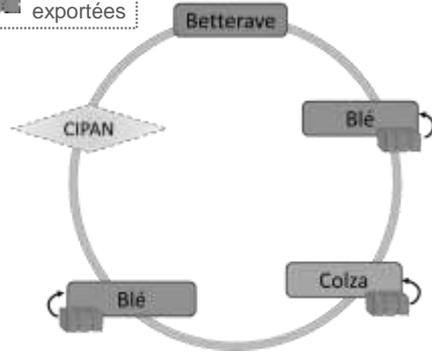
- Conservé 4 cultures alimentaires
- Remplacé un blé par une orge de printemps, pour bénéficier d'une interculture longue
- Intégré 2 CIVE (Culture Intermédiaire à Vocation Energétique)
- Exporté 2 pailles



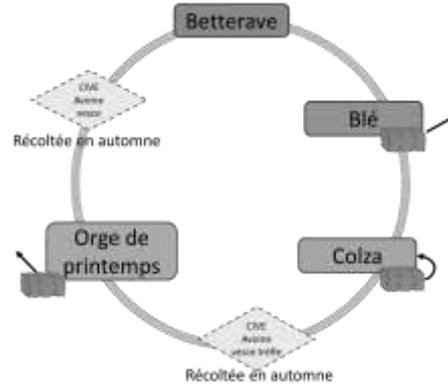


# Déclinaison des systèmes de culture testés

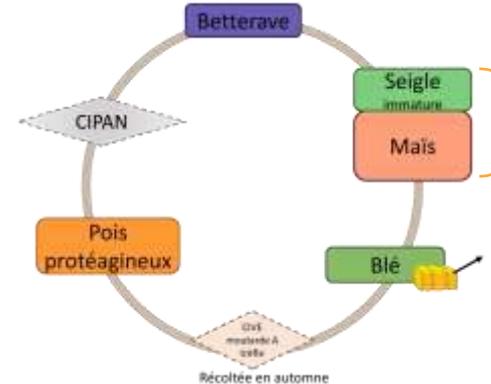
Gradient croissant de production de biomasse



Témoin



Alimentaire prioritaire



Biomasse prioritaire



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

Pour cela, nous avons :

- ① Substitué le colza dont les reliquats sont élevés par un pois protéagineux qui fixe l'azote atmosphérique (objectif de réduction des pertes azotées)
- ① Substitué le blé par une double culture dédiée pour la biomasse
- ① Intégré 1 CIVE
- ① Exporté 1 paille





## 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



- ① Les doubles cultures dédiées à la biomasse
  - Définition
  - Evaluation agronomique
  - Faisabilité technique

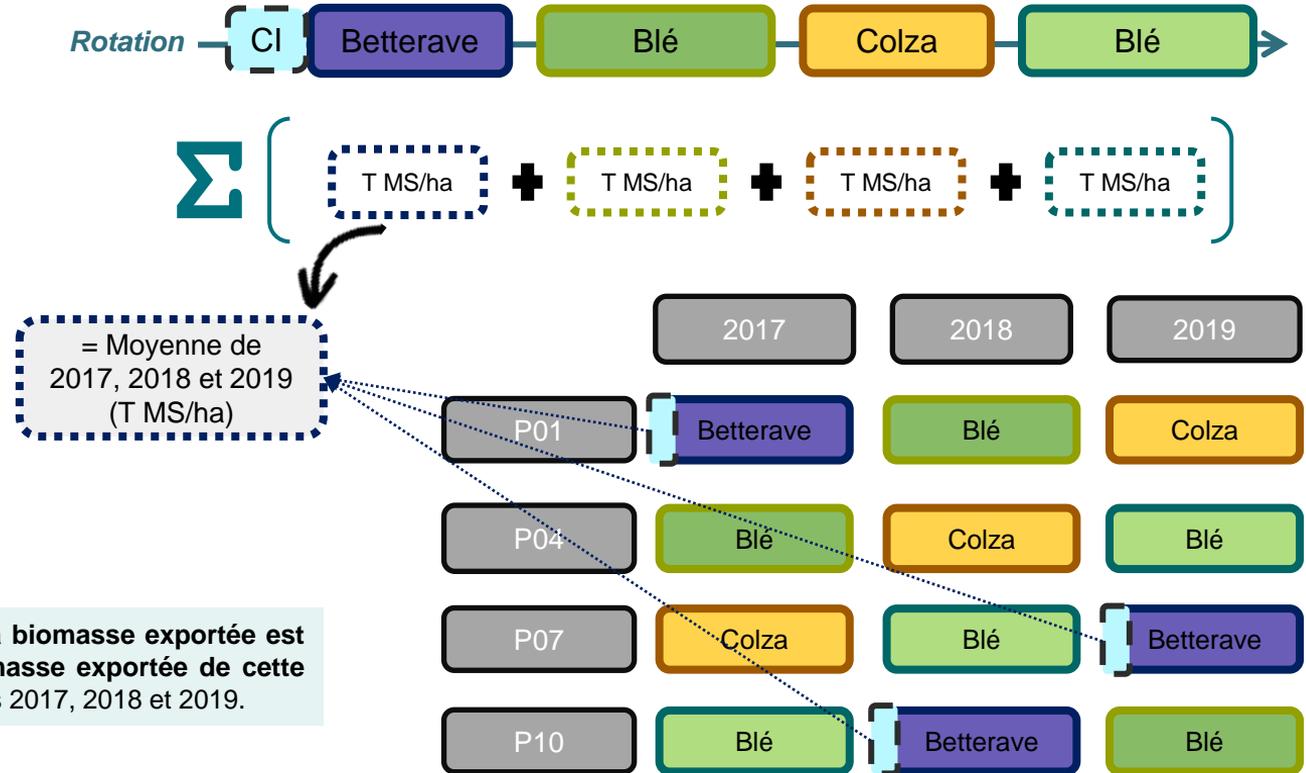
#### III. Comparaison de l'essai « système betterave » avec les autres systèmes suivis dans le réseau de plateformes



Les trois rotations suivis 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)



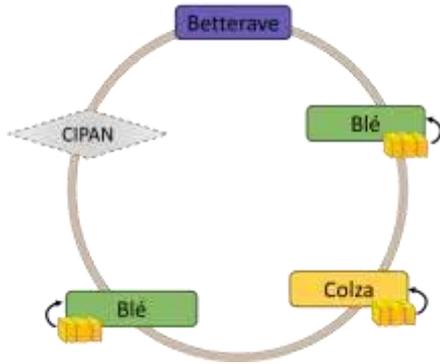
Pour chaque culture de la rotation, la **biomasse exportée est définie par la moyenne de la biomasse exportée de cette culture**, obtenue à partir des données 2017, 2018 et 2019.



# Résultats d'exportation de biomasse

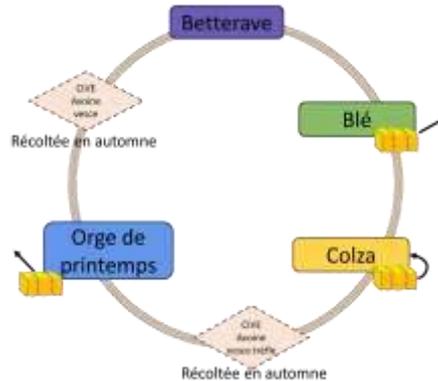
*Hypothèse :*

*Gradient croissant de production de biomasse*



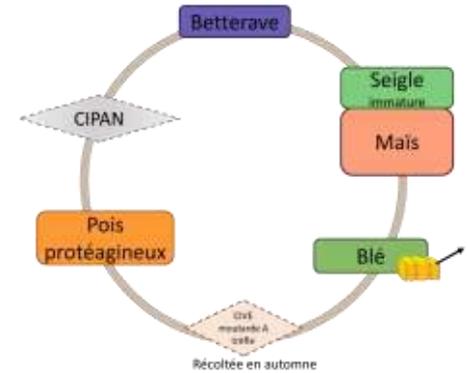
*Témoin*

**49 T MS/ha  
132 T MB/ha**



*Alimentaire prioritaire*

**52 T MS/ha  
133 T MB/ha**



*Biomasse prioritaire*

**66 T MS/ha  
252 T MB/ha**

*Résultats*



**L'objectif de gradient d'exportation de biomasse est atteint avec les systèmes de culture conçus.**

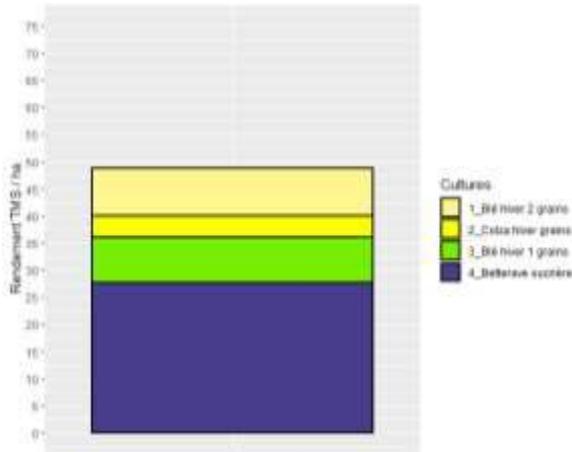
*La suite de cette deuxième partie permet d'approfondir la contribution des cultures à cette production de biomasse et de revenir sur les leviers de production de biomasse.*





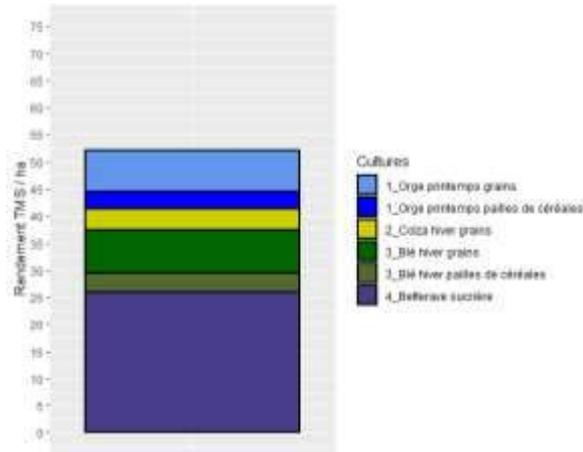
# La contribution des cultures à la biomasse exportée

Cumul de biomasse



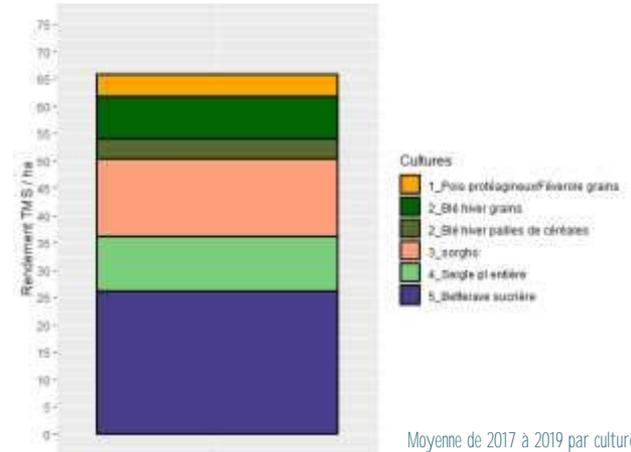
*Témoin*

Cumul de biomasse



*Alimentaire prioritaire*

Cumul de biomasse



*Biomasse prioritaire*

Moyenne de 2017 à 2019 par culture

- ❶ La betterave contribue pour plus de la moitié à la biomasse exportée
- ❶ Les rendements des cultures principales sont conformes aux objectifs\* du pilote (cf. diapo suivante)
- ❶ La quantité de biomasse exportée par le témoin est représentative

- ❶ Pas d'exportation des 2 CIVE
- ❶ La quantité de biomasse exporté avec les pailles d'orge de printemps et de blé est de 7 T MS/ha
- ❶ Les rendements des cultures principales sont conformes aux objectifs\* du pilote (cf. diapo suivante)

- ❶ Pas d'exportation de la CIVE
- ❶ La quantité de biomasse exportée avec la double culture est de 26 T MS/ha
- ❶ Elle est de 3,5 T MS/ha avec les pailles de blé
- ❶ Les rendements des cultures principales conformes aux objectifs\* du pilote (cf. diapo suivante)



# 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	Moyenne rendement pour l'Aisne 2017-2019 (rendement machine)
Betterave	88 T brut/ha	88 T/ha
Blé hiver	90 qx/ ha	86 qx/ha
Colza	45 qx/ha	38 qx/ha
Orge P	70 qx/ha	73 qx/ha
Fév / pois	50 qx/ha	38 qx/ha
Seigle	12 T MS/ha	/
Sorgho	12 T MS/ha	/

\* Rendements aux normes commerciales

## 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 :

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

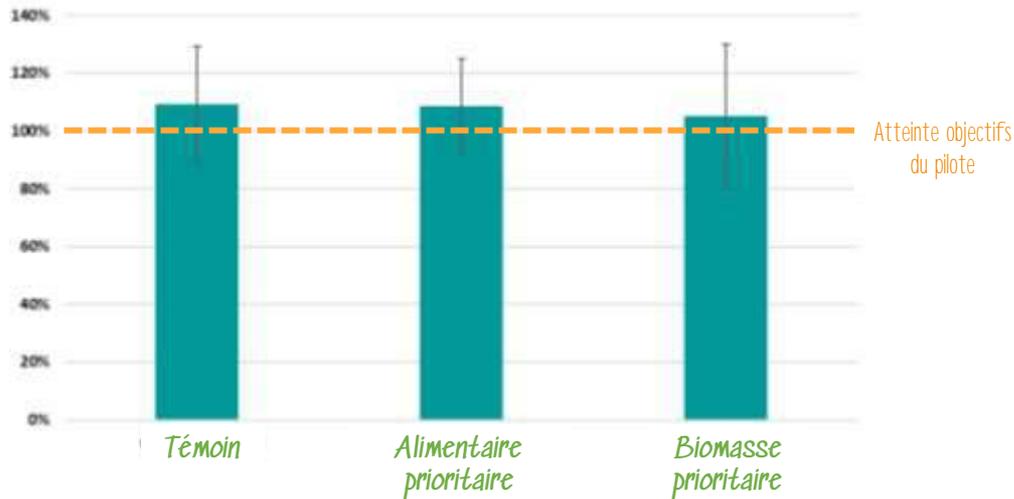
### ❖ Atteinte moyenne des objectifs de rendement du système

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

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

Il met en évidence que **les objectifs de rendement sont atteints 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 biomasse prioritaire, les valeurs varient de 80% à 130% d'atteinte des objectifs de rendement.

Les éléments suivants expliquent plus précisément ces variations :

- En 2017, le rendement de la féverole fut de 28qx/ha au lieu de 50 qx/ha, à cause d'une attaque bruche. La féverole a par la suite été remplacé ensuite par pois protéagineux
- En 2018, le rendement du colza fut de 38qx/ha au lieu de 45 qx/ha. Cela s'explique par les conditions climatiques de l'année (hydromorphie hiver, gel, rayonnement limité, floraison courte)
- En 2019, le rendement du blé derrière betterave fut de 82qx/ha au lieu de 90 qx/ha et celui du blé derrière double culture de 70qx/ha.

# 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 et d'orge
- ❷ Les CIVE d'été (CIVE courtes)
- ❸ La double culture biomasse

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 d'été et de doubles culture.**

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.





# Les cultures intermédiaires à vocation énergétique

Vous  
avez dit « **CIVE** » ?

Dans les systèmes de culture testés, nous avons eu recours aux **CIVE d'été** et à la **CIVE longue à 1 récolte**.

La CIVE longue à une récolte ayant été faite dans le cadre d'une *double culture dédiée* (céréale immature suivie d'une culture biomasse, ici un sorgho), nous présenterons les résultats relatifs à cette CIVE longue dans le levier « double culture dédiée ».

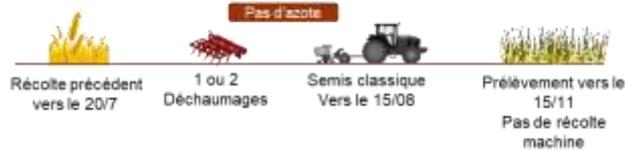
La CIVE, Culture Intermédiaire à Vocation Énergétique, est une culture dérobée, implantée entre deux cultures principales et récoltée en vue d'une valorisation en énergie. Elle peut également avoir d'autres débouchés, en alimentation animale par exemple. On distingue 3 types de CIVE :

- **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 dans les diapos 22 et 24

### 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 Abyssinie + 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

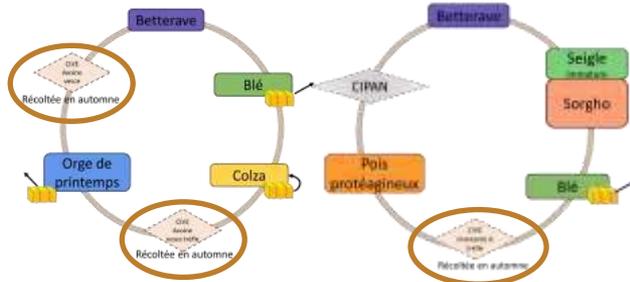


Semis trop tardif de la CIVE derrière ble, orge de printemps et colza  
La réussite de ce levier est très aléatoire : Récolte d'opportunité!

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



# Évaluation agronomique et technique des CIVE d'été



## Itinéraire technique moyen réalisé

Pas d'azote



	Moutarde Abyssinie + trèfle	Avoine + vesce	Avoine + vesce + trèfle
<b>Biomasse totale</b> (placettes)	<b>1,3 T MS/ha</b> [0,5-1,5 T]	<b>1,7 T MS/ha</b> [1,5-1,9 T]	<b>2,7 T MS/ha</b> [2,2-2,9 T]
<b>Production de méthane</b>	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

Le seuil de rentabilité de récolte ayant été fixé à 3 T MS/ha (cf. [guide sur la production de CIVE](#)), les rendements présentés correspondent à des rendements placettes, puisqu'il n'y a pas eu de récolte machine.

- ❗ La durée du cycle court (95j), le cumul de températures (1290°Cj), et de rayonnements sont trop faibles pour faire de la biomasse → dates de semis trop tardives
- ❗ Les légumineuses sont très peu présentes → dates de semis trop tardives
- ❗ Aucune fertilisation n'a été réalisée → possible stress azoté certaines années
- ❗ Beaucoup de problèmes de repousses notamment derrière colza malgré les déchaumages



Semis trop tardif de la CIVE derrière le blé, l'orge de printemps et le colza.  
La réussite de ce levier est très aléatoire. Il faut considérer la récolte de la culture intermédiaire comme une récolte d'opportunité!

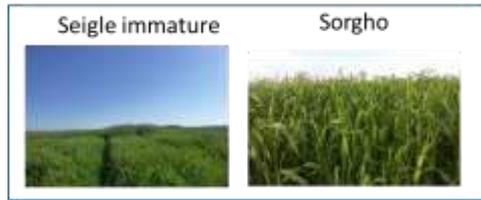
## POUR ALLER PLUS LOIN

Découvrez notre espace dédié à la production de CIVE  
<http://www.agro-transfert-rt.org/filabiom/outils/production/cive/>



# La double culture dédiée

Dans le système de culture *biomasse prioritaire*, la double culture dédiée testée est une succession d'un seigle suivi d'un sorgho.



Les résultats obtenus sont présentés ci-après.

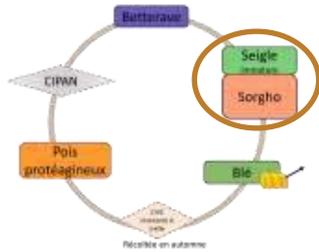
Vous avez dit « *double culture dédiée* » ?

- ① Il s'agit de la production de deux cultures biomasses\* en un an, dédiées à une valorisation énergétique (ou à une valorisation fourragère si besoin).
- ① C'est la succession d'une culture d'hiver récoltée précocement au printemps (céréales immatures seules ou en mélange avec des légumineuses), suivie d'une deuxième culture à cycle court (maïs, sorgho...), implantée directement et récoltée en début d'automne afin de permettre une culture alimentaire l'année suivante.

\* réglementairement, il faudra déclarer une des 2 cultures en culture principale



# Évaluation agronomique de la double culture biomasse



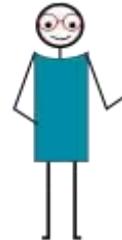
## Itinéraire technique moyen réalisé



	Seigle	Sorgho	La double culture
<b>Biomasse exportée</b> (placette)	<b>10 T MS/ha</b> [10-11 T]	<b>16 T MS/ha</b> [15-18 T]	<b>26 T MS/ha</b>
<b>Production de méthane</b>	<b>2950 m<sup>3</sup> Ch<sub>4</sub>/ha</b>	<b>4190 m<sup>3</sup> Ch<sub>4</sub>/ha</b>	<b>7140 m<sup>3</sup> Ch<sub>4</sub>/ha</b>

❶ **Le seigle** : rendement stable chaque année. Il est productif avec une conduite simplifiée (aucune intervention phyto) → implantation rapide (couvre vite le sol), reprise rapide de la végétation en sortie d'hiver, espèce rustique (notamment les variétés hybrides).

❶ **Le sorgho** : il atteint une bonne production malgré les conditions parfois sèches (à noter la parcelle a une réserve utile importante !) → Une fois bien implanté, le sorgho tolère assez bien la sécheresse. Dans certaines conditions, le labour peut favoriser son implantation.



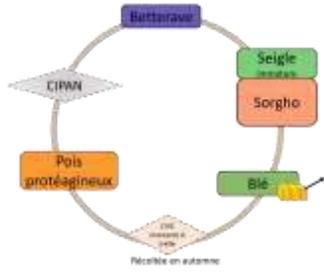
La double culture permet une production de biomasse élevée avec une date de récolte du seigle vers le 15/05, et une implantation du sorgho dans la foulée. Attention toutefois, un effet sur le rendement du blé suivant a pu être observé certaines années.

## POUR ALLER PLUS LOIN

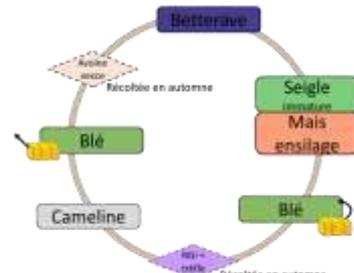
Découvrez notre espace dédié à la production de doubles cultures  
<http://www.agro-transfert-rt.org/filabiom/outils/production/double-culture/>



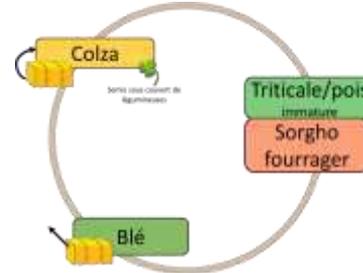
# Exportation de biomasse en comparaison aux autres plateformes



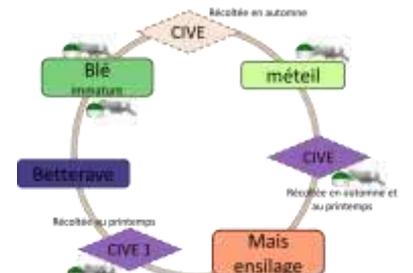
**Système betterave (02)**



**Système betterave (80)**



**Système SCOP (80)**



**Système polyculture-élevage (60)** 27

Cumul d'exportation de biomasse atteint pour chacun des systèmes  
Biomasse prioritaire testés dans le réseau de plateformes

Biomasse prioritaire	Sur 4 ans
Système betterave (02) <i>Limon profond</i>	66 T MS/ha
Système betterave (80) <i>Limon argileux</i>	46 T MS/ha
Système SCOP (80) <i>argilo-calcaire</i>	45 T MS/ha
Système polyculture-élevage (60) <i>Limon argileux profond</i>	61 T MS/ha



**Attention !** Les contextes pédoclimatiques et les systèmes de culture sont différents entre les plateformes. L'objectif n'est donc pas de les comparer entre eux, mais bien d'avoir une idée des niveaux de biomasse atteignables dans différentes conditions.

Quelques éléments d'analyses :

- ↳ Les systèmes avec de la betterave exportent beaucoup : 25-30 T MS exporté avec la betterave sucrière
- ↳ SCOP (80) : le rendement de la double culture est moins bon qu'à Landifay - très variable d'une année à l'autre, allant de 9 à 22 T MS/ha (parcelle avec un potentiel moindre et une réserve utile inférieure)
- ↳ Betterave (80) : 1 seule récolte du ray-grass (de 4 T MS/ha) et pas d'exportation de caméline (implantation derrière RGI compliquée).
- ↳ polyculture-élevage (60) : betterave fourragère → rendement moindre que betterave sucrière en MS : 14-17 T MS/ha avec betterave fourragère



## Partie 3

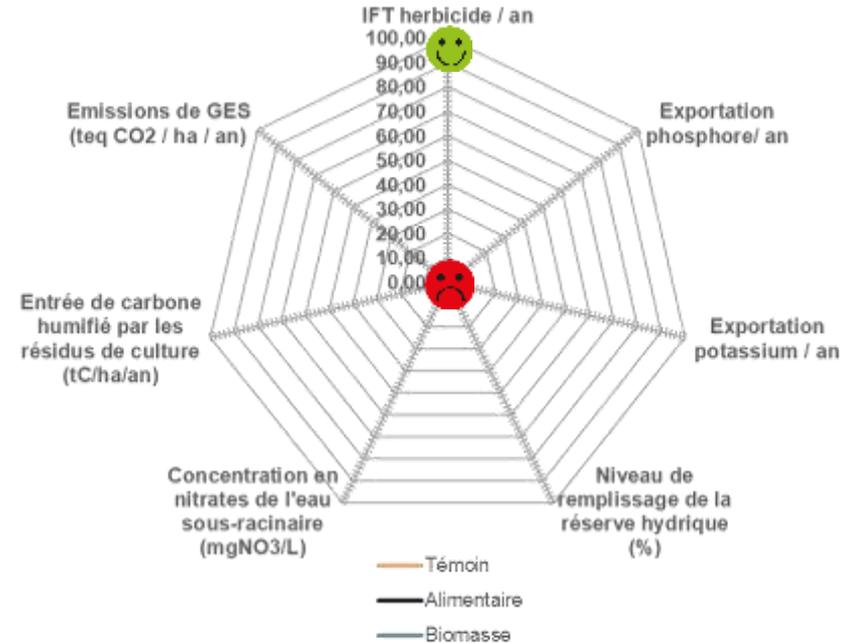
### Conséquences agronomiques et environnementales des modifications du système et de l'exportation supérieure de biomasse

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

- 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*).
- Chaque axe correspond à un indicateur, pour lequel :
  - La borne **0** est la **moins bonne performance** 😞
  - La borne **100** est la **meilleure performance** 😊
- 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).
- 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)

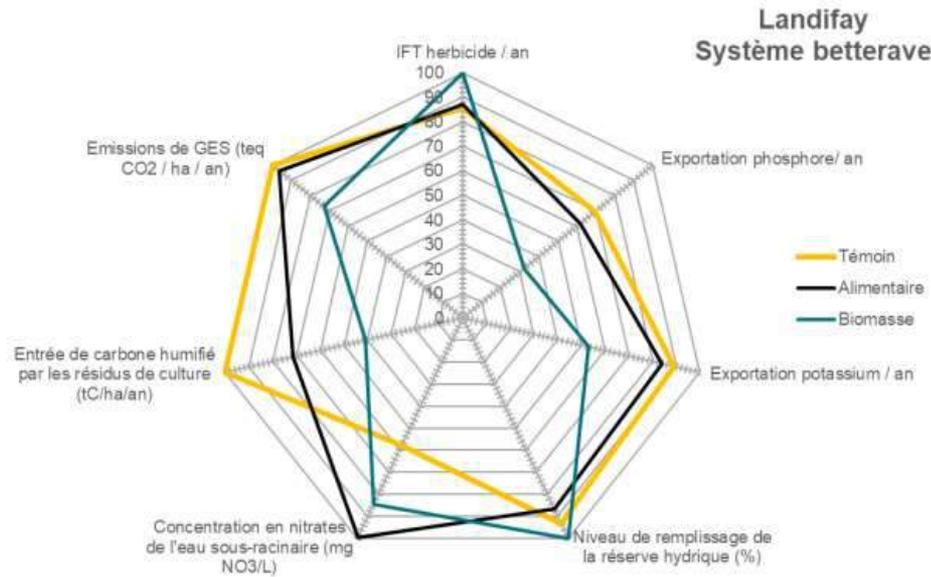
#### Exemple avec l'IFT Herbicide (H) de la rotation

- l'IFT H maxi des PF = 10,6 → 0% (moins bonne performance)
- l'IFT H mini des PF = 4,1 → 100% (meilleure performance)
- 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 = 5 → 82%

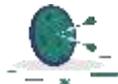


Les bornes sont issues des résultats des 18 systèmes, avec de systèmes très différents et donc difficilement comparables entre eux. **Le graphique radar sert essentiellement à comparer relativement les 3 scénarios de la plateforme.** On ne s'attardera donc pas tant à comparer les valeurs absolues de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

# Les résultats environnementaux



	Borne valant 100 %	Borne valant 0 %
IFT herbicide	1/an	2,7/an
Exportation phosphore	33 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha/an	83 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha/an
Exportation potassium	40 kg K <sub>2</sub> O/ha/an	338 kg K <sub>2</sub> O/ha/an
Niveau de remplissage de la réserve hydrique en entrée hiver	97%	82%
Concentration en nitrates de l'eau sous-racinaire	56 mgNO <sub>3</sub> /L	14 mgNO <sub>3</sub> /L
Entrée de carbone humifié par les résidus de culture	2,3 TC/ha/an	1 TC/ha/an
Emissions de GES	3 TCO <sub>2</sub> /ha/an	5 TCO <sub>2</sub> /ha/an



Les performances environnementales sont plutôt favorables sur la majeure partie des indicateurs étudiés pour les 3 systèmes de la plateforme de Landifay.

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

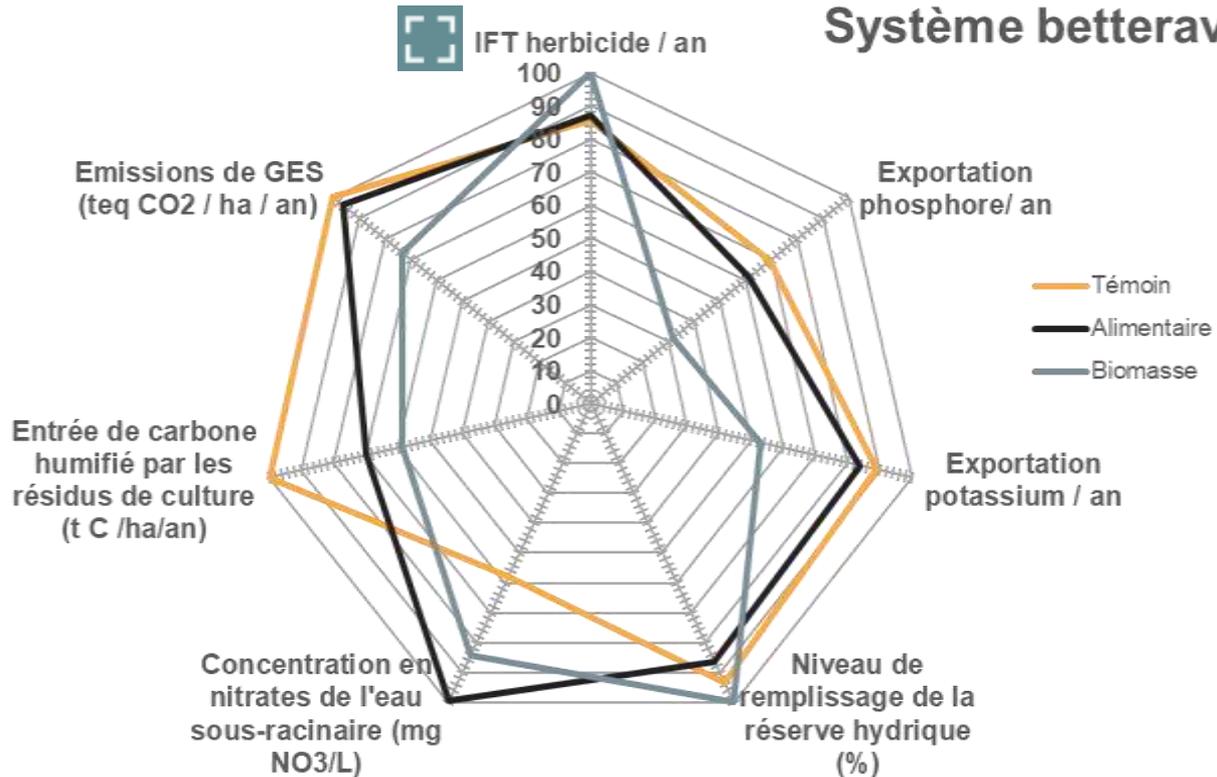
- ❶ Une première diapo où le graphique radar permet d'identifier l'indicateur qui va être présenté, les bornes utilisées pour construire le radar et le positionnement des 3 scénarios sur cet axe.
- ❷ Une deuxième diapo expliquant la méthode utilisée pour calculer l'indicateur et ce que l'indicateur peut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



*Zoom indicateur*

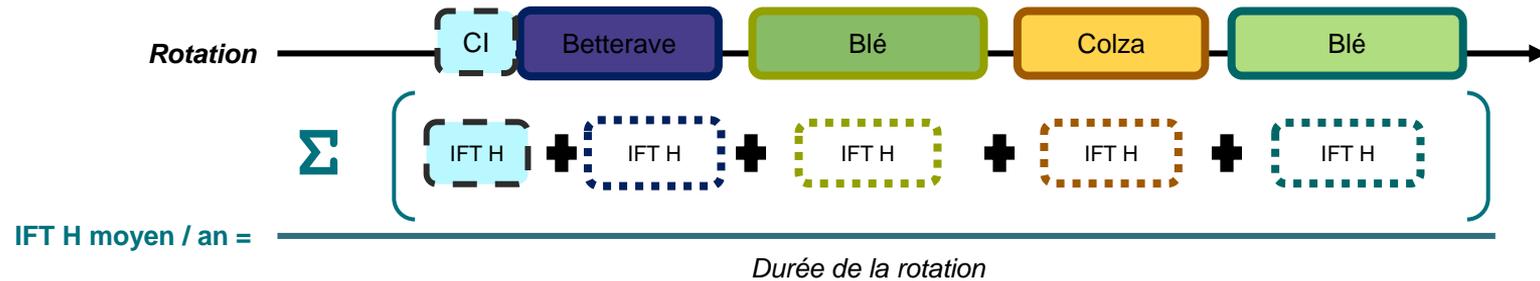
# Résultats IFT herbicide de la rotation

## Landifay Système betterave



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

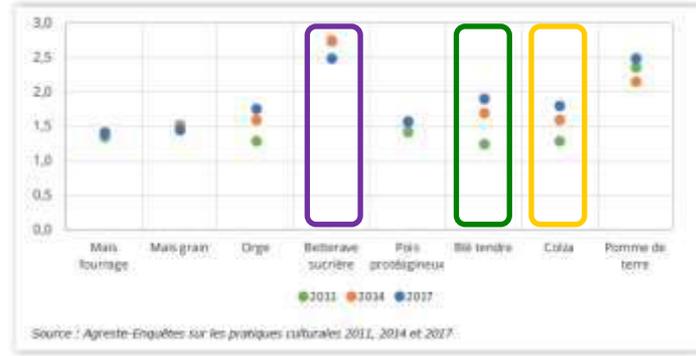
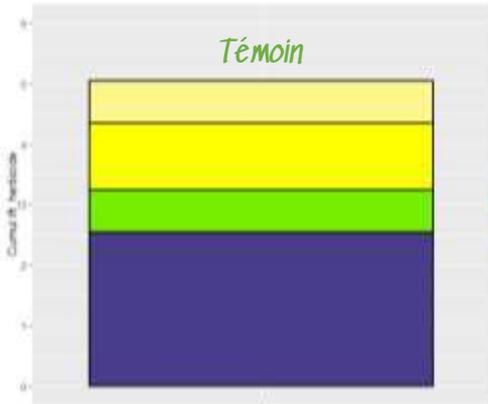
- ① L'Indice de Fréquence de Traitement (IFT) herbicide caractérise les pratiques de protection des cultures vis-à-vis **des adventices** (intensité d'utilisation des produits phytosanitaires à l'échelle de la rotation)
- ① Il correspond aux nombres de doses homologuées de produits phyto appliquées à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



Source : Agreste-Enquêtes sur les pratiques culturales 2011, 2014 et 2017.

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

	IFT H	Références régionales 2017
Bh	0,7	1,9
Ch	1,1	1,8
BS	2,5	2,5
Cumul pour une même rotation	5	8,1

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

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



En cumul, pour la même rotation et en réalisant un cumul des références, **l'IFT H est de 8 tandis qu'il est de 5 pour le système *Témoin*.**

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

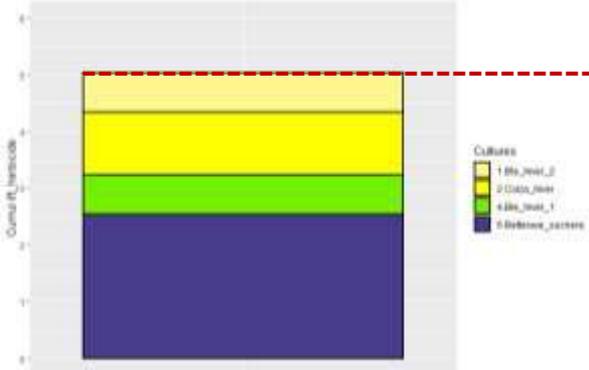
Ce résultat s'explique par :

- ⊕ Une parcelle sans problème de salissement historique
- ⊕ Une conduite intégrée de l'agriculteur de la plateforme



# Résultats IFT herbicide de la rotation

Témoin

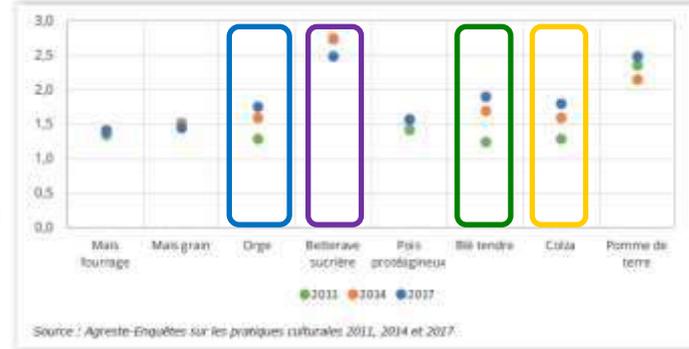


Alimentaire prioritaire



**Le système alimentaire est équivalent au témoin**

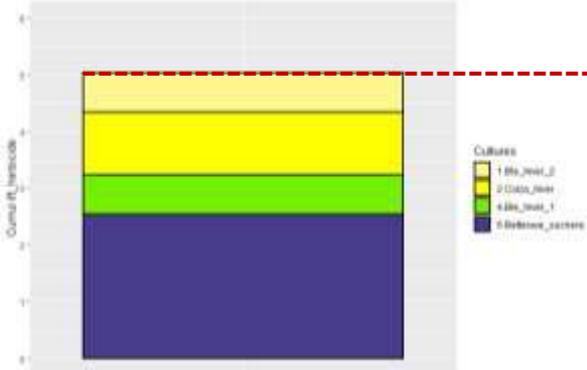
- ⦿ Les IFT H des cultures sont inférieurs aux références régionales.
- ⦿ Pas de désherbage sur CIVE.



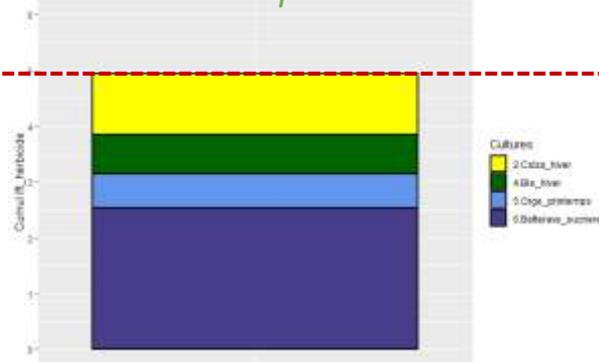
Hauts-de-France : évolution de l'IFT herbicide en 2011, 2014 et 2017 (Agreste)

# Résultats IFT herbicide de la rotation

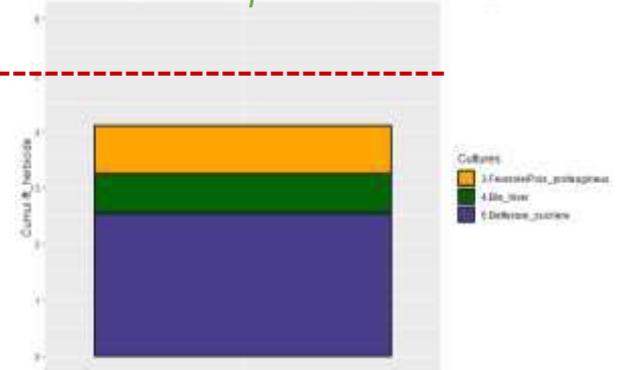
Témoin



Alimentaire prioritaire



Biomasse prioritaire



Le système *biomasse prioritaire* présente le cumul d'IFT H le plus faible, du fait du non désherbage chimique de la double culture.

« RETOUR D'EXPERIENCE DE NICOLAS JULLIER »

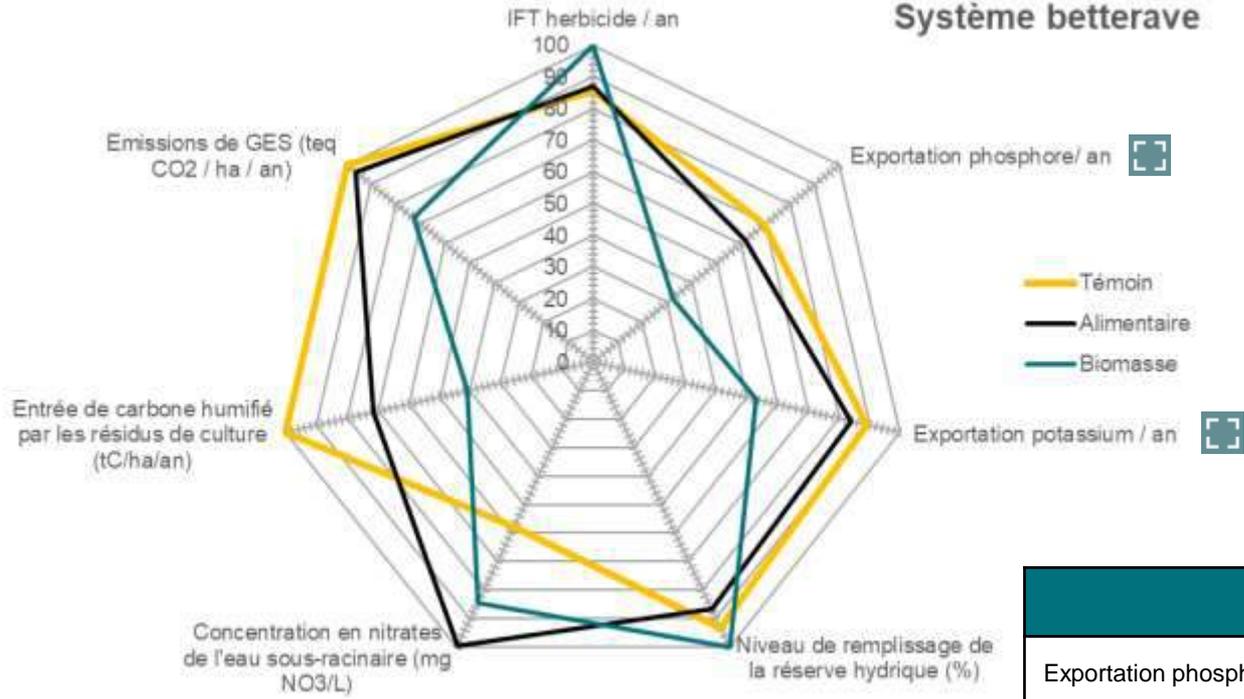


Même si le cumul d'IFT Herbicide est plus faible pour le moment pour ce système biomasse prioritaire, le pilote de la plateforme voit, en tendance, une augmentation du salissement des parcelles : une pression en chénopodes qui monte dans le sorgho et qui pourrait amener à désherber le sorgho à plus long terme...



# Les résultats environnementaux : exportation P et K

## Landifay Système betterave



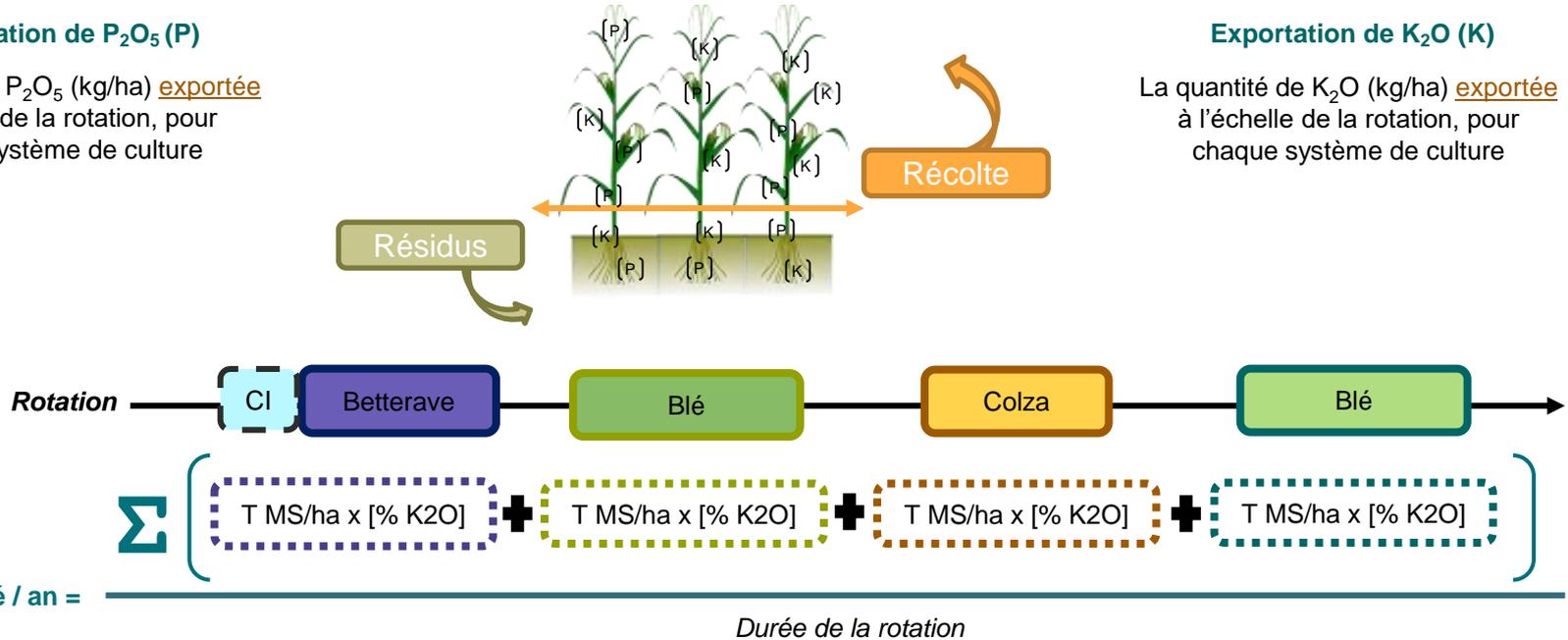
	Borne valant 100 %	Borne valant 0 %
Exportation phosphore	33 kg P2O5/ha/an	83 kg P2O5/ha/an
Exportation potassium	40 kg K2O/ha/an	338 kg K2O/ha/an

## 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



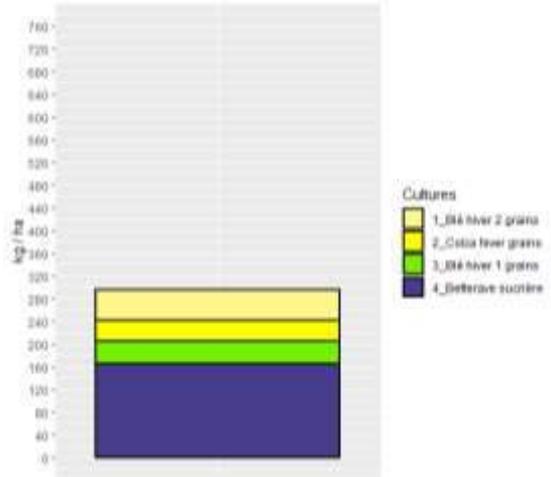
### Ce que nous disent les valeurs de P et K exportés :

- 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.

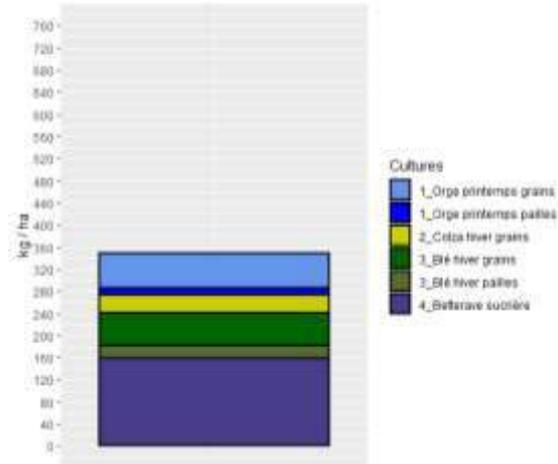


# Exportation totale de potassium pour la rotation par hectare

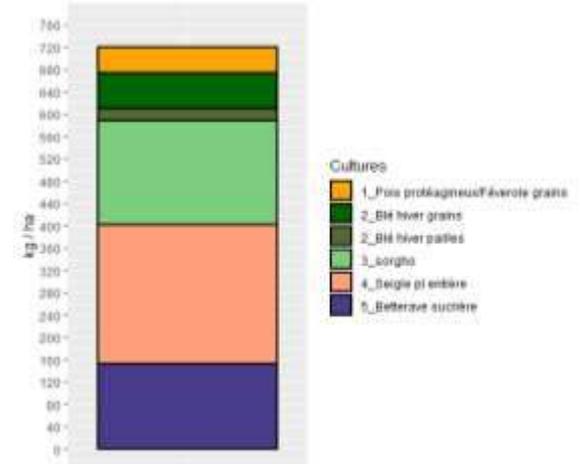
Témoin



Alimentaire prioritaire



Biomasse prioritaire

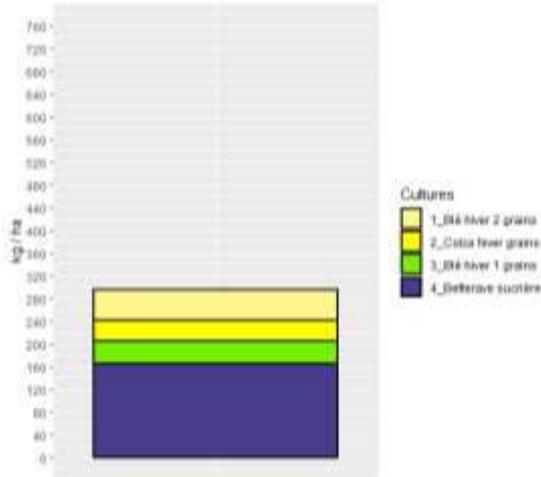


Exportation de  $K_2O$

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.

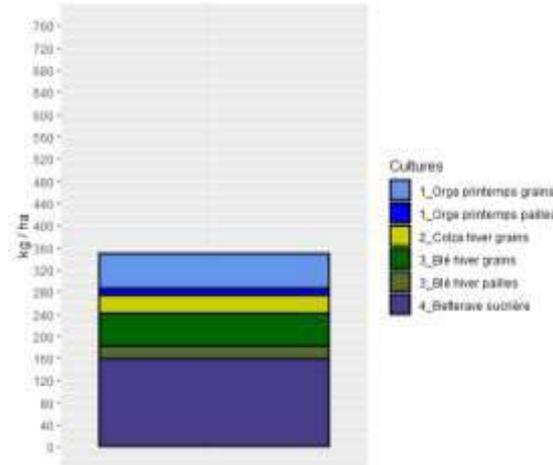
# Exportation de potassium par tonne de biomasse exportée

Témoin



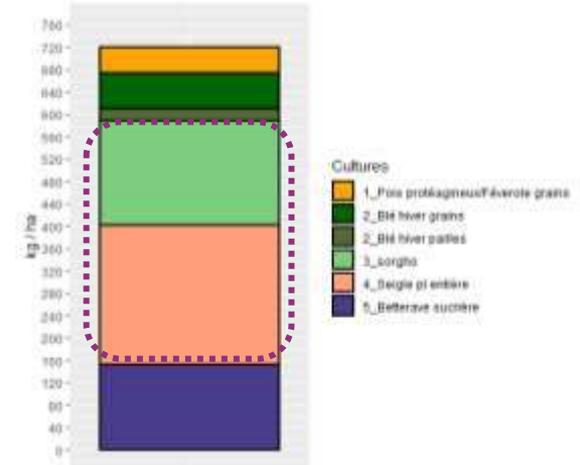
Exportation de 5,9 kg/ T MS

Alimentaire prioritaire



Exportation de 6,7 kg/ T MS

Biomasse prioritaire



Exportation de 9,9 kg/ T MS

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



«

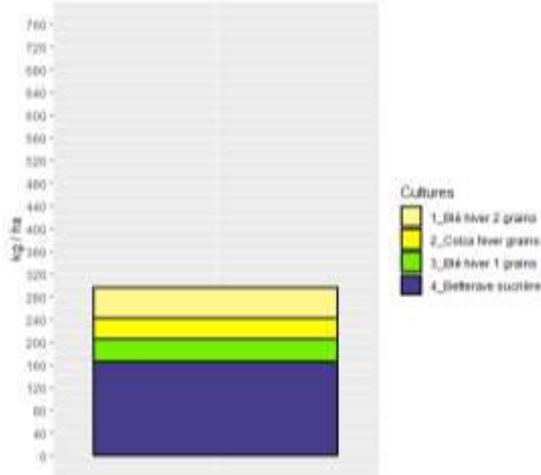
Les cultures « sans résidus » de type maïs ensilé, céréales avec pailles exportées... abaissent de manière sensible la biodisponibilité du K dans le sol du fait, qu'après avoir prélevé de grandes quantités de K, elles n'en restituent que très peu.

« Comifer »

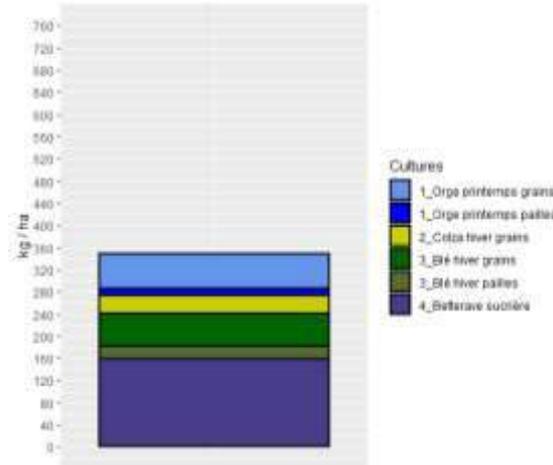
»

# Résultats exportation de potassium de la rotation

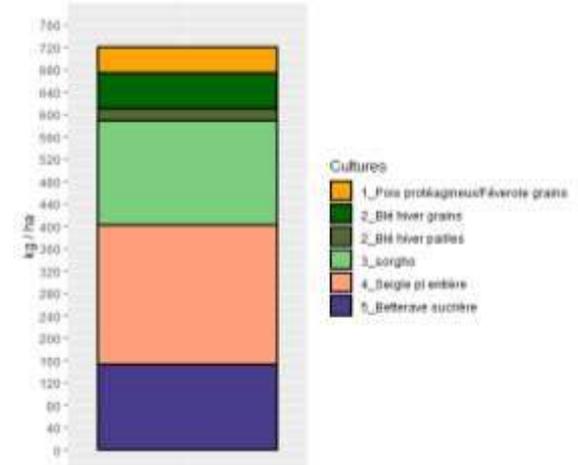
Témoin



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 plantes entières** (cas du système BP) on exporte beaucoup de  $K_2O$ / T MS



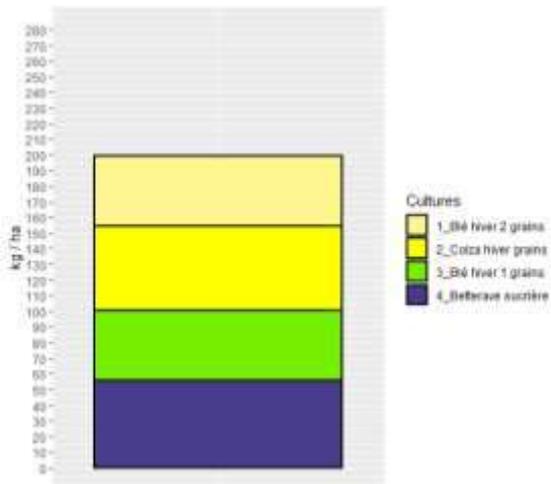
Des apports de fertilisation  $K_2O$  sont nécessaires pour compenser les exportations importantes liées à l'exportation de plantes entières.

« 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. »

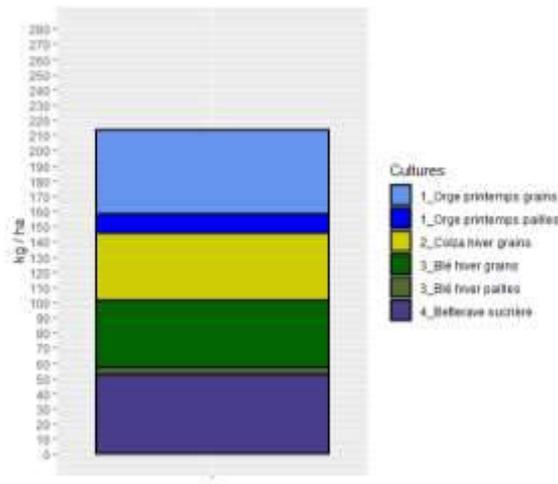
« Comifer » »

# Exportation totale de phosphore pour la rotation par hectare

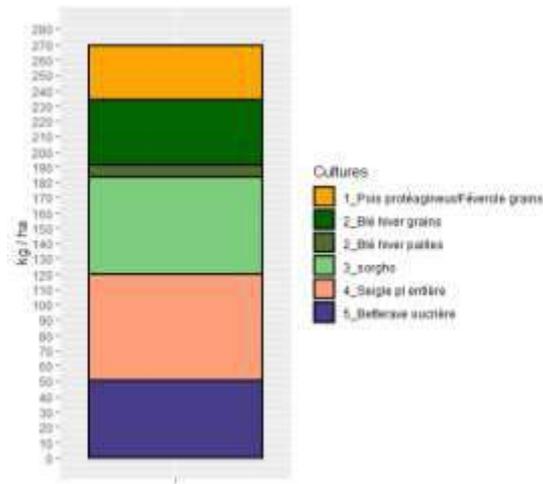
Témoin



Alimentaire prioritaire



Biomasse prioritaire

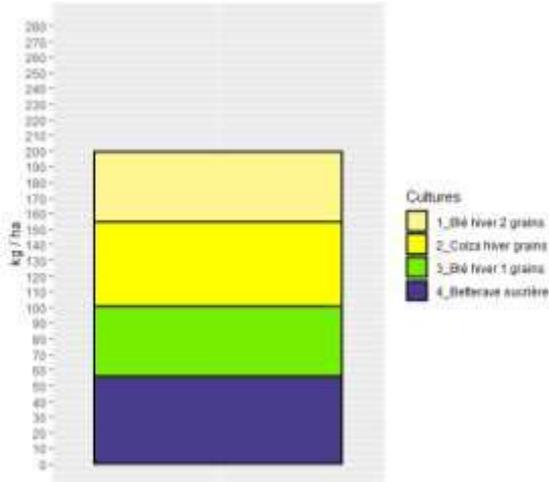


Exportation de  $P_2O_5$

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.

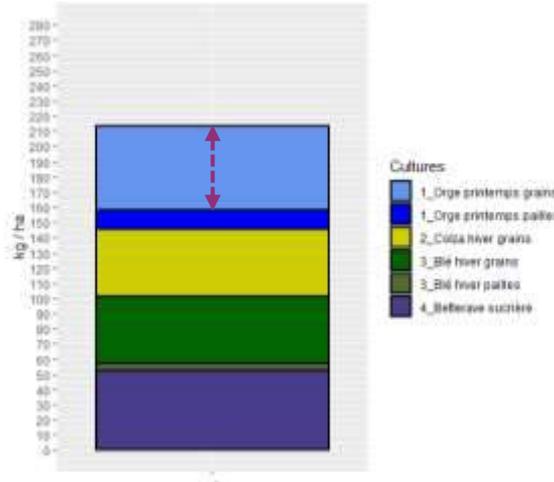
# Exportation de phosphore par tonne de biomasse exportée

Témoin



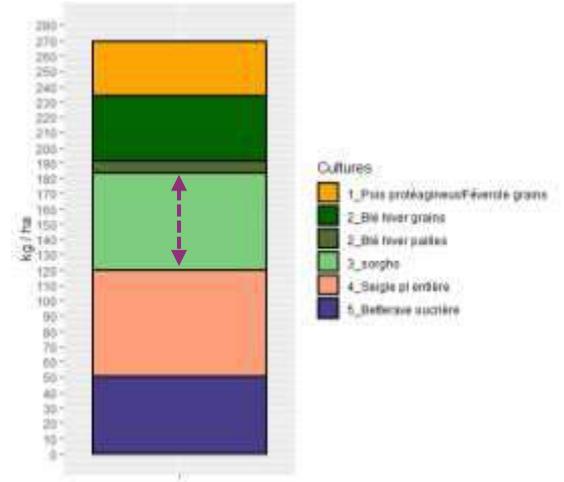
Exportation de 4,1 kg/ T MS

Alimentaire prioritaire



Exportation de 4,1 kg/ T MS

Biomasse prioritaire



Exportation de 3,7 kg/ T MS

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

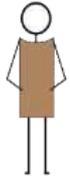
En revanche, ramenée à la tonne de matière sèche exportée, la quantité de phosphore exportée est inférieure dans le scénario *Biomasse prioritaire* par rapport aux scénarios *Témoin* et *Alimentaire prioritaire*.

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.



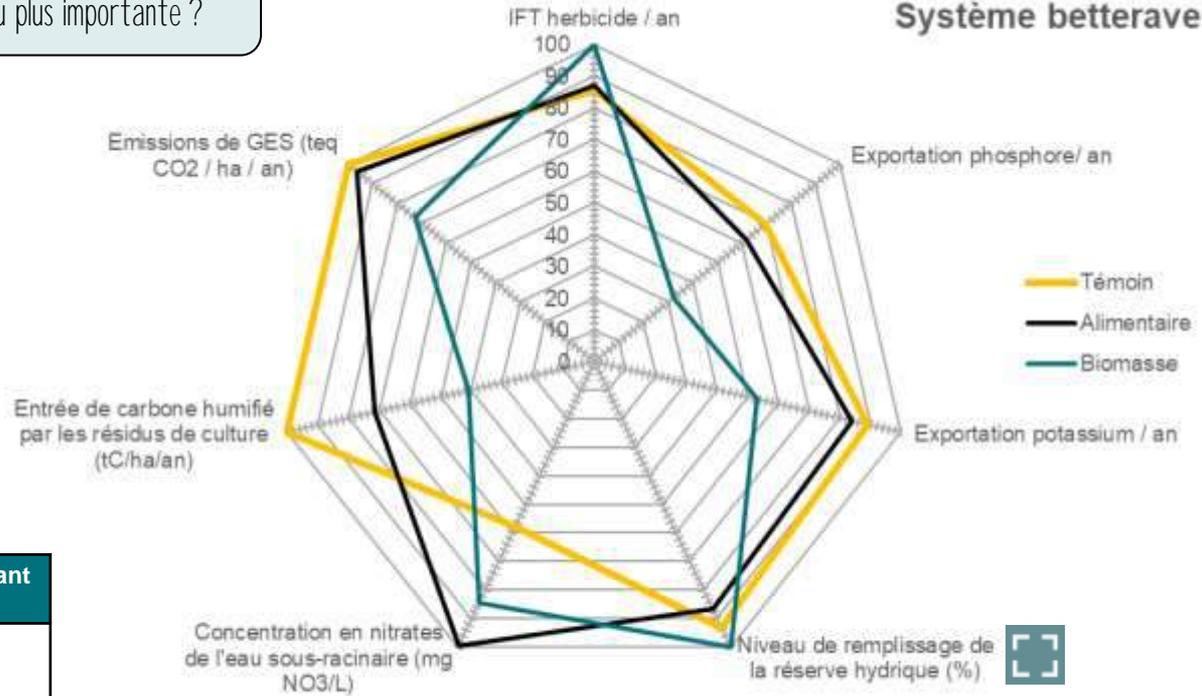
La quantité de P exportée à l'hectare étant supérieure en biomasse prioritaire, cette rotation nécessitera des apports supplémentaires de fertilisation  $P_2O_5$ .

# Les résultats environnementaux : réserve hydrique



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

Landifay  
Système betterave



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



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



**Niveau de remplissage de la réserve hydrique en entrée hiver (%)**



Réserve hydrique en entrée hiver



Réserve hydrique totale du sol



Reliquat entrée hiver

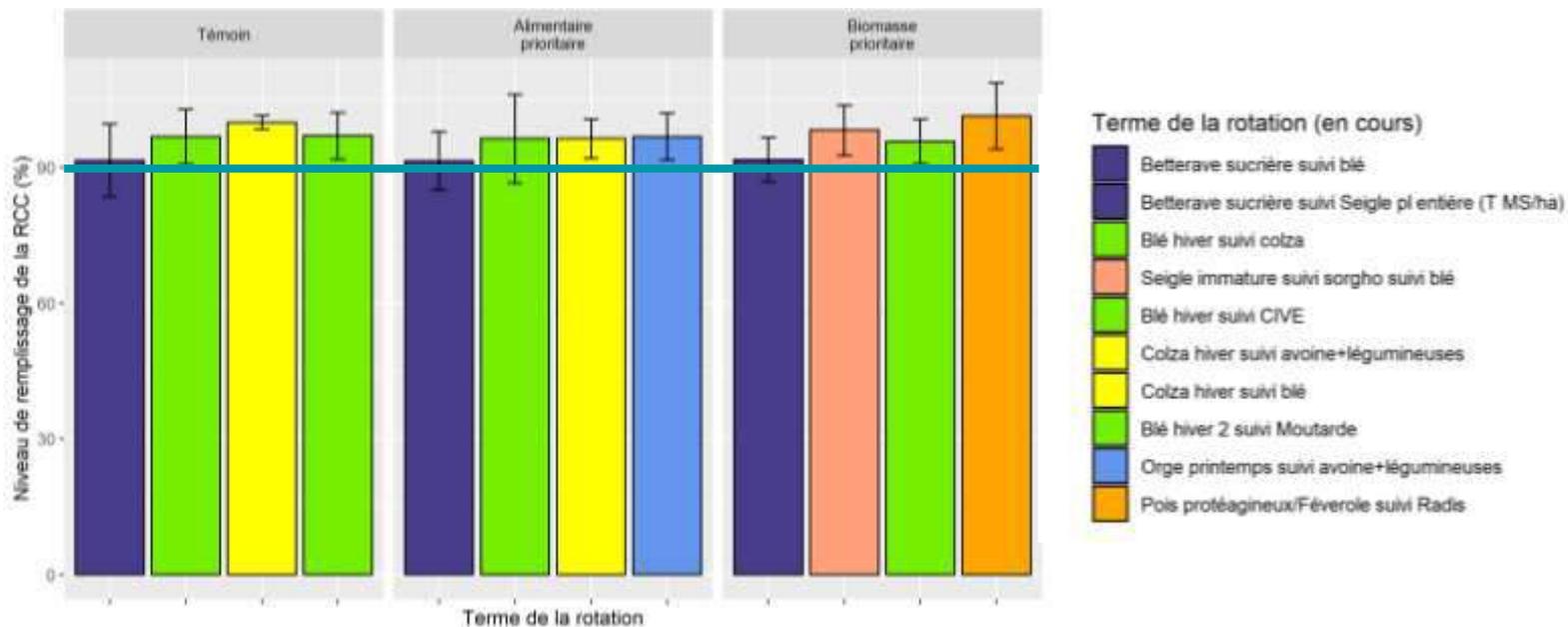


Le niveau de remplissage est obtenu en comparant la réserve hydrique en entrée hiver à la réserve totale du sol en entrée hiver.

#### Un niveau faible peut traduire :

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

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



Détail de niveau de remplissage pour chaque terme des systèmes



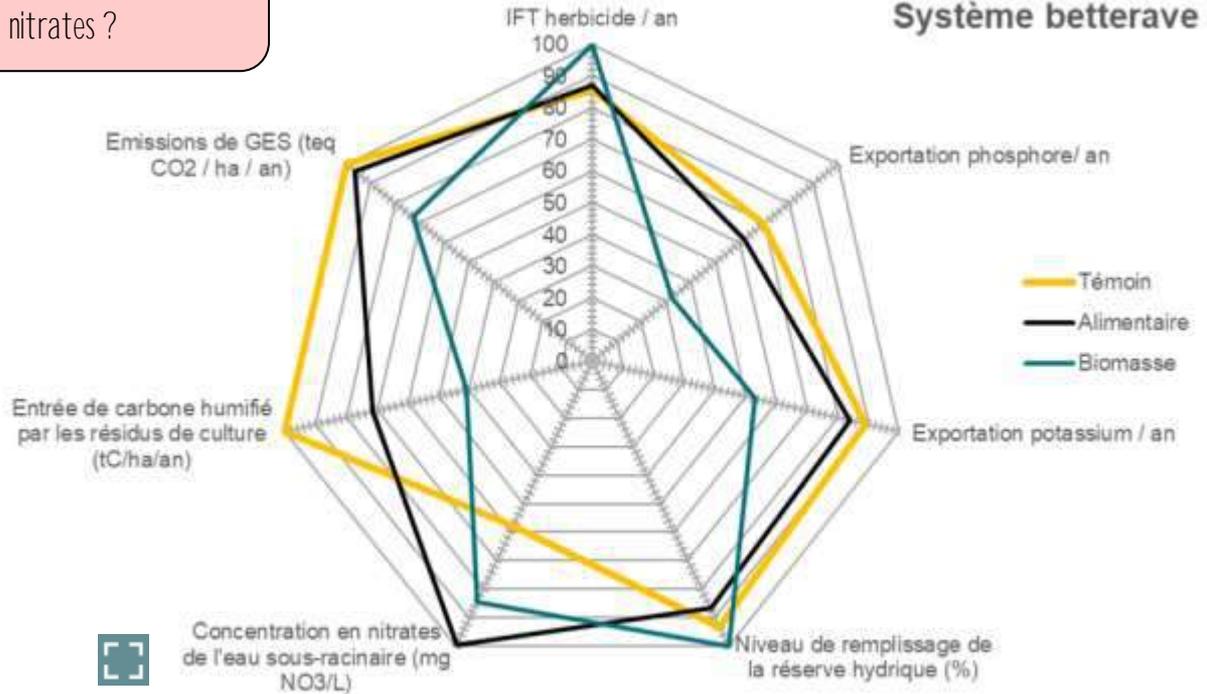
Nous avons considéré un seuil de 90% de niveau de remplissage pour déterminer un niveau critique. Etant donné que les moyennes des niveaux de remplissage ne descendent pas sous ce seuil, nous pouvons conclure **qu'il n'y a pas eu de niveau critique de la réserve hydrique en entrée d'hiver pour aucune 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 : nitrates



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 ?

## Landifay Système betterave



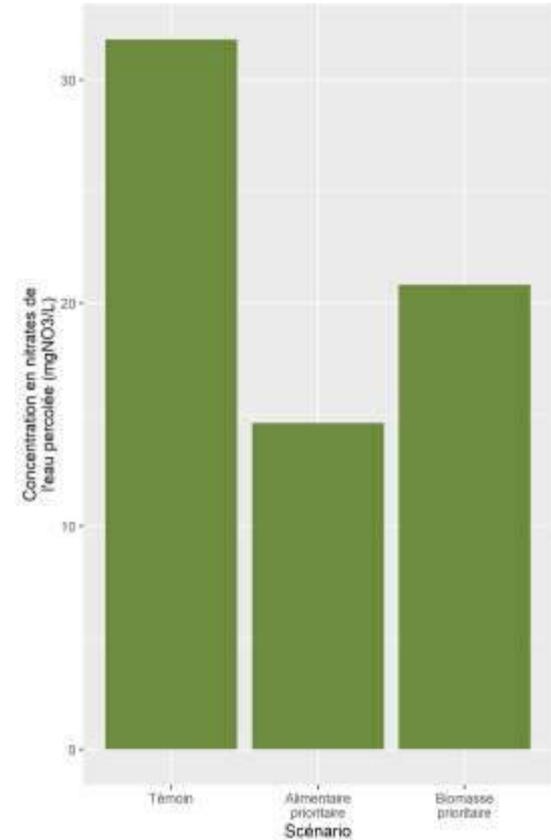
	Borne valant 100 %	Borne valant 0 %
Concentration en nitrates de l'eau sous-racinaire	56 mgNO3/L	14 mgNO3/L

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



Le témoin présente la concentration la plus élevée. Le seuil réglementaire du BAC (50 mg/L) est respecté à l'échelle de la rotation.

Ces résultats interpellent et nous allons chercher à les approfondir, en repartant de la méthodologie de calcul de cet indicateur et des valeurs qui nous ont amenés à des niveaux de concentrations.



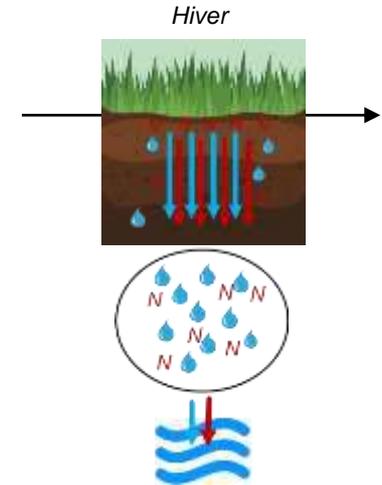
Concentration moyenne par scénario\*

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

=

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

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



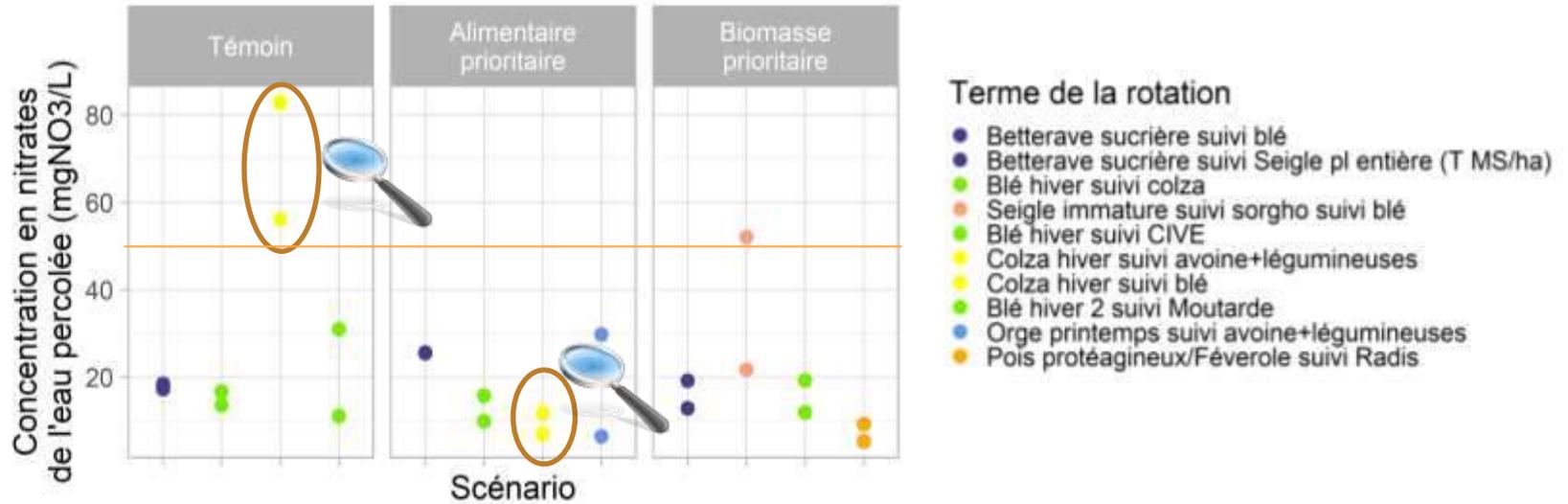
Une concentration élevée :

- 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.

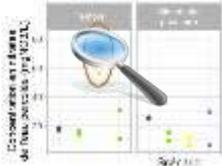
# Résultats concentration en nitrates de l'eau sous-racinaire



Concentrations pour chaque terme de chaque scénario

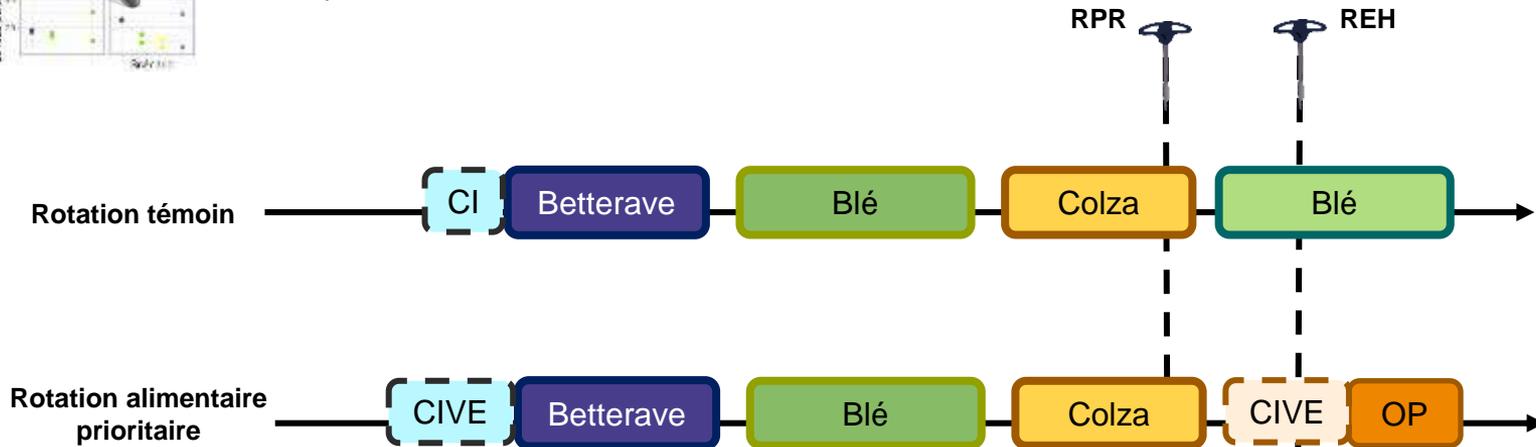
Ce graphique montre les niveaux de concentrations qui ont été obtenus pour chaque culture sur les deux années étudiées. Ce sont les colzas dans le scénario témoin qui présentent les concentrations les plus élevées, expliquant la concentration moyenne élevée de ce scénario. Or les colzas du scénario alimentaire prioritaire présentent des concentrations très faibles. Nous allons chercher à comprendre cette différence à l'aide des reliquats entrée hiver, sachant que la **différence entre les deux est la présence d'un couvert d'interculture type CIVE après le colza dans le scénario alimentaire.**

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



## Zoom sur les concentrations élevées après le colza témoin

Pour les périodes hivernales 2017-2018 et 2018-2019



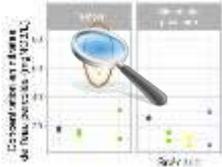
Vous avez dit « RPR » ?

Il s'agit du Reliquat Post-Récolte, mesuré juste après la récolte, qui va permettre de quantifier l'azote présente dans le sol à cet instant. Il est exprimé en kgN/ha.

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.

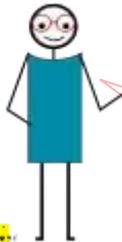
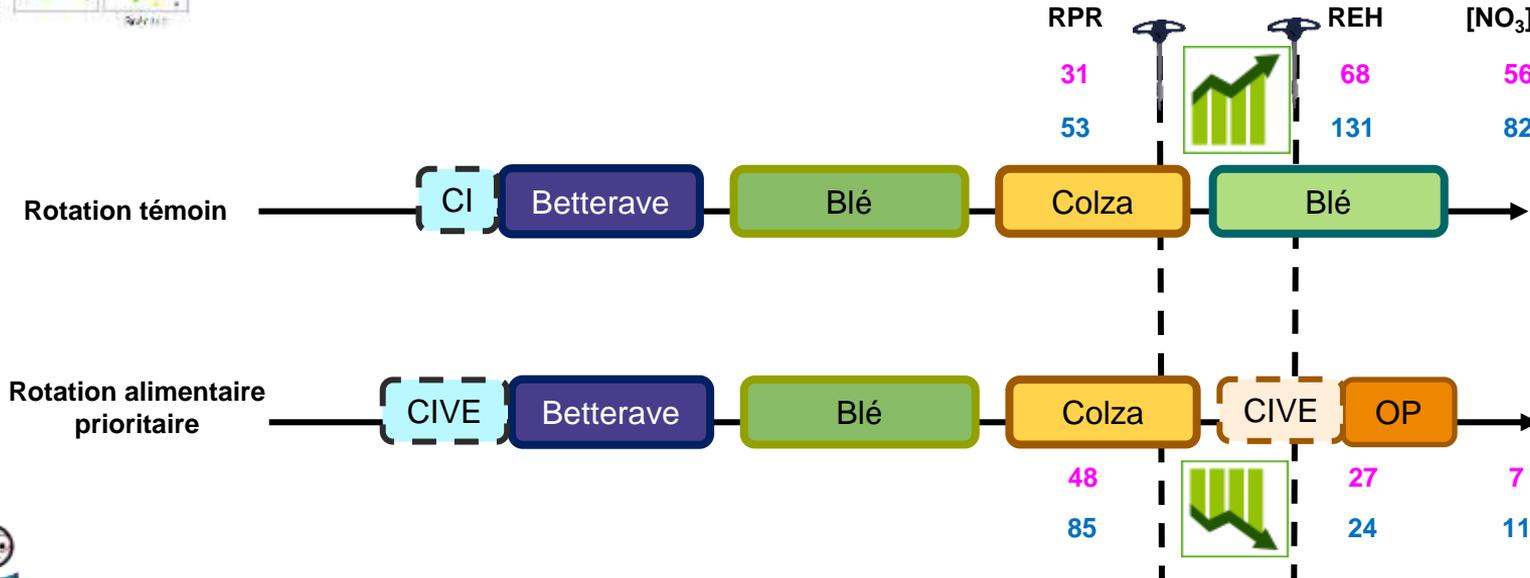
# Résultats concentration en nitrates de l'eau sous-racinaire



## Zoom sur les concentrations élevées après le colza témoin

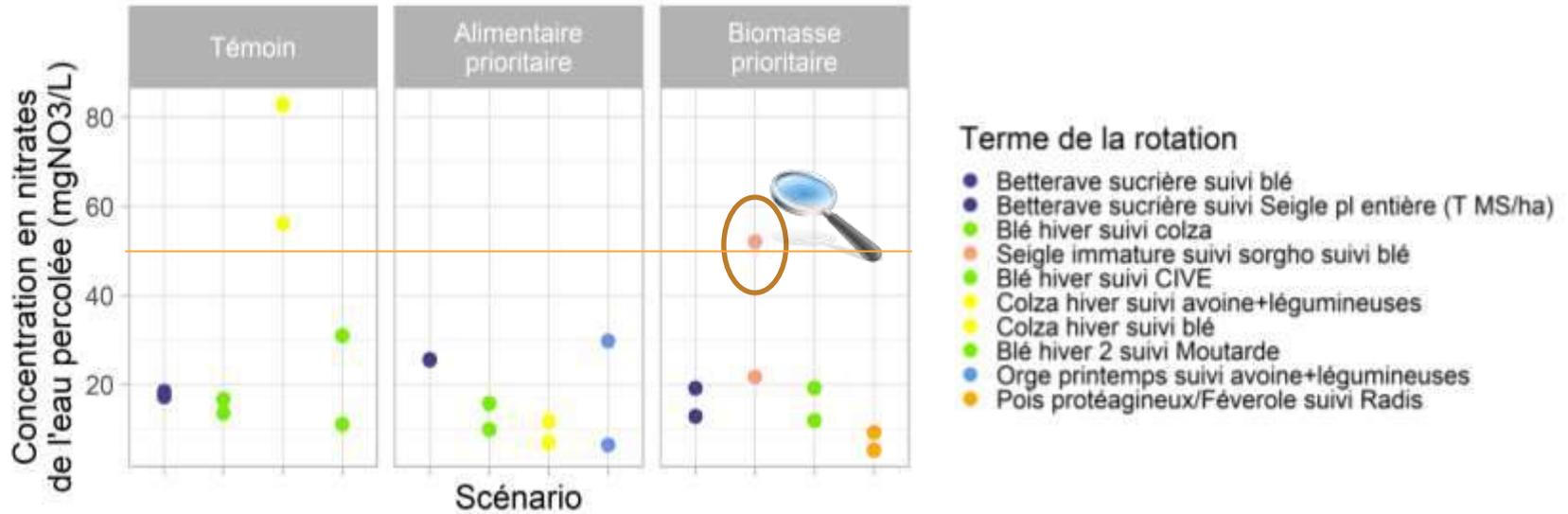
Pour les périodes hivernales 2017-2018 et 2018-2019

Concentration en nitrates de l'eau sous-racinaire (mg/L)



Dans la rotation alimentaire prioritaire, l'introduction d'une CIVE non fertilisée (exportée ou non) après le colza a permis de réduire les reliquats entrée hiver (absorption de l'azote pour sa croissance) et donc les concentrations en nitrates de l'eau sous-racinaire, par rapport à un blé en phase végétative dans la rotation témoin (qui n'a quasiment pas de croissance ni de besoin en azote à cette période).

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

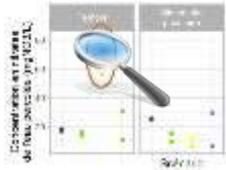


Concentrations pour chaque terme de chaque scénario



Une autre situation à risque a retenu notre attention, même si les résultats ne sont pas très alarmants car très proches du seuil : les concentrations après la double culture sont plus élevées dans une des deux années d'étude. Nous allons chercher à comprendre cette valeur de nouveau à l'aide des reliquats entrée hiver.

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

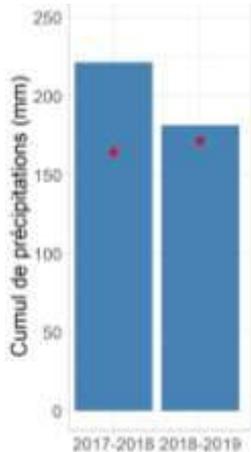
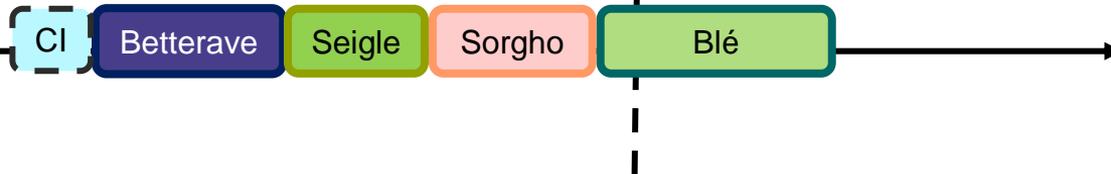


## Zoom sur les concentrations élevées après la double culture en 2017-2018

Pour les périodes hivernales 2017-2018 et 2018-2019

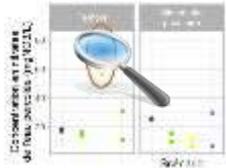
kgN/ha	REH	[NO <sub>3</sub> ] (mg/L)	Eau drainée (mm)
	54	52	152
	53	21	70

Rotation biomasse prioritaire



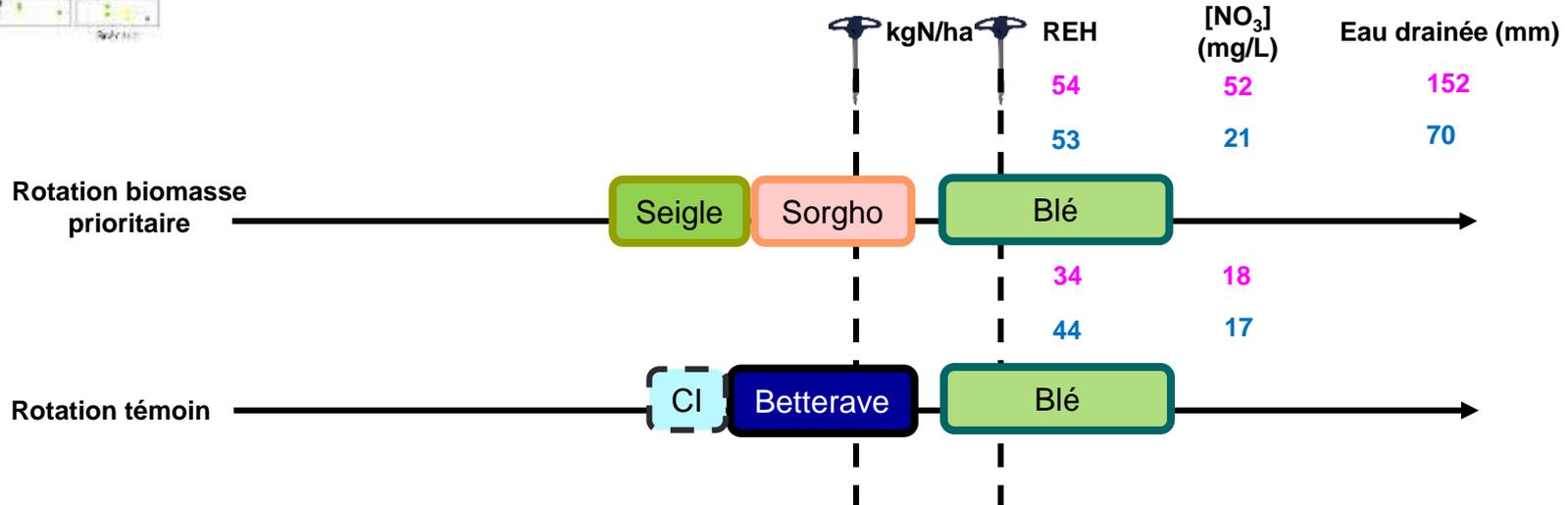
Les reliquats entrée hiver (REH) élevés et le drainage important en 2017-2018 sous l'effet des fortes précipitations hivernales expliquent les concentrations élevées derrière double culture. Plus la quantité d'eau drainée est importante et plus la quantité d'azote entraînée vers les eaux souterraines l'est également. Cependant, le niveau élevé des REH reste difficile à expliquer.

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



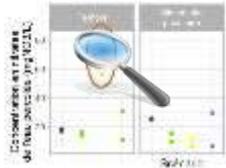
## Zoom sur les concentrations après la double culture – Comparaison autres précédents

Pour les périodes hivernales 2017-2018 et 2018-2019



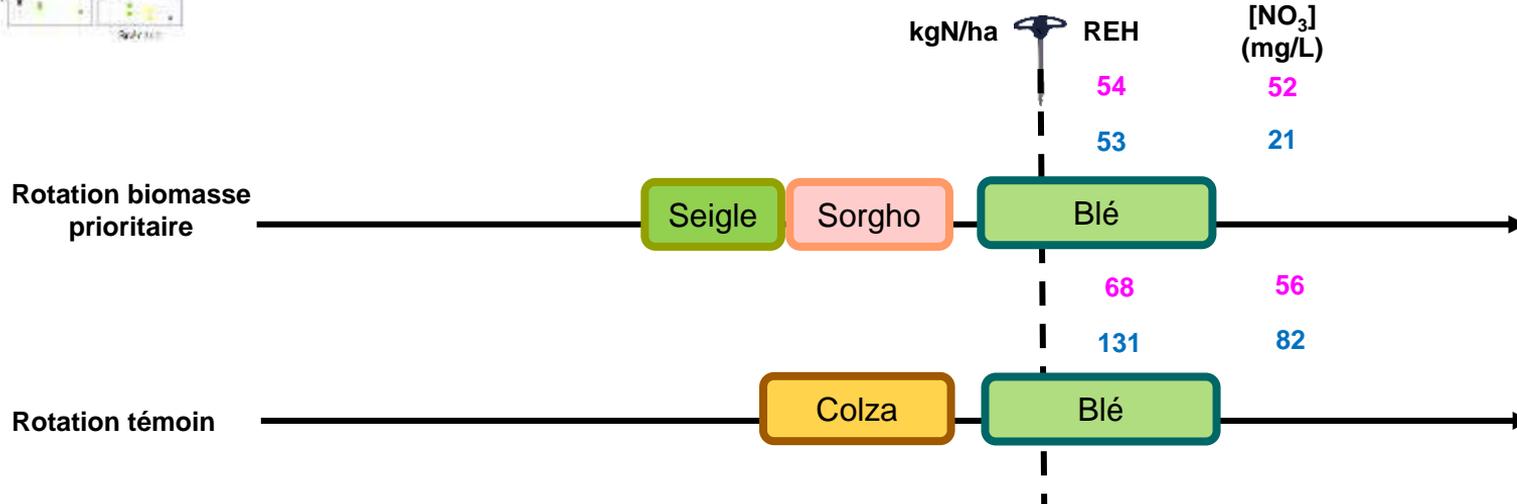
En comparaison, le blé de betteraves de la rotation témoin présente des reliquats moins élevés et des concentrations plus faibles...

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



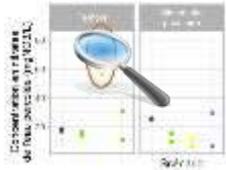
## Zoom sur les concentrations après la double culture – Comparaison autres précédents

Pour les périodes hivernales 2017-2018 et 2018-2019



...alors que le blé de colza de la rotation témoin présente la combinaison la plus à risque, de par les reliquats très élevés.

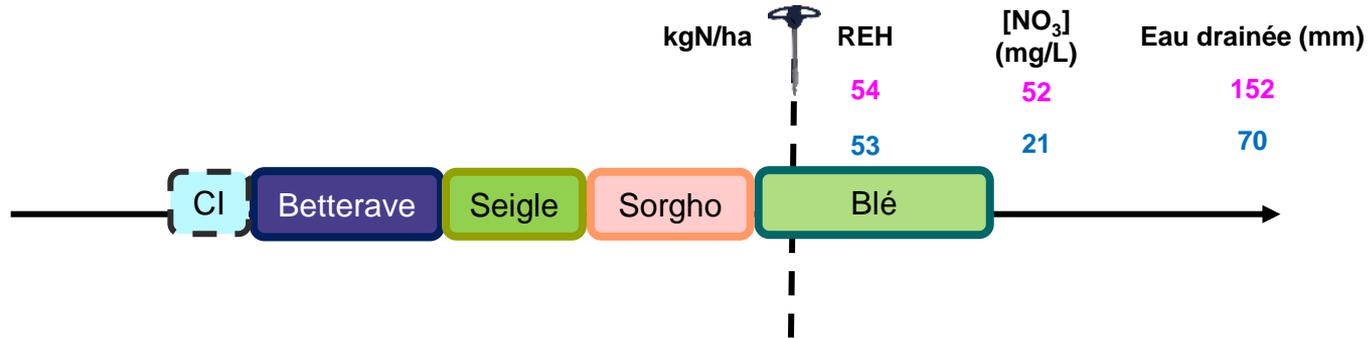
# Résultats concentration en nitrates de l'eau sous-racinaire



## Zoom sur les concentrations élevées après la double culture en 2017-2018

Pour les périodes hivernales 2017-2018 et 2018-2019

Rotation biomasse prioritaire :



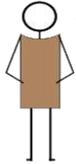
Il reste des travaux à mener pour comprendre pourquoi les REH derrière la double culture sont si élevés.

Plusieurs hypothèses peuvent être explorées :

- ❶ La quantité d'azote apportée en fertilisation est-elle trop élevée et donc mal valorisée ? Plus de travaux sur les doses optimales d'azote à apporter sur la double culture seraient nécessaires. Peu de références étaient disponibles à ce sujet au cours du projet et plusieurs stratégies ont pu être testées. Sur cette plateforme, la stratégie de fertilisation vise à limiter au maximum le stress azotée et est donc relativement intensive (260U).
- ❷ Une autre hypothèse à tester serait liée à la minéralisation des résidus de la première culture. Leurs teneurs en carbone et azote laissent à penser que leur minéralisation se fera au moment de la période automnale, pouvant expliquer ces reliquats élevés.

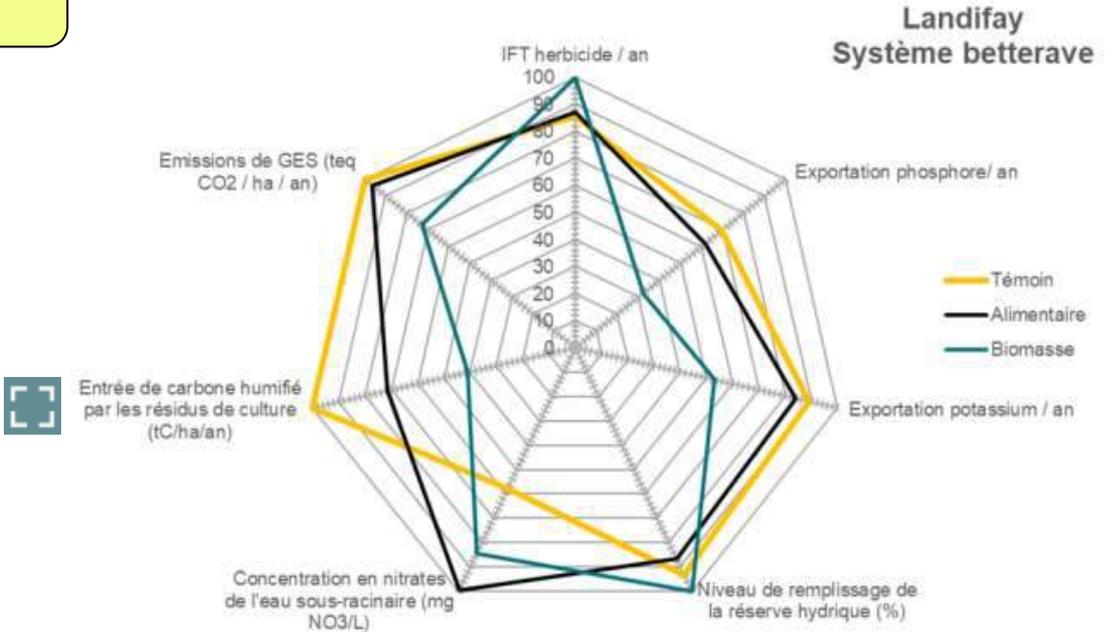


# Les résultats environnementaux



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	1 TC/ha/an

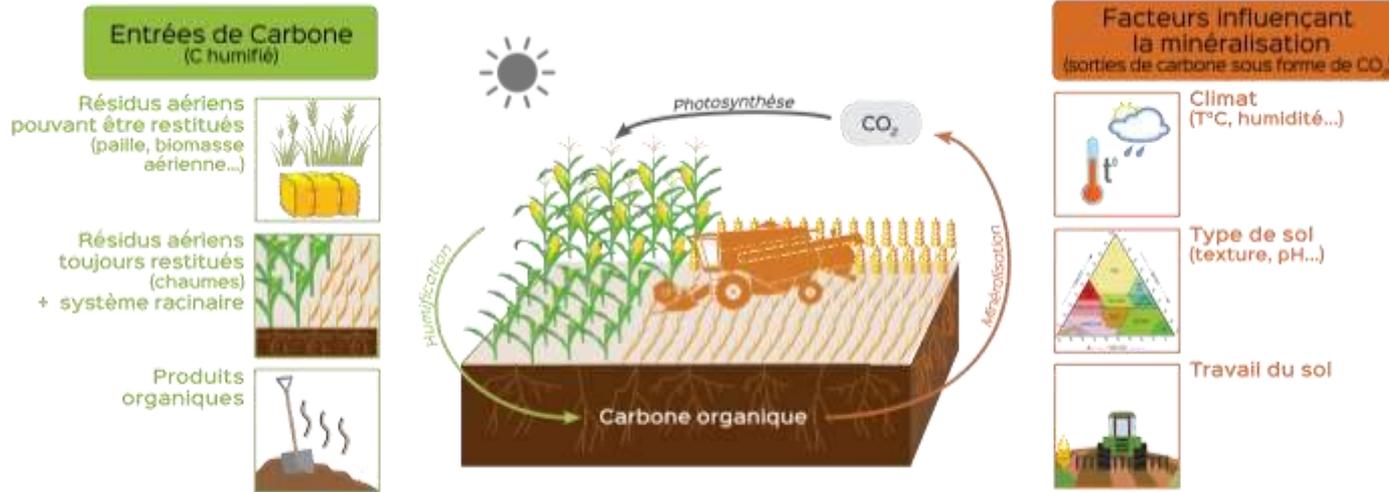
# Entrée de carbone humifié

Point méthode

- Le principe du bilan humique -

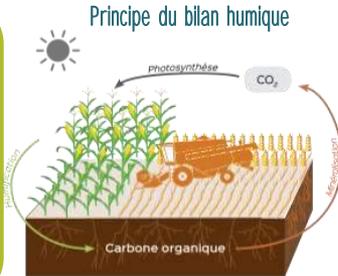
Stocker du carbone :

Fournitures de carbone humifié > Sorties par minéralisation



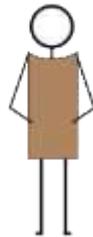
Le stock de carbone peut être comparé à un réservoir : un flux continu de carbone humifié l'alimente tandis qu'il se vide également en continu de par la minéralisation de la matière organique.

**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 ?

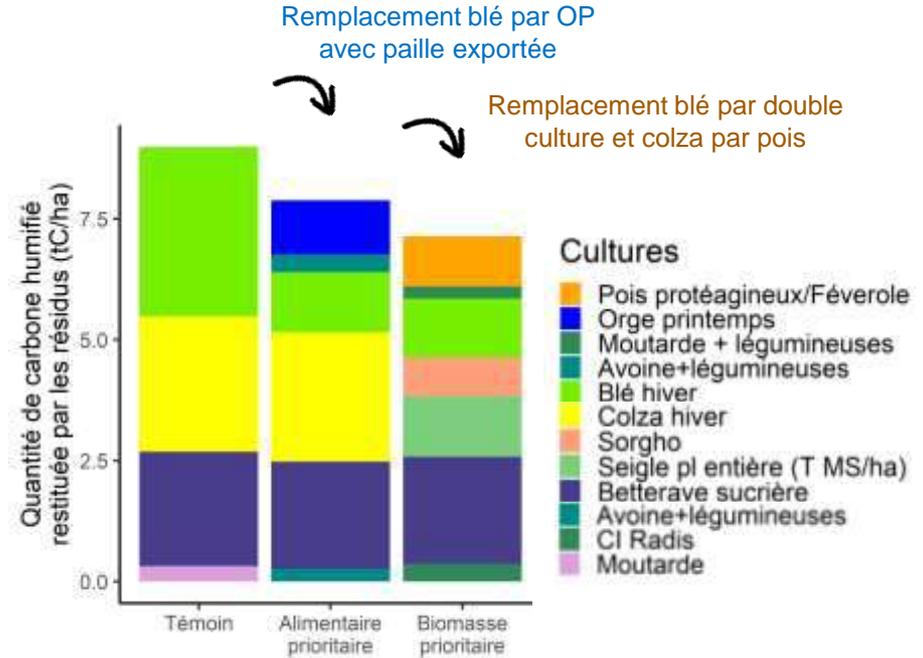


Les résultats présentés ci-après ont été obtenus avec l'outil SIMEOS-AMG, paramétré avec les données issues des expérimentations du projet Réseau de sites démonstrateurs, pour les années 2017, 2018 et 2019.

# Résultat d'entrée de carbone humifié

- ❶ Comme on peut le voir sur le graphique, les entrées de carbone humifiées sont un peu moins importantes dans les systèmes de culture alimentaire et biomasse prioritaire, mais restent tout de même élevées.
- ❷ La première diminution dans le scénario alimentaire par rapport au scénario témoin se fait par le remplacement du blé par l'orge de printemps, qui restitue moins de résidus car sa paille exportée.
- ❸ Dans le scénario biomasse, le fait de remplacer le colza par le pois entraîne aussi une moindre restitution.

Dans ce type de rotation, d'un point de vue du carbone, **il est intéressant de conserver les cultures permettant des apports importants (colza)**, et de remplacer celles à moindre restitution (céréales). **La double culture permet tout de même une fourniture de carbone humifié importante**, malgré la forte exportation de biomasse aérienne. Le temps d'occupation long de ces cultures, permet un développement racinaire important.



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



# Résultat d'entrée de carbone humifié

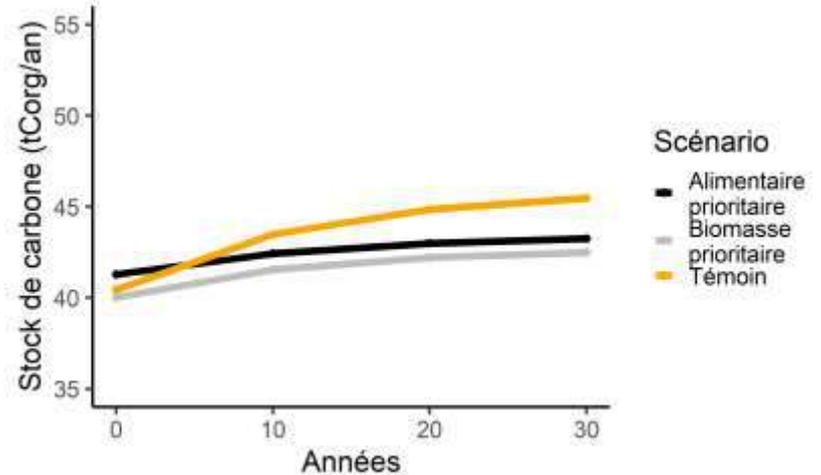
- Quel impact sur l'évolution stock de carbone de cette parcelle ? -

Nous avons voulu tout de même connaître l'impact des modifications de pratiques sur l'évolution du stock de carbone de cette parcelle en particulier, projeté à 30 ans (obtenu avec l'outil SIMEOS-AMG).

On observe que le stock augmente dans les 3 cas, surtout pour le scénario témoin, en lien avec les entrées de carbone les plus élevées. Le stock initial est légèrement différent car les scénarios ont été implantés à différentes endroits de la parcelle, qui présente des teneurs en matière organiques variables (de 1,7% à 2,1%).



Sur cette parcelle, **l'évolution du stock de carbone reste positive, étant peu impactée par le changement de rotation**, car la réduction d'entrées de carbone humifié par rapport au scénario initial est faible.

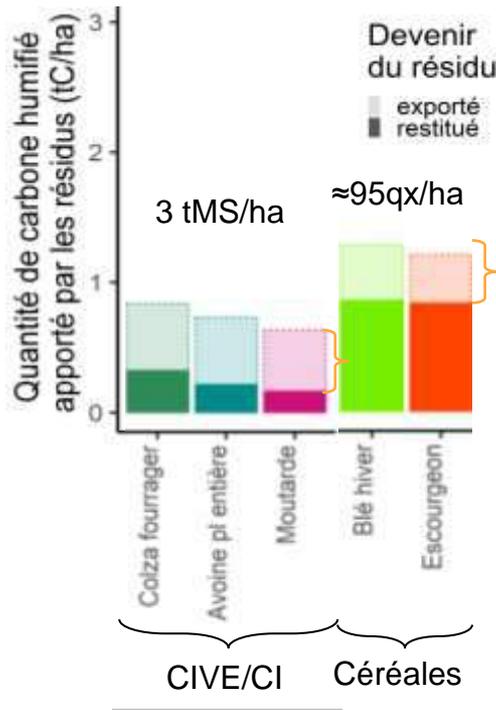


Evolution du stock de carbone pour chaque scénario



# Résultat d'entrée de carbone humifié

- Quelle contribution des CIVE courtes aux entrées de carbone humifié ? -



Quantité de carbone humifiées apportées par les résidus des couverts et céréales

- Le graphique suivant montre les quantités de carbone humifié qui sont apportées pour différentes CIVE (colza fourrager, avoine et moutarde) produisant 3tMS/ha, ainsi que pour deux céréales (blé et escourgeon).
- La quantité de carbone humifié est présentée en deux catégories : celui apporté par les résidus toujours restitués (racines et chaumes) et celui qui peut être apporté ou exporté car il s'agit de résidus exportable (biomasse aérienne des CIVE et paille de céréales).
- Dans cet essai, les CIVE n'ont pas été exportées. Mais on peut se demander **quel aurait été l'impact de l'export de leur biomasse aérienne sur les entrées de carbone humifiée, auraient-elles fortement diminué ?** On voit sur ce graphique que pour des couverts atteignant 3tMS/ha, la biomasse aérienne contient des quantités similaires de carbone humifié qu'une paille de céréales.



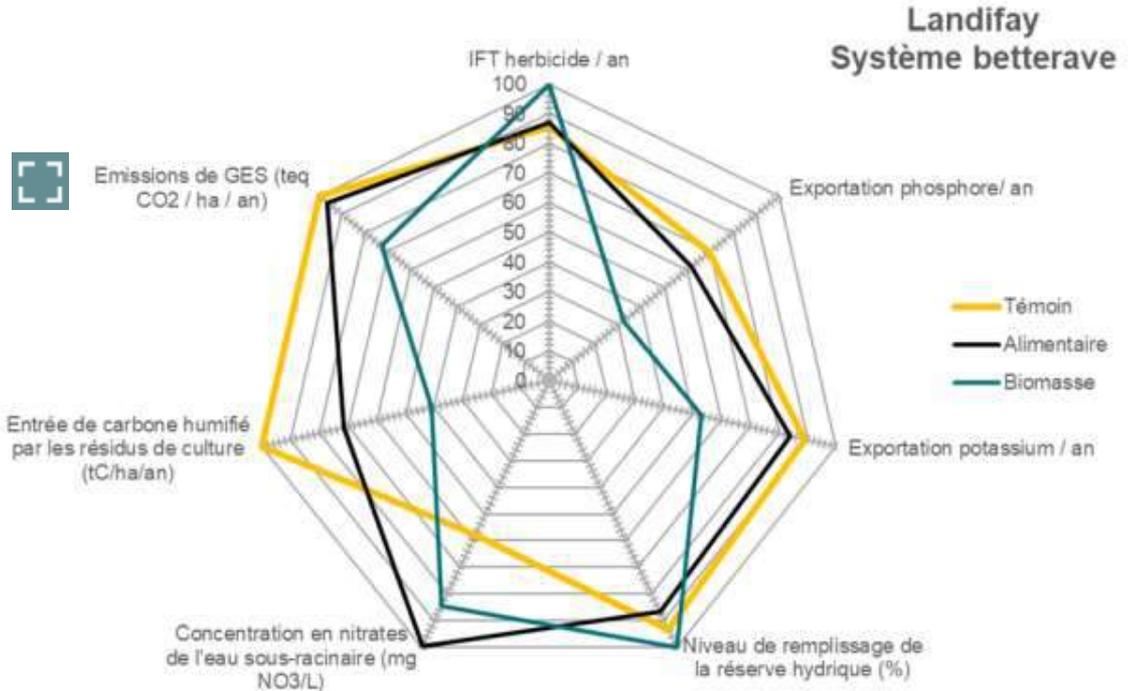
Si le choix se présente, **on peut donc compenser l'export d'une CIVE par l'apport d'une paille supplémentaire.**

Cependant, la biomasse aérienne des couverts rapporte plus d'azote que les pailles, qui sera profitable aux cultures suivantes. Même exportés, les couverts rapportent tout de même du carbone via les résidus de chaumes et de racines, et permettent de piéger l'azote avant l'entrée hiver.

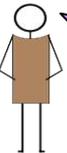
# Les résultats environnementaux



Les émissions de CO2 sont-elles plus élevées dans les systèmes de culture à exportation de biomasse plus importante ?



	Borne valant 100 %	Borne valant 0 %
Emissions de GES	3 TCO <sub>2</sub> /ha/an	5 TCO <sub>2</sub> /ha/an



Les émissions de CO2 sont-elles plus élevées dans les systèmes de culture à exportation de biomasse plus importante ?



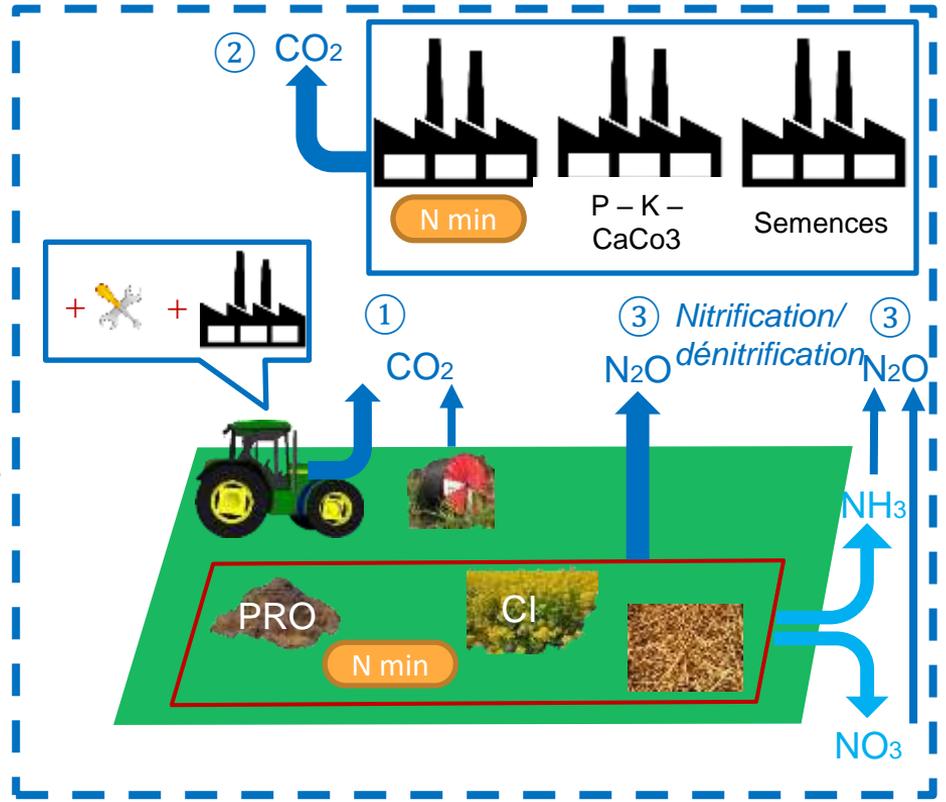
Inventaire des émissions de GES liées à la production végétale des systèmes de culture basé sur la méthode ABC'Terre.

## La méthode ABC'Terre

① Emissions dues à l'usage du matériel agricole

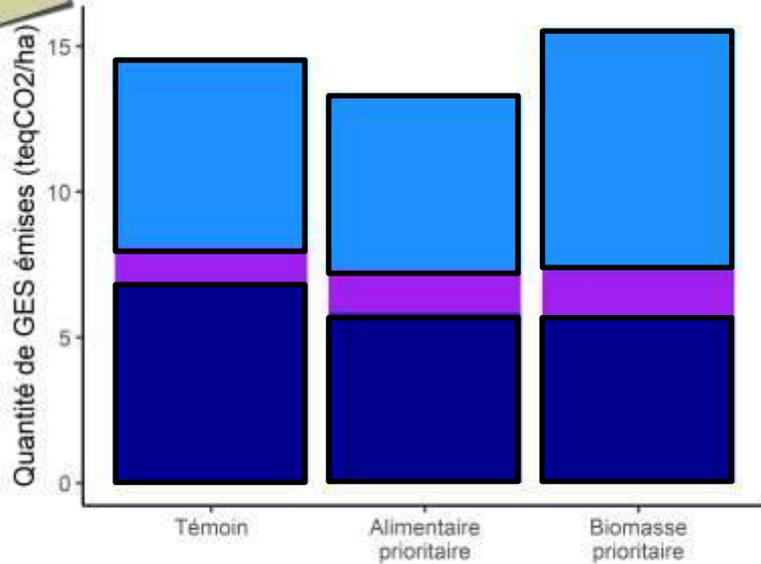
② Emissions dues à la production des intrants

③ Emissions directes et indirectes de N<sub>2</sub>O



# Résultats émissions de Gaz à effet de serre

1 ha



### Postes d'émissions

- N2O (nitrication/dénitrification)
- Production des intrants
- Utilisation et production des machines

Répartition des catégories d'émissions



L'écart des émissions de GES entre les systèmes est faible.

Les principales émissions sont dues :

- à la production des intrants, et surtout de l'azote minéral, très gourmand en énergie
- aux émissions de  $N_2O$ , émis lors des processus de nitrification/dénitrification
- Les émissions liées à l'utilisation des engins agricoles contribue peu au bilan GES



**Les émissions de GES sont donc très corrélées aux entrées d'azote dans le système de culture.**

# Résultats émissions de Gaz à effet de serre



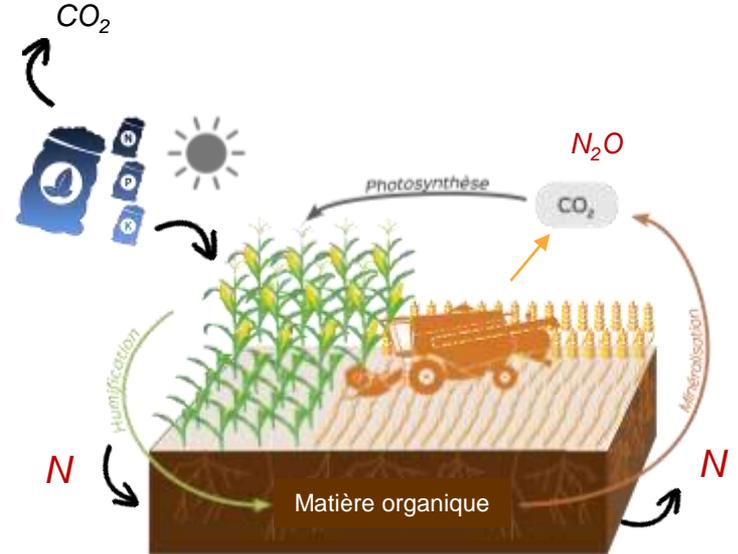
**Les émissions de GES sont donc très corrélées aux entrées d'azote dans le système de culture.**

Cependant, même si les entrées d'azote génèrent un gros poste d'émissions, ces apports d'azote sont nécessaires pour produire de la biomasse, afin d'assurer le revenu de l'agriculteur mais aussi de contribuer à stocker du carbone, via des résidus de culture plus importants.

Il faut chercher à privilégier des apports d'azote d'azote issus de résidus, afin de ne pas alourdir les émissions liées à la production de engrais. Restituer de l'azote via les résidus de culture va générer des émissions mais aussi contribuer ainsi à l'autonomie azotée du système (moins dépendance aux engrais), et stocker du carbone. Cela peut permettre de compenser les émissions de  $N_2O$  générées par ces restitutions. Les cycles du carbone et de l'azote sont en effet étroitement liés.



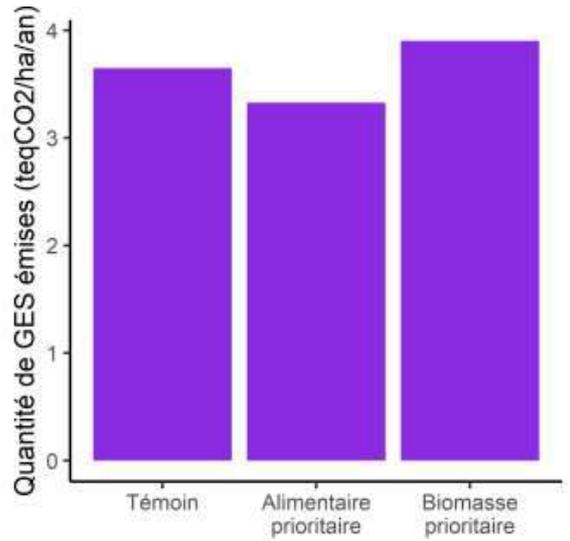
**Il faut trouver un compromis entre production de biomasse et gestion de l'azote à l'échelle du système !**



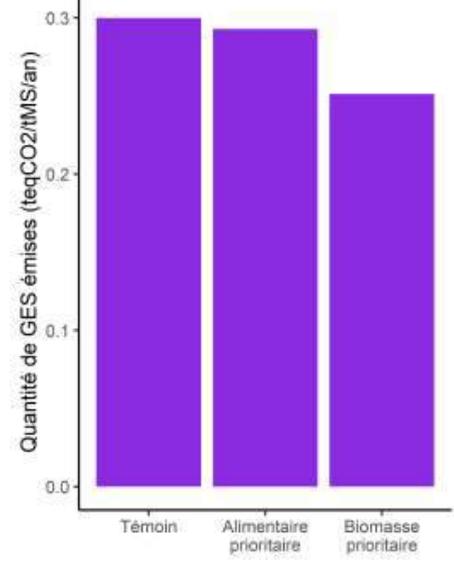
Couplage du cycle du carbone et de l'azote et leur lien avec les émissions de GES

# Résultats émissions de Gaz à effet de serre

1 ha



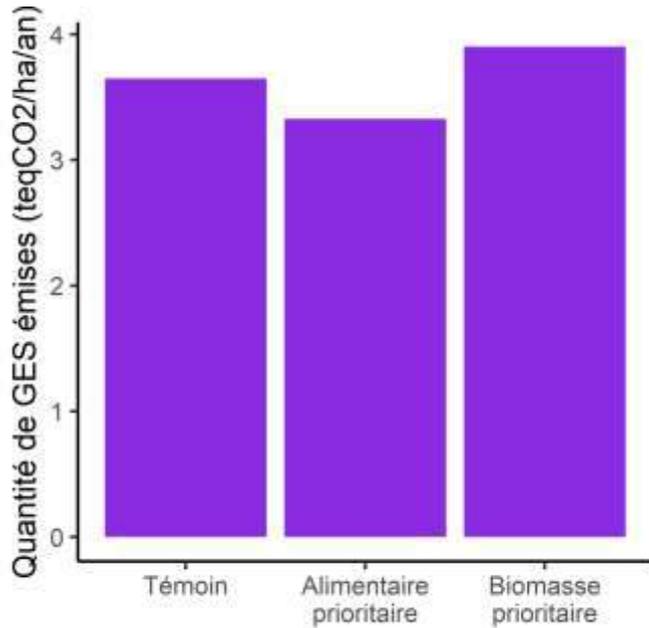
1 tMS



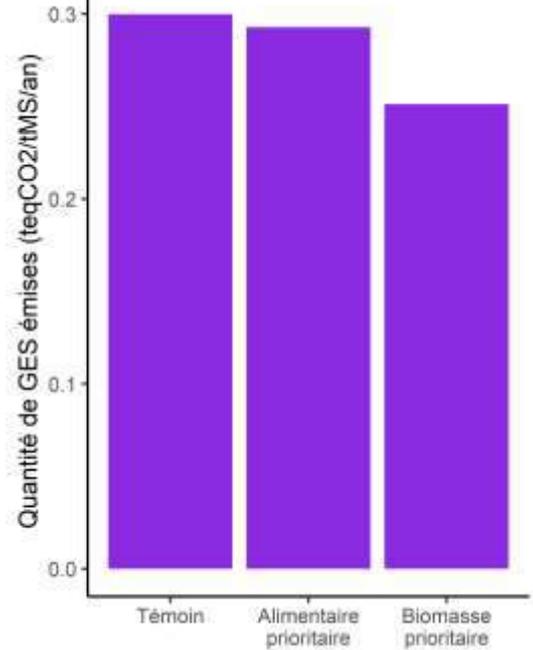
Les résultats précédents sont présentés par hectare, mais **il est aussi intéressant de ramener les émissions à la tonne de matière sèche exportée**, pour mettre en avant le fait qu'en intensifiant les pratiques on observe certes une augmentation des émissions mais cela a permis de produire plus de biomasse. À l'échelle d'une filière d'approvisionnement, si on peut produire plus sur une même surface, on pourrait avoir besoin de moins de surface pour produire la même quantité. L'évaluation plus globale à l'échelle de la filière et du territoire permet de relativiser les résultats.

# Résultats émissions de Gaz à effet de serre

1 ha



1 tMS



Il est donc important d'évaluer ces émissions et plus largement tous les impacts à l'échelle d'une filière d'approvisionnement.



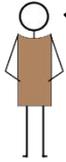
## Partie 4 Conséquences économiques des modifications du système et de l'augmentation de l'exportation de biomasse

### I. Méthodologie

- ① Définition de la marge directe
- ① Calcul de la marge directe et hypothèses

### II. Performances économiques des systèmes

- ① Marges directes obtenues pour les différents systèmes
  - Marges directes à l'échelle du système
  - Part de chaque terme cultural dans la marge directe du système
  - Part de chaque poste de charge dans la marge directe du système
- ① Réponse de la marge brute aux variations des prix de vente



Les modifications faites pour permettre une exportation de biomasse importante à l'échelle du système ont-elles un impact sur les performances économiques de celui-ci ?

Afin de comparer les performances économiques des systèmes de culture testés (*Témoin, Alimentaire prioritaire* et *Biomasse prioritaire*), la **marge directe** de chaque scénarios a été calculée.

La décomposition de cet indicateur par culture et par poste de charges permet de comprendre l'origine des différences constatées et de faire le lien avec la conduite technique et agronomique du système.

#### SOURCES

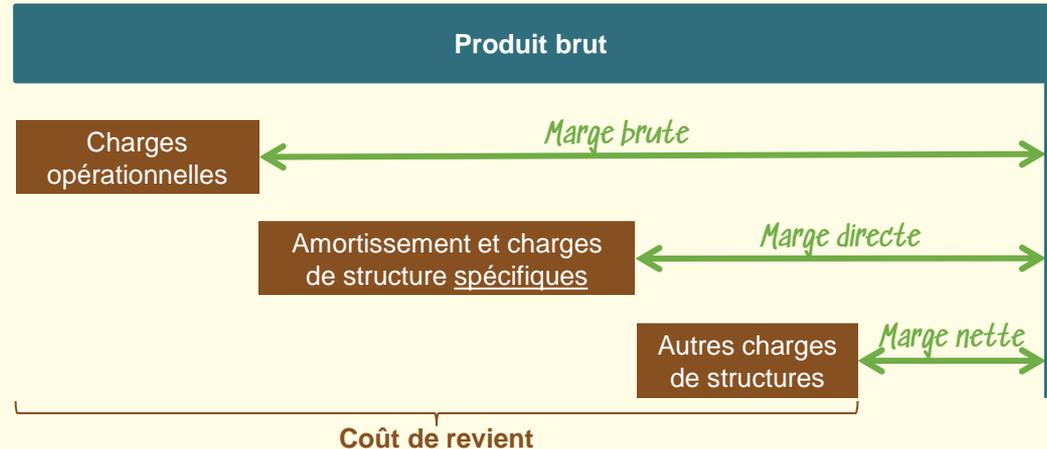
BERLAND, DE RONGE, 2013, Contrôle de gestion – Perspectives stratégiques et managériales, PEARSON, 2<sup>ème</sup> édition, p. 173-175  
 CER France, Définition des principaux termes utilisés, [URL [https://www.cerfrance.fr/upload/actualite/5866202bceb1a\\_lexique.pdf](https://www.cerfrance.fr/upload/actualite/5866202bceb1a_lexique.pdf)], consulté en janvier 2021

Vous avez dit « *Marge directe* » ?

Une marge est obtenue par la **différence entre un prix et un coût donné** (partie du coup de revient).

Dans le cas de la **marge directe**, le coût considéré correspond à la somme des charges directes, c'est-à-dire des **charges pouvant être directement affectées à la production** de la culture ou du système de culture.

Cette marge se distingue, par exemple, de la **marge brute** qui intègre uniquement les charges opérationnelles ou encore de la **marge nette** qui, elle, intègre l'ensemble des charges dont les charges considérées comme non spécifiques (impôts, main d'œuvre hors champ, ...).





# Les indicateurs économiques

- Calcul de la marge directe et hypothèses -

Point méthode

Produit brut  
(€/ha)

A l'échelle de la culture, c'est le rendement en biomasse exportée (tMS/ha) multiplié par le prix de vente de la biomasse emballée (€/tMS)

*A l'échelle du système, c'est la somme des produits bruts des cultures principales, des pailles et des cultures dérobées.*

Charges opérationnelles  
(€/ha)



Charges des semences



Charges engrais et amendements



Charges produits de protection des plantes et régulateurs de croissance

Amortissement et charges de structure spécifiques  
(€/ha)



Charges matériel et essence au champ



Charges main d'œuvre au champ

= Marge directe  
(€/ha)



Les « **autres charges de structures** », telles que les impôts ou la main d'œuvre hors champ, ne sont pas prises en compte dans le calcul de la marge directe.

Il en est de même pour les charges liées à l'activité des autres ateliers de l'exploitation (élevage, méthanisation, ...).

Les primes qualité et subventions ne sont pas prises en compte



## PRINCIPALES SOURCES DE DONNEES UTILISEES

- Assolement & Stratégies 2020
- RMT Systèmes de cultures innovants
- Barème d'entraide 2019 (Aisne – Oise – Somme)
- Barème fourrage de l'Oise 2020
- Sources régionales : MesParcelles, rapport techniques des chambres d'agriculture (ex : PhytAgro), ...
- Travaux de R&D (thèses, MFE, ...)

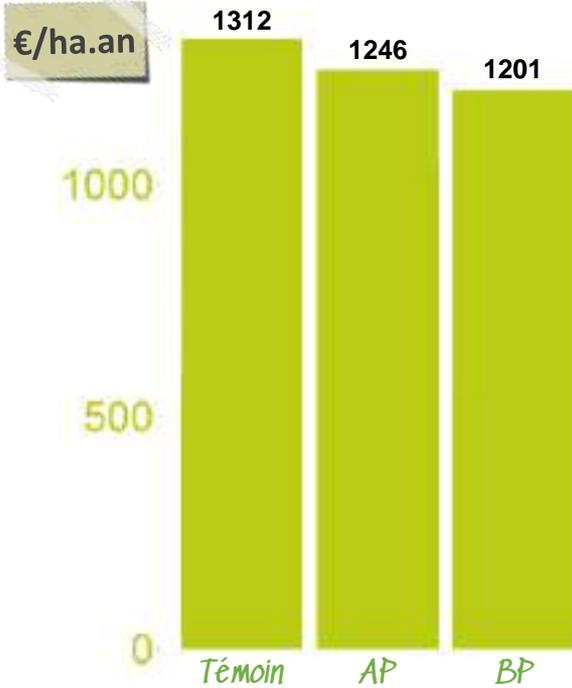
Prix de vente issus du RMT SdCi et retenus dans cette étude (Massot et al. 2016)

	Prix de vente (€/tMS)
Betterave sucrière	120
Blé hiver	201
Colza hiver	395
Orge printemps	187
Seigle pl entière	102
Sorgho fourrager	73
Féverole ou pois	293



# Marges directes obtenues pour les différents systèmes

- Marges directes à l'échelle du système -



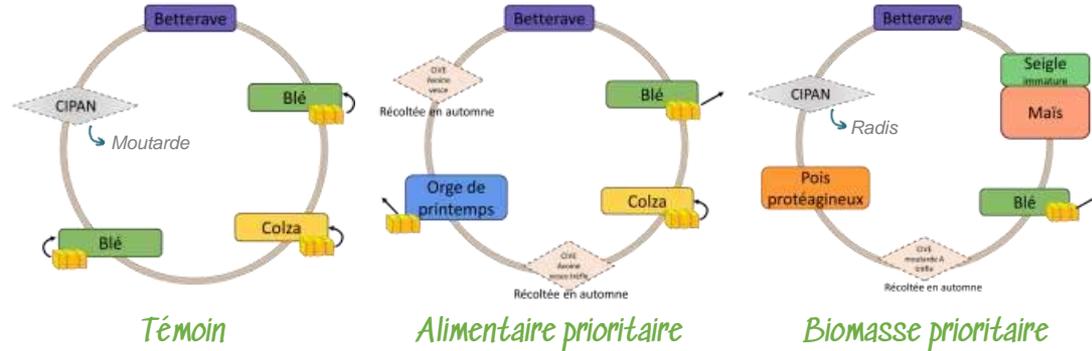
Marge directe des systèmes de culture testés en €/ha.an

En ne prenant pas en compte les primes et subventions, les systèmes de culture *alimentaire prioritaire* et *biomasse prioritaire* ont respectivement une **marge directe de 5 et 10 % plus faible** que celle du *témoin*.

## RAPPEL DES HYPOTHESES DE PRIX DE VENTE

Prix de vente issus du RMT SdCi et retenus dans cette étude (Massot et al. 2016)

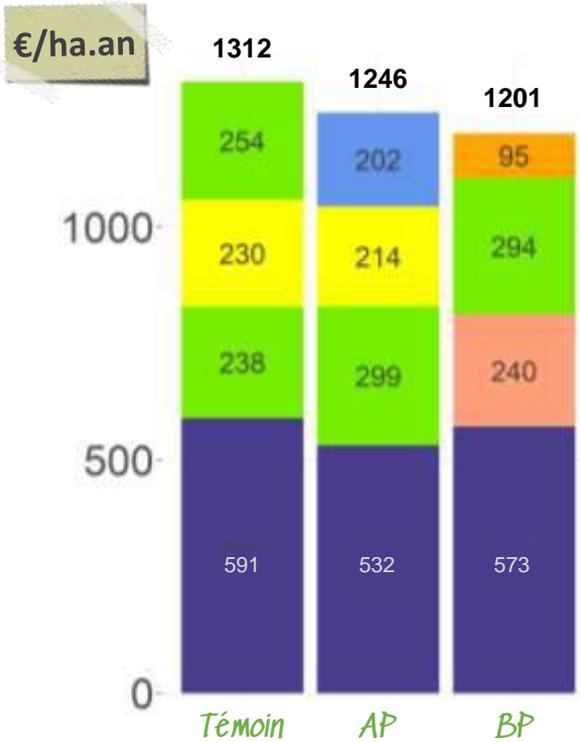
	Prix de vente (€/tMS)
Betterave sucrière	120
Blé hiver	201
Colza hiver	395
Orge printemps	187
Seigle pl entière	102
Sorgho fourrager	73
Féverole ou pois	293





# Marges directes obtenues pour les différents systèmes

- Part de chaque terme cultural dans la marge directe du système -

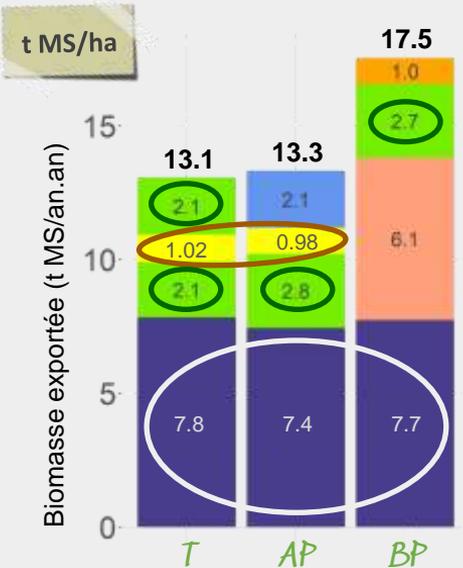


Contribution des termes culturaux à la marge directe des systèmes de culture testés en €/ha.an

- Les différences de marges brutes obtenues pour un même terme cultural, entre les scénarios, s'expliquent par les **différences de rendement**. Mais ces différences n'expliquent pas les différences de marges brutes à l'échelle du système de culture.
- Les **différences** de marges brutes des systèmes de culture **s'expliquent plutôt par les cultures différant entre les systèmes** (■, ■, ■).
- A noter que la marge brute de la *CIVE suivie d'un pois protéagineux ou Féverole* est sous-estimée car les subventions pour les légumineuses ne sont pas prises en compte dans le calcul.

- avoine+légumineuses suivi Orge printemps
- Blé hiver 2
- CIVE suivi Pois protéagineux/Féverole
- Colza hiver
- Blé hiver
- Seigle pi entière (T MS/ha) suivi sorgho
- avoine+légumineuses suivi Betterave sucrière (BP)
- CIVE suivi Betterave sucrière (AP)
- Moutarde suivi Betterave sucrière (Témoin)

## RENDEMENTS DES TERMES CULTURAUX



Contribution des termes culturaux à l'exportation de biomasse dans les systèmes de culture testés en t MS/ha.an



# Marges directes obtenues pour les différents systèmes

- Part de chaque poste de charge dans la marge directe du système -

€/ha.an



Sur quels postes s'expliquent les différences de marge brute par rapport au témoin ?



	Produit brut	Semences plantations	Engrais amendements	Protection des plantes Régulation croissance	Matériel Carburant	Main d'œuvre au champ	Marge directe
<i>Témoin</i>	2191	129	280	52	325	92	1312
<i>Alimentaire prioritaire</i>	2129	137	248	49	346	103	1246
<i>Biomasse prioritaire</i>	2202	181	253	60	398	124	1201

**Produit brut plus faible**  
→ en lien avec la substitution du blé par l'orge de printemps

**Charges de semences et d'interventions plus élevées**  
→ en lien avec la double culture qui vient doubler les charges d'implantation par rapport à une culture unique de blé

Le **temps de travail au champ** est respectivement 12 % et 34 % plus élevé pour les systèmes de culture *alimentaire prioritaire* et *biomasse prioritaire* par rapport au *témoin*.

TARIF DE MAIN  
D'ŒUVRE UTILISÉ

24.2 €/h



# Réponse de la marge brute aux variations des prix de vente

## SCENARIOS DE PRIX DE VENTE

Dans le cadre du RMT *Systèmes de cultures innovants*, huit scénarios reflétant l'étendue de la variabilité des prix de vente sur la période 2007-2014 ont été établis. Ils nous permettent ici de regarder la réponse de la marge brute à ces possibles variations de prix et ainsi voir si l'ordre de performance économique des systèmes de culture testés en est modifié.

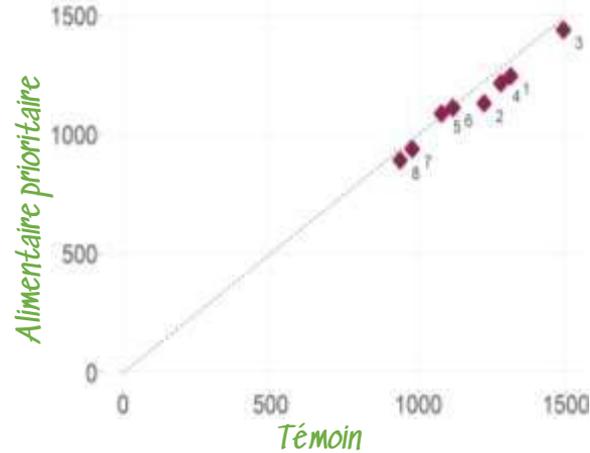
Scénarios de prix de vente proposés par le RMT SdCI  
(Massot et al. 2016)

	Scénario de prix (€/t MS)							
	n°1 (moyenne)	n°2	n°3	n°4	n°5	n°6	n°7	n°8
Betterave sucrière	120	120	120	120	120	120	120	120
Blé hiver	201	195	231	195	175	173	138	126
Colza hiver	395	290	488	427	379	376	255	270
Orge printemps	187	181	215	188	185	182	126	111
Seigle pl entière	102	102	102	102	102	102	102	102
Sorgho fourrager	73	94	114	90	99	54	67	54
Féverole ou pois	293	274	316	231	230	226	143	166

### AIDE A LA LECTURE

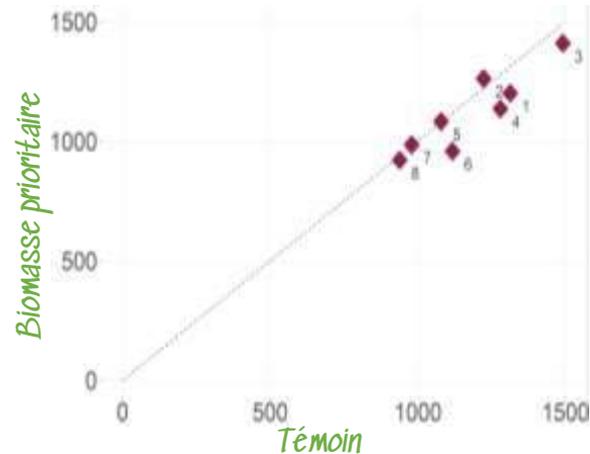
Pour chaque scénario, la marge du système de culture *biomasse* est comparée à celle du système de culture *témoin*.

Pour un scénario donné (point), le système de culture *biomasse* a une marge supérieure à celle du *témoin* si le point est situé au-dessus de la bissectrice. Dans le cas contraire, sa marge est inférieure.



La marge directe du système *témoin* est **supérieure** à celle du système *AP* pour la majorité des scénarios de prix, sauf pour les scénarios 5 et 6 où le **prix de vente de l'OP dépasse celui du blé**.

Dans ces cas, le fait d'avoir substitué un blé par de l'OP pour introduire des CIVE devient avantageux d'un point de vue économique.



La marge directe du système *BP* est **identique** au *témoin* dans la moitié des scénarios de prix (2,5,7,8) : ceux où le **prix du colza et du blé sont les plus faibles**.

Dans ces cas, le fait d'avoir substitué un blé et le colza par du pois protéagineux et une double culture a une moindre incidence sur la marge brute.



## Synthèse

Enseignements globaux à retenir du cas d'étude  
« Système de culture betteravier sur un BAC nitrates »



# Produire de la biomasse en système betteravier en Hauts-de-France

## ❶ La double culture dédiée permet d'exporter des quantités importantes de biomasse (jusqu'à 26 T MS/ha)



- Avec peu d'intrants phytosanitaires
- Tout en restituant des quantités de carbone humifié intéressantes
- Ne semblant pas causer de problème de recharge en eau

Mais :



- Pouvant impacter le rendement du blé suivant (-13 à 26 qx/ha dans les essais)
- Nécessitant des apports de P et surtout de K relativement importants pour compenser les exportations
- Présentant un risque de pertes d'azote par lessivage si la dose d'azote apportée n'est pas optimisée (+ émission GES)

## ❷ Premiers éléments de réponse sur la fertilisation de la double culture

- Intéressant de mélanger la céréale immature avec une légumineuse pour fixer l'azote et réduire la fertilisation azotée (ex : triticale/pois, seigle/vesce...)
- Préférez apporter un peu plus d'azote sur la 1ère culture, le surplus pourra être valorisé par la 2ème (à condition de prendre en compte le reliquat lors de la fertilisation de la 2ème culture !)



*Attention à la réglementation sur l'utilisation des cultures dédiées pour la méthanisation*

## ❸ Des besoins en travaux complémentaires

- Question des besoins unitaires de la céréale immature (différent d'une récolte grains) notamment en mélange avec des légumineuses
- Cinétique de minéralisation des résidus de culture de la céréale immature : de l'azote disponible pour la 2e culture ou trop tardivement ?

### POUR ALLER PLUS LOIN

Découvrez l'ensemble de nos travaux sur la production de doubles cultures

<http://www.agro-transfert-rt.org/filabiom/outils/production/double-culture/>

# Produire de la biomasse en système betteravier en Hauts-de-France

- ❶ Les **CIVE courtes d'été** constituent une solution d'opportunité qui se comporte comme une CIPAN, donc qui va piéger l'azote en automne-hiver
- ❶ L'exportation de paille est une solution envisageable pour exporter  $\approx 4$  T MS/ha (biomasse sèche pour diverses valorisations), à condition de raisonner la fréquence des exportations pour ne pas déstocker du carbone  $\rightarrow$  *Faire des simulations (SIMEOS-AMG)*



👉 **Restituer une CIVE (couvert bien développé) par rapport à une paille permet de restituer autant de carbone mais plus d'azote pour la culture suivante (C/N paille > C/N CIVE)**

- ❶ Les **CIVE longues d'hiver** (céréale immature : seigle, triticale, ...) constituent une bonne alternative pour exporter de 4 à 10 T MS/ha avant une culture alimentaire de printemps, en fonction de la date de récolte de la CIVE et des besoins en terme d'implantation de la culture alimentaire.

## POUR ALLER PLUS LOIN

Découvrez l'ensemble de nos travaux sur le retour du carbone au sol  
<http://www.agro-transfert-rt.org/filabiom/outils/production/carbone/>

Et sur la production de CIVE

<http://www.agro-transfert-rt.org/filabiom/outils/production/cive/>

# Produire de la biomasse en système betteravier en Hauts-de-France



- ❶ Les systèmes de culture *alimentaire prioritaire* et *biomasse prioritaire* ont une **marge directe de 5 et 10 % plus faible** que le *témoin* dans le cas d'un scénario de prix moyen.

Cette baisse est due à une **marge brute plus faible des nouvelles cultures introduites** par rapport aux cultures dites traditionnelles (blé et colza) :

- Couvert avoine - vesce suivi d'une orge de printemps dans le *AP* vs. Blé d'hiver dans le *témoin*
- Double culture Seigle - Sorgho et couvert moutarde - trèfle suivi d'une légumineuse (féverole ou pois de printemps) dans le *BP* vs. blé hiver et colza hiver dans le *témoin*

Cependant, cette différence de marges brutes est à nuancer, puisqu'elle **varie avec les prix de vente des cultures**.

Les marges brutes des systèmes *AP* et *BP* peuvent, en effet, **être équivalentes** à celles du système *témoin* dans les cas où les **prix de vente du blé et/ou du colza sont plus faibles**.

- ❶ De plus, les **subventions** attribuées aux légumineuses pour le système de culture biomasse prioritaire ne sont **pas prises en compte dans le calcul des marges brutes**.
- ❶ Les systèmes de culture *alimentaire prioritaire* et *biomasse prioritaire* ont un **temps de travail au champ** 12 et 34 % **plus élevé** que le *témoin*.

Ce document a été réalisé dans le cadre du projet *Réseau de sites démonstrateurs*.

Ce projet vise à faciliter la mise en place des projets de la bioéconomie, ancrés sur les territoires, durables et pérennes dans les Hauts-de-France.

### Coordination de l'ouvrage

Charlotte JOURNEL

*Agro-Transfert Ressources et Territoires*

<http://www.agro-transfert-rt.org/> - 03 22 85 35 23



### Réalisation et rédaction de l'ouvrage

Charlotte JOURNEL

Justine LAMERRE

*Agro-Transfert Ressources et Territoires*

Amandine DELIGEY

*UniLaSalle*

### Avec l'appui de l'ensemble des partenaires du projet Réseau de sites démonstrateurs et en particulier de :

Nicolas JULLIER

*Chambre d'Agriculture de l'Aisne*

---

Lucile GODARD

*Agro-Transfert Ressources et Territoires*

---

Virginie METERY

*Chambre d'agriculture des Hauts-de-France*

Arthur QUENNESSON

*Agro-Transfert Ressources et Territoires*

---

Sophie DECAUX

*Agro-Transfert Ressources et Territoires*

---

Hélène PREUDHOMME

*Agro-Transfert Ressources et Territoires*

Publication janvier 2021

Démarche construite dans le cadre du projet *Réseau de sites démonstrateurs* coordonné par Agro-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

