



Concilier production de biomasse et performances en systèmes betteraviers



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 La Ferme 3.0



- ④ Localisation et conduite de l'essai
- ④ La parcelle d'essai : pédologie et historique

II. Les systèmes de culture « betteraviers » suivis



- ④ Système betteravier : 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 »

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



- ① Les cultures dédiées : cas de la cameline
 - Evaluation agronomique
 - Faisabilité technique

III. Comparaison de l'essai « système betteravier » 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 »

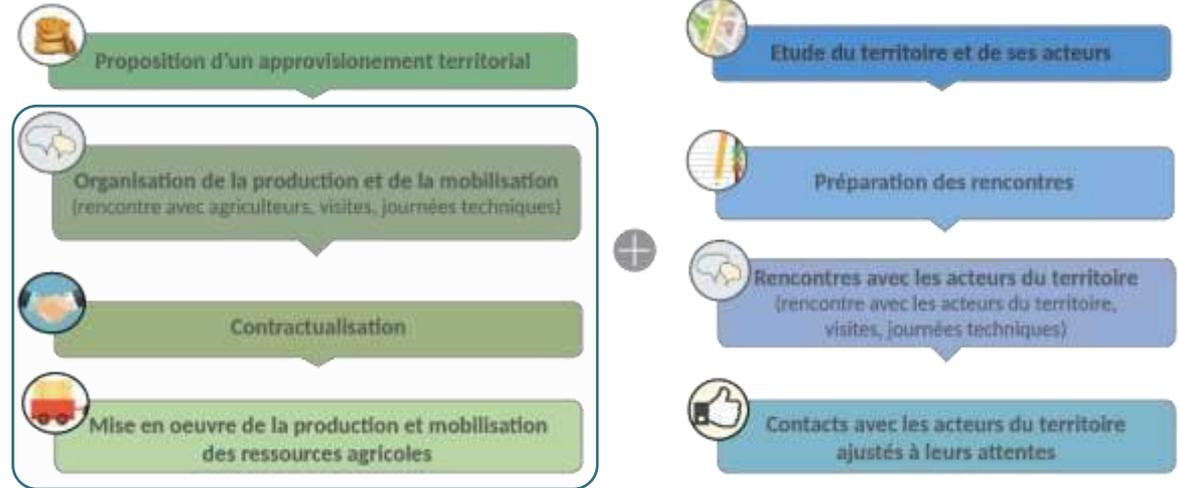


La démarche FILBIOM

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

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

La démarche FILBIOM



Le document « *Concilier production de biomasse et performances en systèmes de culture betteraviers* » 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.



Préambule

- ❶ Ce document présente des résultats d'évaluation issues de l'expérimentation pluriannuelle de La Ferme 3.0 (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 La Ferme 3.0



- ④ Localisation et conduite de l'essai
- ④ La parcelle d'essai : pédologie et historique

II. Les systèmes de culture « betteraviers » suivis



- ④ Système betteravier : 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 la ferme 3.0

- ❖ Elle est basée dans la commune d'Aizecourt-le-Haut, dans la Somme. L'agriculteur, Jean-Marie Deleau, a mis son exploitation au service de la recherche en transformant une partie en ferme agro-écologique expérimentale.
- ❖ L'essai a été conduit en trinôme entre :
 - Jean-Marie Deleau (agriculteur),
 - La Chambre d'Agriculture de la Somme avec l'implication de Matthieu Preudhomme (Ingénieur Conseil Santerre-Vermandois) et Baptiste Compère
 - Agro-Transfert Ressources et Territoires avec l'implication de Charlotte Journal (Coordinatrice expérimentations systèmes de culture avec biomasse) et Arthur Quennesson (Ingénieur d'études évaluation agronomique)



Matthieu Preudhomme



Charlotte Journal



Localisation de la parcelle d'essai



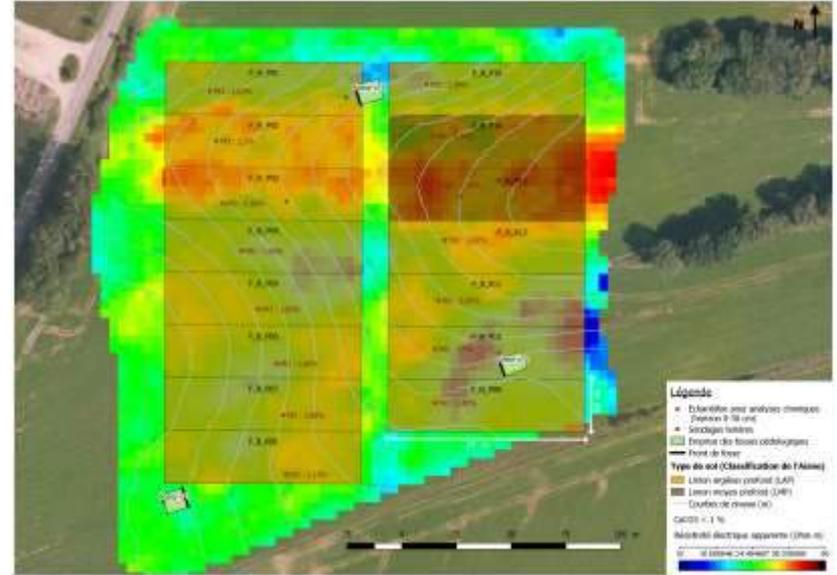
Contexte pédologique et historique de la plateforme

Caractéristiques de la parcelle

- Parcelle hétérogène (présence d'un talweg - zone rouge sur la carte de résistivité)
- Limon argileux profond
- Réserve utile : 230 mm
- Teneur en matière organique : 1,5 à 2,4
- Horizons assez tassés d'après les profils culturaux réalisés en début de projet (2015)

Conduite historique de la parcelle

- Parcelle en labour
- Pas d'apport de fumier
- Rotation type de la parcelle : blé – pommes de terre – blé – betteraves – blé



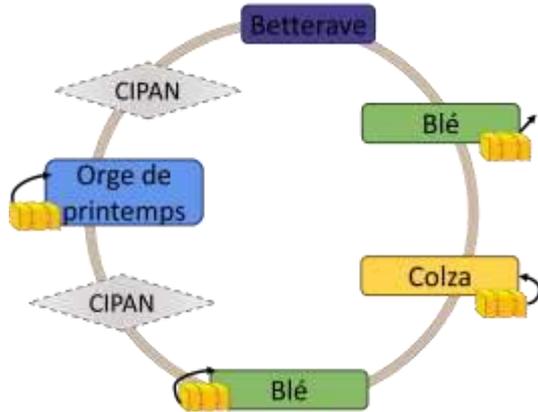
Carte de résistivité de la parcelle



Système betteravier : système de référence (témoin)

Système témoin en 5 ans

Système betteravier classique de la région



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

- Maximiser et diversifier la production de biomasse à exporter (alimentation et biomasse) 
- Maintenir ou améliorer la fertilité organique des sols 
- Améliorer la gestion de l'azote et limiter les pertes, 

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



Fertilité des sols



Emissions GES



Biodiversité



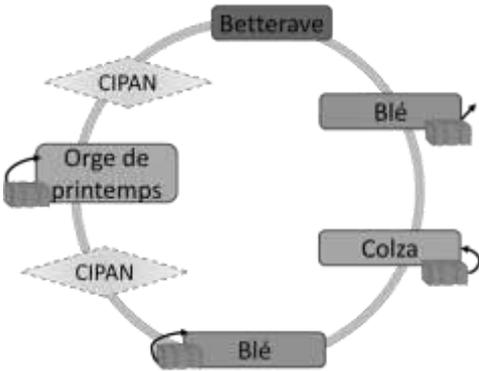
Marges



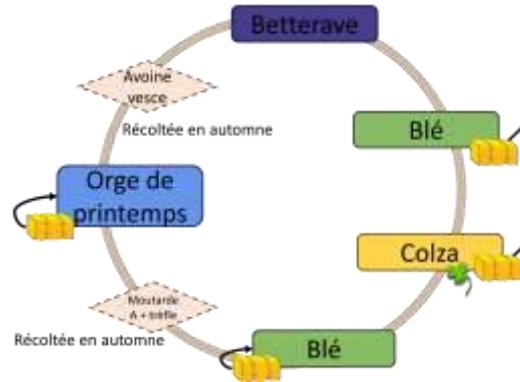


Déclinaison du système de culture témoin

Gradient croissant de production de biomasse



Témoin



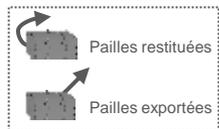
Alimentaire prioritaire



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

Pour cela, nous avons :

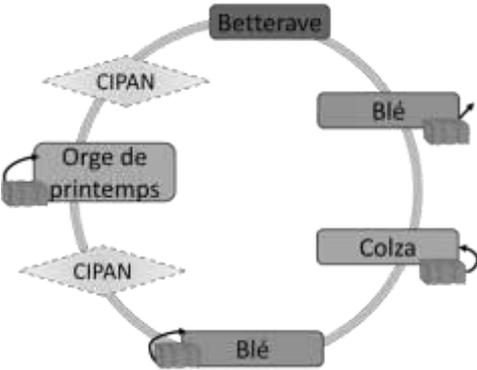
- ① Conservé 5 cultures alimentaires
- ① Remplacé un blé par une orge de printemps, pour bénéficier d'une interculture plus longue
- ① Intégré deux CIVE d'été (*Culture Intermédiaire à Vocation Energétique*) avant les cultures de printemps
- ① Exporté une paille supplémentaire : la paille de colza
- ① Intégré des légumineuses pour la fixation de l'azote atmosphérique (colza sous couvert, CIVE ...)



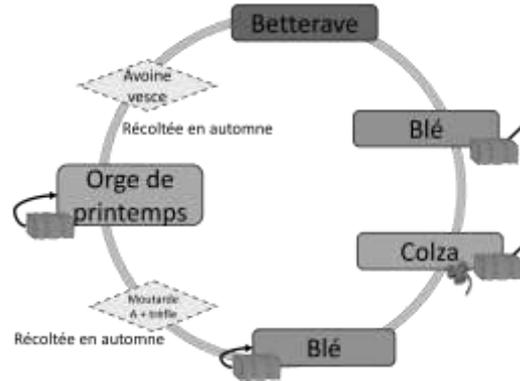


Déclinaison du système de culture témoin

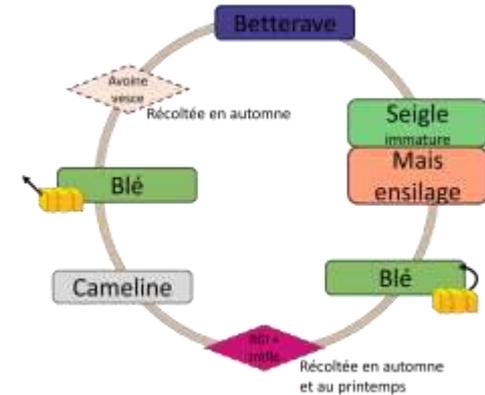
Gradient croissant de production de biomasse



Témoin



Alimentaire prioritaire



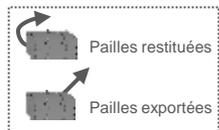
Biomasse prioritaire



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 azotés sont élevés par une double culture dédiée à la biomasse
- ② Substitué l'orge de printemps par une CIVE d'hiver à 2 récoltes (ray-grass + trèfle) suivi d'une culture dédiée de cameline (pour la production d'huile)
- ③ Intégré 1 CIVE d'été



Partie 2

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

I. Exportation de biomasse permise par les différents scénarios

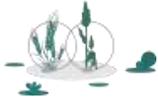


- ① Cumuls de biomasse obtenus
- ① Contribution des différentes cultures à la quantité de biomasse exportée dans chaque système
- ① Rendement attendus et réalisés pour les cultures principales des systèmes

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



- ① Les cultures dédiées : cas de la cameline
 - Evaluation agronomique
 - Faisabilité technique

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



Exportation de biomasse

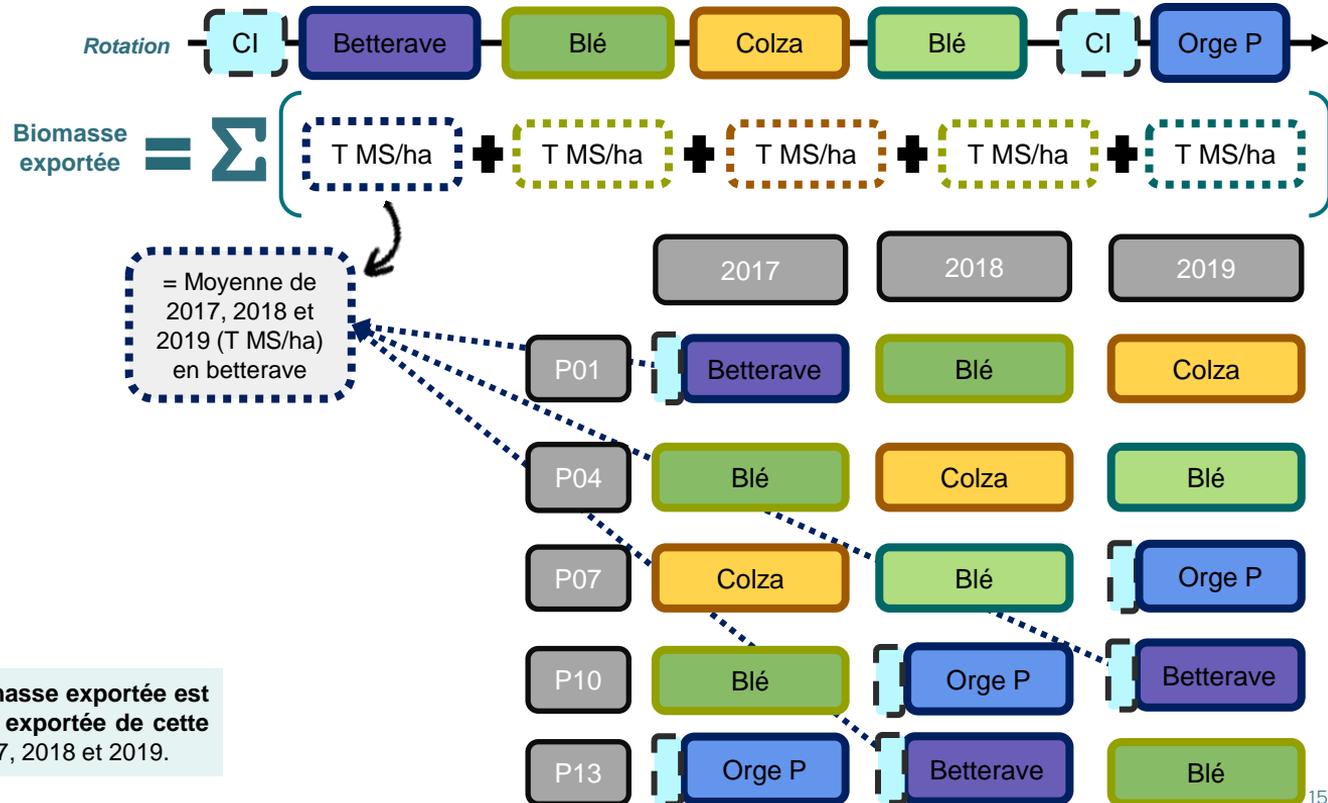
Point méthode

Les trois rotations suivies sur la plateforme sont toutes d'une durée de 5 ans. L'essai a été conduit sur cette durée, de 2015 – 2016 à 2019 – 2020, 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 (2019 – 2020) et les résultats de la campagne 2015 – 2016 n'ont pas été pris en considération car les essais des autres plateformes d'essai n'ont démarré qu'en 2016 – 2017.

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 5). 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 5)
Cas du système *Témoin*



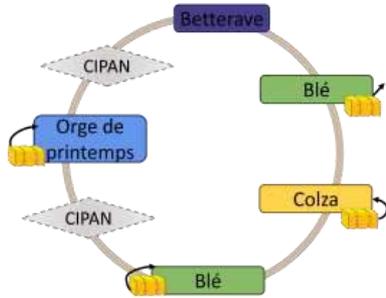
Pour chaque culture de la rotation, la **biomasse exportée est définie par la moyenne de la biomasse exportée de cette culture**, obtenue à partir des données 2017, 2018 et 2019.



Résultats d'exportation de biomasse

Hypothèse :

Gradient croissant de production de biomasse



Témoin

58 T MS/ha
129 T MB/ha



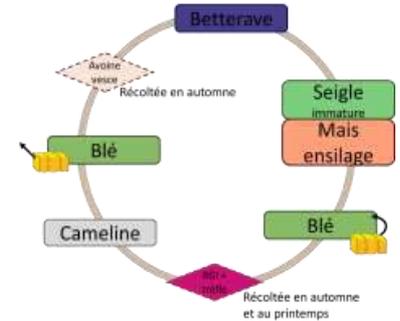
Alimentaire Prioritaire

62 T MS/ha
136 T MB/ha



Biomasse Prioritaire

58 T MS/ha
170 T MB/ha



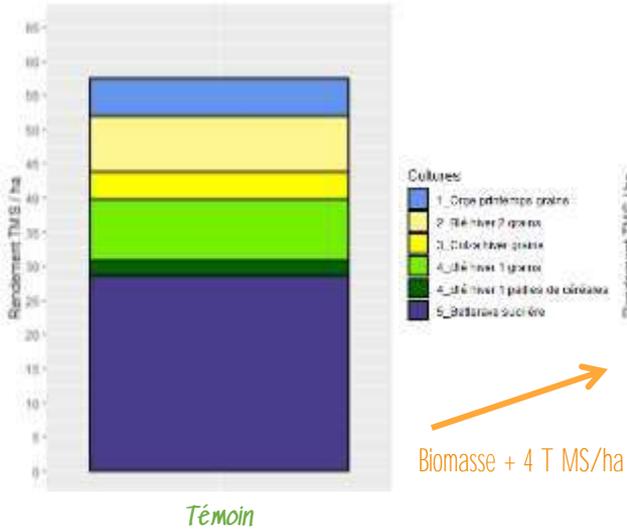
L'objectif de gradient d'exportation de biomasse est atteint avec le système culture *Alimentaire prioritaire*. Cependant, il ne l'est pas pour le scénario *Biomasse prioritaire*.

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

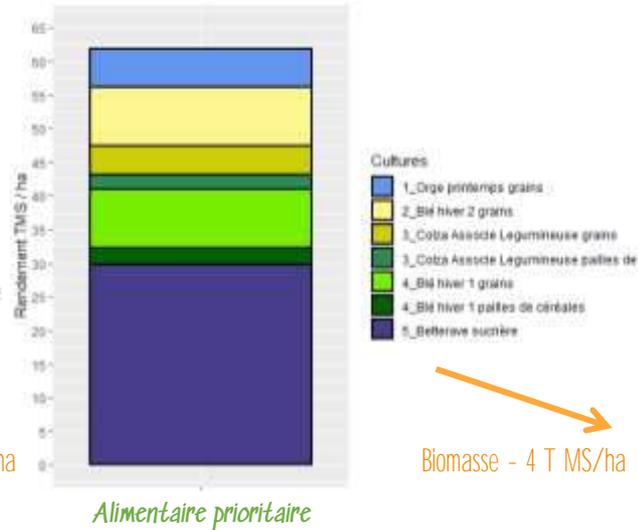


Contribution des cultures à la biomasse exportée

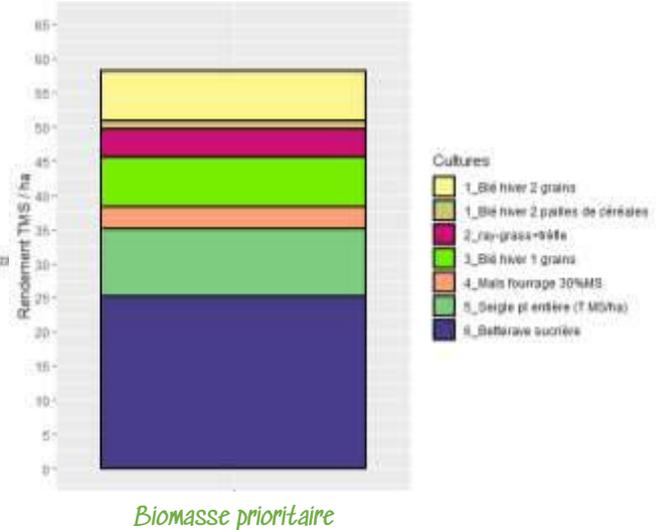
Cumul de biomasse



Cumul de biomasse



Cumul de biomasse



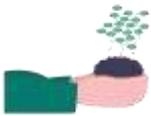
- ❶ La betterave contribue pour plus de la ½ à la biomasse exportée
- ❷ Exportation d'1 paille de blé de 2,3 TMS/ha
- ❸ Les rendements des cultures principales sont proches des objectifs* du pilote

- ❶ Pas d'exportation de la CIVE d'été
- ❷ Exportation de 2 pailles : colza (2,2 TMS) et blé (2,5 TMS/ha)
- ❸ Les rendements des cultures principales sont conformes aux objectifs* du pilote et légèrement supérieurs à ceux du témoin : cas du colza (associé à une légumineuse) et au blé de colza.

- ❶ Pas d'exportation de la CIVE d'été
- ❷ Exportation de la double culture dédiée (13 T MS/ha)
- ❸ Exportation d'1 paille de blé (1,2 T MS/ha)
- ❹ Exportation du ray-grass (4 T MS/ha)
- ❺ Pas de récolte de la caméline (pas d'exportation)
- ❻ Pour une majorité des cultures, les rendements sont inférieurs aux objectifs* du pilote (y compris des blés).

La quantité de biomasse exportée par le témoin peut-être considérée comme représentative du contexte pédologique.





Les niveaux de rendements des cultures principales

- Objectifs de rendements et méthode -

Objectifs de rendement fixés par le pilote de la plateforme

Rendement	Objectif de rendement* fixé par le pilote de la plateforme	Moyenne rendement pour la Somme 2017-2019 ** (rendement machine)
Betterave	90 T brut/ha	90 T / ha
Blé hiver	90 qx/ ha	89 qx / ha
Colza	40 qx/ha	40 qx / ha
Orge Printemps	75 qx/ha	72 qx / ha
Maïs ensilage	12 T MS/ha	13 T MS / ha
Caméline	Maturité atteinte	Pas de référence
Seigle	12 T MS/ha	
Ray-grass	8 T MS/ha	

* Rendements aux normes commerciales

** Source des données : DRAAF, bilan conjoncturel de 2017, 2018, 2019

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

METHODOLOGIE

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

⊕ Atteinte de l'objectif annuel de la culture

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

Par exemple :

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

⊕ Atteinte moyenne de l'objectif de rendement de la culture

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

Par exemple :

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

⊕ Atteinte moyenne des objectifs de rendement du système

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

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



Les niveaux de rendements des cultures principales

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

Il met en évidence que **les rendements des scénarios *Témoin* et *Alimentaire prioritaire* sont en moyenne très proches des objectifs de rendement du pilote pour une bonne partie des cultures chaque année.** En effet, pour ces 2 scénarios, on est très proche des 100% d'atteinte des objectifs du pilote.

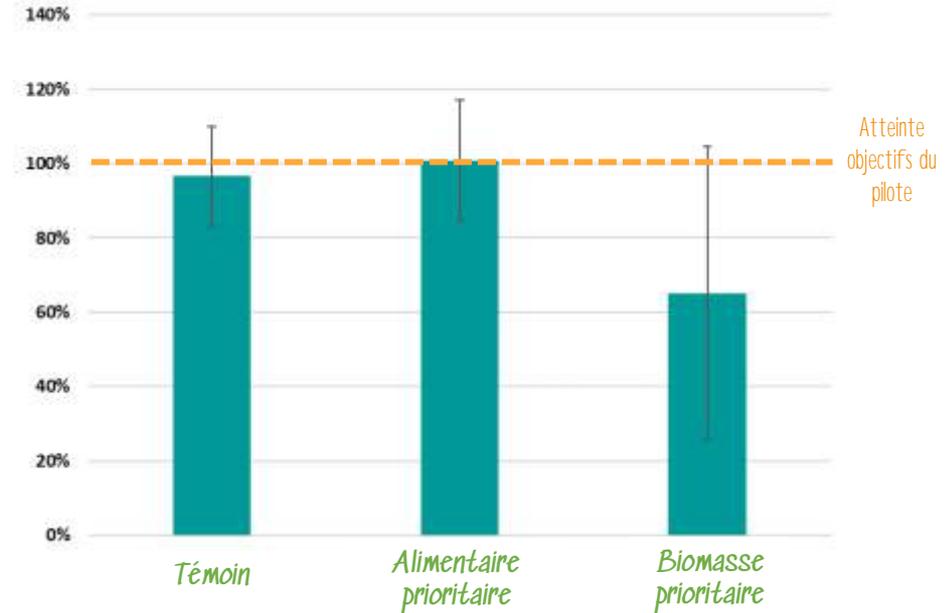
L'analyse des écart-types (barres noires verticales) met en évidence qu'il y a néanmoins des cultures et/ou des années où les rendements sont inférieurs aux objectifs (<100%) et d'autres où les rendements dépassent les objectifs (>100%). Par exemple, pour le scénario *Alimentaire prioritaire*, les valeurs varient de 82% à 130% d'atteinte des objectifs de rendement.

Les éléments suivants expliquent plus précisément ces variations :

- L'orge de printemps est chaque année inférieure à l'objectif fixé. Il est possible que l'objectif était surestimé par rapport au potentiel puisque les rendements moyens du reste de la ferme et du département sont également inférieurs à l'objectif.
- En 2019, le rendement du colza est de 37 qx/ha au lieu de 45qx/ha en lien avec les conditions climatiques défavorables de l'année.

Les objectifs de rendement ne sont pas atteints pour les cultures du scénario *Biomasse prioritaire* avec seulement 74 %.

- Les rendements de la double culture n'atteignent jamais l'objectif de production de biomasse attendue chaque année : les rendements du maïs sont toujours inférieurs à ceux escomptés et ceux du seigle le sont également en 2018 et 2019. Cependant, en 2017, le rendement du seigle atteignait tout juste l'objectif de rendement fixé.
- Le ray-grass - trèfle a été récolté une seule fois avec un rendement bien inférieur à celui escompté (4 TMS/ha), suivi de la cameline qui n'a jamais pu être récoltée.



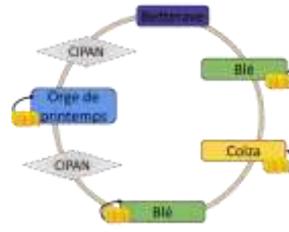
Atteinte moyenne des objectifs de rendement fixés par le pilotes pour les années 2017 à 2019

(rendements estimés par placettes)

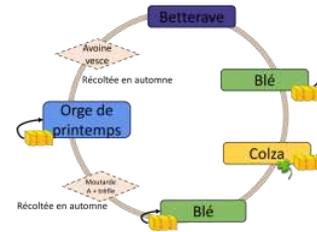
Faisabilité technique des leviers de production de biomasse

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

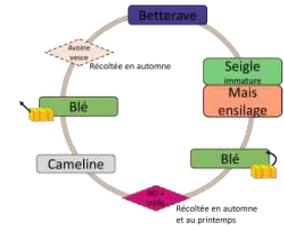
- ❶ L'exportation de paille de blé et de colza
- ❶ Les CIVE
 - D'hiver à 2 récoltes
 - D'été courte
- ❶ La double culture dédiée à la biomasse
- ❶ La culture dédiée de caméline



Témoin



Alimentaire prioritaire



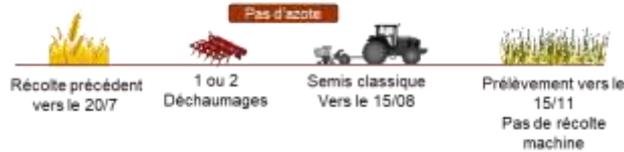
Biomasse prioritaire

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. **Dans cette partie, l'accent est mis sur les autres leviers de production de biomasse, à savoir les CIVE, la double culture dédiée et la culture dédiée de caméline.**

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

Éléments apparaissant pour chacun des levier de production de biomasse

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 ³ CH ₄ /ha	510 m ³ CH ₄ /ha	820 m ³ CH ₄ /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.



Les cultures intermédiaires à vocation énergétique

Vous avez dit « CIVE » ?

La CIVE, Culture Intermédiaire à Vocation Energétique, 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^{ème} récolte au printemps (exemple mélange à base de ray-grass - trèfle).

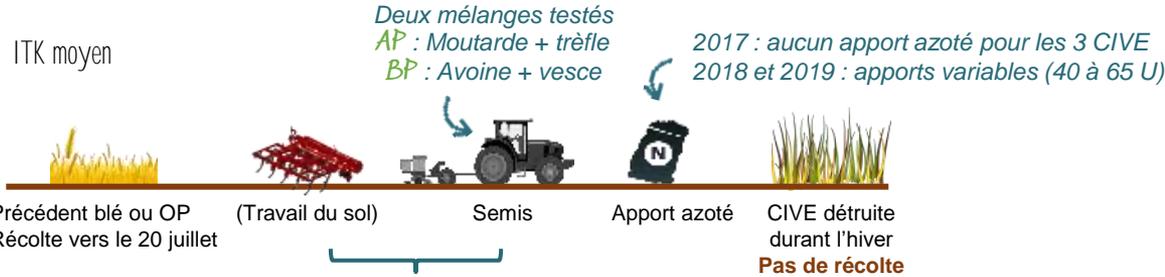
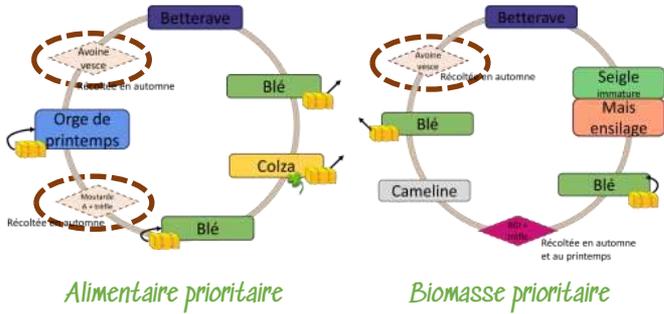


Dans cet essai système de culture, deux types de CIVE ont été testés : les **CIVE d'hiver à 2 récoltes** et les **CIVE d'été courte**.



Faisabilité technique des CIVE d'été

- Itinéraire technique -



Différentes techniques d'implantation ont été testées : semis direct ou semis après 1 ou 2 déchaumages.

Les semis de la CIVE ont eu lieu entre août et septembre, selon les années.

- ① Trois cives courtes étaient présentes chaque année : deux dans le scénario alimentaire et une dans celui biomasse. Ainsi, sur les trois campagnes culturales étudiées, neuf modalités de CIVE courtes ont été testées.
- ① Différentes modalités d'implantations ont été testées : le semis direct et le semis après la réalisation d'un ou de deux déchaumages. Il en ressort que le semis direct peut permettre de gagner du temps et de semer plus précocement après la moisson. Si le travail du sol accentue l'évapotranspiration, en semis direct, l'humidité résiduelle du sol est, elle, davantage conservée, ce qui favorise l'implantation de la CIVE, à condition de semer rapidement après la récolte du précédent. En effet, en retardant le semis direct, cet avantage s'estompe.
- ① Deux mélanges d'espèces ont été testés : un mélange d'avoine et de vesce (précédent orge de printemps et précédent blé) et un mélange de moutarde et de trèfle (précédent blé).
- ① En 2017, aucun apport azoté n'a eu lieu. A la vue du faible rendement de la CIVE en 2017 sur les trois parcelles, des apports azotés ont été réalisés en 2018 et 2019 sur certaines modalités de CIVE afin d'évaluer ce facteur (limitant ou non). Il a pu être constaté que les rendements des trois CIVE demeurent très proches quelque soit le précédent, l'apport azoté (réalisé ou non) et la modalité d'implantation.



Dans les essais, la date des semis directs est équivalente à la date de semis sur les parcelles ayant connues un voire plusieurs déchaumages avant le semis. Elle n'est donc pas plus précoce. Généralement, les semis des trois parcelles ont eu lieu le même jour.



Faisabilité technique des CIVE d'été

- Evaluation agronomique -

Levée de la CIVE

- Les conditions généralement sèches au semis et à la levée (manque de précipitations et parcelle en stress hydrique) ont entraîné une levée hétérogène, difficile et faible. Cela s'est traduit par un manque de pieds conséquent, non rattrapable sur la suite du cycle de culture. L'hétérogénéité (densité, stade, hauteur de végétation ...) se retrouve jusqu'à l'automne.

Cas particulier en 2019 pour une modalité d'avoine - vesce où la densité de semis était plus importante : la levée est plus satisfaisante comparée aux deux autres modalités où l'ITK était identique.

Gestion des adventices et des ravageurs

- Les repousses du précédent très nombreuses et la présence d'autres adventices ont entraîné une concurrence importante notamment pour l'eau et l'azote dès le semis, quelque soit le mode de semis.
- Dégâts observés de divers ravageurs : pucerons, mulots, limaces, gibiers ... affaiblissant davantage la CIVE

Mélange testé

- Forte dominance de l'avoine ou de la moutarde dans la biomasse produite. Les légumineuses ne se sont presque pas développées et étaient absentes à la récolte.

	CIVE d'été
Rendement moyen (plante entière)	1,63 TMS / ha [1 à 2,4 TMS / ha]
Potentiel méthanogène	260 m ³ CH ₄ / TMS

**Les rendements présentés correspondent à des rendements placettes*



Seuil de rentabilité de récolte machine fixé à 3 TMS / ha



Aucune récolte des CIVE courtes

Le semis de la CIVE après une céréale ou un colza est trop tardif. Il faut **semier au plus tard le 15 juillet** pour satisfaire les conditions de croissance minimales. En effet, le cumul de rayonnements et de températures sont les facteurs principaux de production de biomasse sur un cycle très court.

La réussite de ce levier dépend également des conditions météorologiques (précipitations) à la levée.

Il faut considéré la récolte d'une CIVE d'été comme une récolte d'opportunité. En effet, la réussite de ce levier de production de biomasse est aléatoire (précipitations, rayonnement, température).

La gestion des repousses et résidus du précédent également est à bien prendre en compte.



POUR ALLER PLUS LOIN

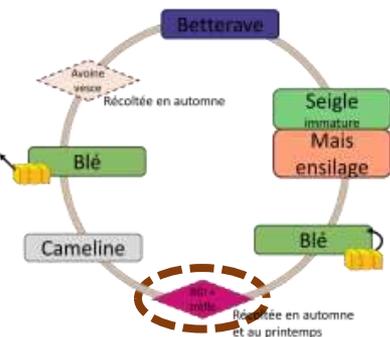
Découvrez notre guide technique et vidéos sur notre espace dédié à la production de CIVE

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



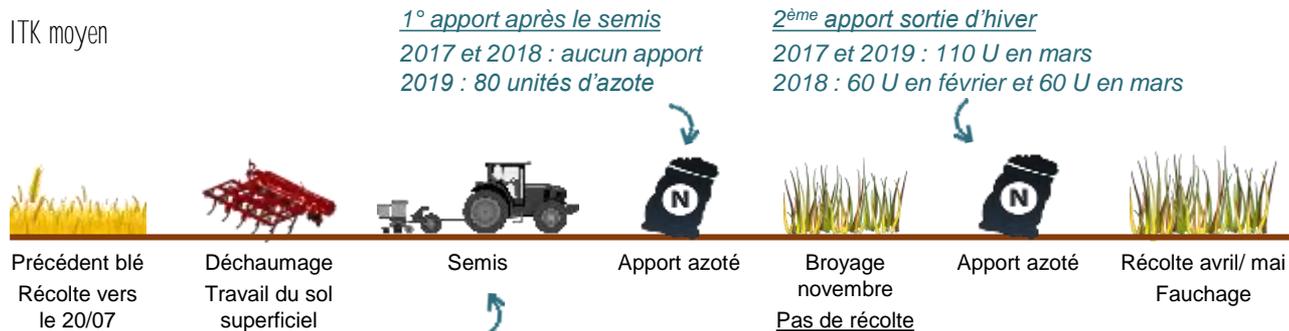
Faisabilité technique des CIVE d'hiver à 2 récoltes

- Itinéraire technique -



Biomasse prioritaire

ITK moyen



1^o apport après le semis
2017 et 2018 : aucun apport
2019 : 80 unités d'azote

2^{ème} apport sortie d'hiver
2017 et 2019 : 110 U en mars
2018 : 60 U en février et 60 U en mars

*Ray-grass italien (70% au semis) + Trèfle violet (30%)
Semis en août ou en septembre selon les années*

	Automne	Printemps	Part du trèfle dans le rendement final
Rendement moyen plante entière	< 1 TMS / ha	5,5 TMS / ha [2,8 à 7,4 TMS / ha]	Trèfle absent à la récolte en 2017 et en 2019
Potentiel méthanogène	276 m ³ CH ₄ / TMS		Présent en 2018 (20 % de participation au rendement final)

Seuil de rentabilité de récolte machine fixé à 3 TMS / ha



Forte dominance du RGI dans la biomasse produite. Les légumineuses ne se sont presque pas développées.

- ❖ La biomasse produite à l'automne reste très faible même avec un apport azoté de 80 unités juste après le semis de 2019.
- ❖ Les rendements au printemps de 2017 et 2019 sont satisfaisants par rapport au rendement fixé par le pilote de 8 TMS / ha mais ce n'est pas le cas en 2018 où le rendement est très faible (cf explication diapo suivante).



Faisabilité technique des CIVE d'hiver à 2 récoltes

- Evaluation agronomique et faisabilité technique -

La récolte d'automne

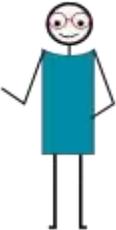
Aucune différence de rendement à l'automne entre les 3 années. Le rendement reste toujours inférieur aux 3 TMS/ha attendus pour une récolte machine.

- ❶ Conditions sèches (parcelles en stress hydrique et précipitations très faibles) au semis et à la levée qui est ainsi plus lente et plus difficile
- ❷ Présence très importante de repousses de blé et d'adventices dès le semis et jusqu'à la récolte entraînant une compétition importante pour l'eau et également pour l'azote
- ❸ Semis peu de temps après le déchaumage qui, par conséquent, a pu avoir l'effet d'un faux-semis. Les adventices ont levé en même temps que la cive, lui faisant concurrence.
- ❹ Croissance lente du trèfle. Le RGI, plus développé, prend le dessus.

La récolte de printemps

Des différence de rendement entre les années dues aux conditions météorologiques

- ❶ Les conditions météorologiques sont favorables en sortie d'hiver 2017 et 2019, permettant une bonne production de biomasse, (respectivement de 6 et 7 TMS/ha) : sortie d'un hiver très doux, pluviométrie correcte favorisant une reprise de la végétation précoce.
- ❷ En revanche, ce n'est pas le cas en sortie d'hiver 2018, pénalisant la biomasse produite qui est seulement de 2 TMS/ha : hiver très pluvieux de novembre à janvier (deux fois supérieur aux normales de saison), sortie d'hiver froid, gel tardif pénalisant la reprise de la végétation (croissance plus tardive) et rayonnements déficitaires.

- 
- ❶ Le semis est trop tardif après une céréale pour permettre une récolte à l'automne (semis idéal au plus tard mi-juillet) dans ces conditions climatiques, même avec un apport azoté suivant le semis : rayonnements déficitaires et conditions sèches défavorables à l'implantation.
 - ❷ La biomasse produite au printemps dépend beaucoup des conditions météorologiques en sortie d'hiver (notamment thermiques : doux ou froid) qui impactent la reprise de croissance. Elle dépend également de l'apport azoté en sortie d'hiver. Un apport précoce pourra être mieux valorisé.
 - ❸ Le ray-grass présente un bon potentiel de production de biomasse (en moyenne 6 TMS/ha) mais peut avoir un impact sur la culture suivante : difficulté de gestion des repousses de RGI & de préparation du sol pour l'implantation (très sec, motteux, chevelu racinaire et mottes de RGI importants ...)

POUR ALLER PLUS LOIN

Découvrez notre guide technique et vidéos sur notre espace dédié à la production de CIVE

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



Faisabilité technique de la double culture biomasse

- Définition -

Vous avez dit « double culture dédiée » ?

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



Les résultats obtenus sont présentés ci-après.

- 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 derrière et récoltée en début d'automne afin de permettre une culture alimentaire l'année suivante, sans la pénaliser.

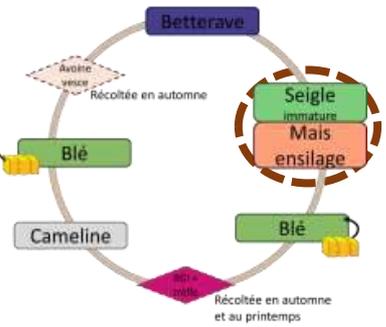


Exemples de double culture insérée dans une rotation

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



Faisabilité technique de la double culture biomasse



Biomasse prioritaire

ITK moyen

2017 : 70 UN
2018 : 80 UN
2019 : 80 UN (février) + 60 UN (mars)

Récolte betterave en octobre

Travail du sol

Semis seigle début octobre
2017 : Turbogreen
2018 : Su phœnix
2019 : Su phœnix / Su performer

Apport azoté en sortie d'hiver

Récolte seigle
2017 : 14/06
2018 : 28/05
2019 : 21/05

Labour ou déchaumage / Semis maïs + azote
2017 : Severus - 19/06 - 60U
2018 : Severus - 13/06 - 110U
2019 : Carleso_Maxim - 06/06 - 120U

Récolte vers septembre octobre

La récolte du seigle s'est fait de plus en plus précocement au fur et à mesure de l'avancement du projet pour permettre un semis du maïs plus précoce.

Ainsi, le stade du seigle à la récolte est différent chaque année :

- Stade grain laitoux en 2017 avec un rendement de 12 TMS / ha,
- Stade floraison en 2018 et en 2019 avec un rendement respectivement de 11 TMS / ha et de 7 TMS / ha.

Concernant le maïs, l'objectif est d'arriver à un taux de matière sèche de 32 % pour permettre une récolte ensilage à l'automne.

	Seigle	Maïs	Double culture
Biomasse exportée rendement placette	10 T MS/ha [12-7 TMS]	3 T MS/ha [2-4 T MS]	13 T MS/ha
Potentiel méthanogène	275 m ³ CH ₄ / TMS	351 m ³ CH ₄ / TMS	

La diapositive suivante présente l'évaluation agronomique du seigle pour l'année 2019 afin de comprendre les raisons du faible rendement observé, ainsi que l'évaluation agronomique du maïs dont la production de biomasse est très faible.



Évaluation agronomique de la double culture biomasse

Le seigle

- ④ Le seigle 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)
- ④ En 2017 et 2018, les rendements du seigle sont conformes aux objectifs fixés. En revanche, il est faible en 2019 :
 - Le lot de semences semées le 16/10/19 était mauvais. La culture n'a pas levé. Un re-semis a ainsi dû être réalisé tardivement le 20 novembre.
 - Suite au re-semis tardif, la levée fût faible et hétérogène. La culture était peu vigoureuse avant l'hiver, elle n'a pas eu le temps de correctement s'implanter.
 - En sortie d'hiver, il ne restait que 30 % de pieds dans la parcelle. La perte de pieds n'a pas été compensée par le tallage. La couverture faible du sol a entraîné un salissement important.

Le maïs

- ④ Levée faible et hétérogène entraînant un manque de pieds conséquent et une couverture du sol faible
- ④ Du semis au remplissage des grains, les conditions ont été très sèches (manque de précipitations et parcelle en stress hydrique).
- ④ Stress azoté induit par les conditions de sèches (mauvaise valorisation de l'azote)
- ④ Cas particulier du maïs en 2017 - Rendement de 2 T MS/ha
 - Enormément de repousses du seigle précédent qui avait versé, ayant conduit à une forte concurrence pour l'eau et l'azote entre la culture, les repousses et les adventices présentes dès la levée (aucune intervention herbicide).
 - Le seul déchaumage réalisé avant le semis a conduit à de nouvelles levées d'adventices et du seigle.

Cette double culture de seigle suivi d'un maïs ne permet pas ici une production de biomasse élevée, dû notamment à la faible biomasse du maïs en lien avec son semis trop tardif et aux conditions hydriques sèches auxquelles est sensible le maïs.

Dans les autres systèmes de culture et sur les autres plateformes, le potentiel de production de biomasse de la double culture atteint **26 TMS/ha avec un seigle suivi d'un sorgho**, plus tolérant à la sécheresse et avec une date de récolte de la première culture vers le 15/05.

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/>





Faisabilité technique de culture dédiée

- La cameline -

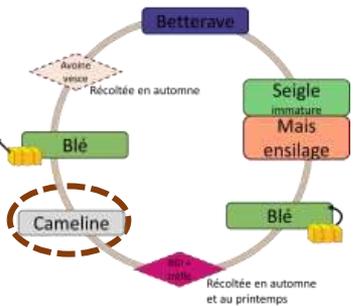
Dans le système de culture *biomasse prioritaire*, la culture dédiée de cameline a été testée.

Les résultats obtenus sont présentés ci-après.





Faisabilité technique de la cameline après une cive longue



Biomasse prioritaire

ITK moyen



La maturité de récolte n'étant jamais atteinte, les parcelles ont été broyées chaque année. Des estimations de rendement ont tout de même été réalisées après passage en étuve d'un échantillon pour le faire sécher.

Rendement placette

Estimation de la biomasse plante entière

2017	6,4 à 10 qx/ha
2018	4,3 à 5,6 qx/ha
2019	<i>Pas de cameline Essai de plusieurs coupes de RGI + trèfles sur l'année</i>

En 2019, le choix a été fait de ne pas planter de cameline à la vue des échecs des années précédentes. De plus, un salissement important des parcelles est observée après cameline (couverture du sol très faible, ce qui favorise l'apparition des adventices), ce qui remet également en cause le faisabilité technique de ce système.

- ❖ La cameline a été implantée dans des conditions non optimales derrière ray-grass : sol très sec, structure du sol motteuse et compacte, chevelu racinaire du RGI dense. Cela a entraîné un mauvais contact graine – sol, d'autant que la graine de cameline très petite, induisant un taux de levée faible et hétérogène et, par la suite, un peuplement faible favorisant le développement des adventices.
- ❖ La caméline est une culture peut couvrante. Les repousses de RGI et le développement d'adventices (chénopodes) furent importants, entraînant une concurrence pour l'eau et l'azote, d'autant plus impactante que les conditions sont sèches derrière un RGI.



❖ Besoin de davantage de travaux sur cette culture encore peu connue dans les Hauts-De-France.

❖ D'après le résultats des essais, **la faisabilité technique de la caméline derrière une dérobée de ray-grass ne semble pas possible** : implantation difficile due au chevelu racinaire dense et au sol sec, difficulté de gestion des repousses, semis trop tardif (maturité non atteinte)



Exportation de biomasse en comparaison des autres plateformes

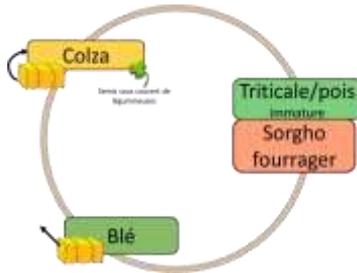
Afin de rendre compte de l'ordre de grandeur de la biomasse exportée atteinte sur la plateforme de la Ferme 3.0 avec un système betteravier, les niveaux de biomasse exportées sur les autres plateformes pour les scénarios *biomasse prioritaires* sont donnés à titre indicatif.



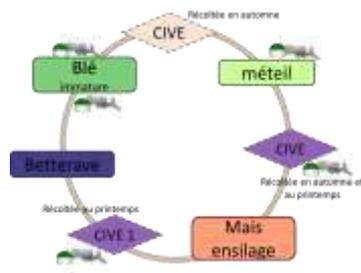
Système betterave (80)



Système betterave (02)



Système SCOP (80)



Système polyculture-élevage (60)



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 pédoclimatiques.

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

Biomasse prioritaire	Cumul sur 4 ans
Système betterave (80) <i>Limon argileux</i>	46 T MS/ha
Système betterave (02) <i>Limon profond</i>	66 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

- ❖ Le système betterave de la Ferme 3.0 exporte bien moins que celui de Landifay. Les quantités de biomasse exportée avec les cultures de RGI, de Cameline (4 T MS/ha) et pour la double culture (13 T MS/ha à la Ferme 3.0 contre 26 T MS/ha à Landifay) sont très faibles en comparaison des rendements atteints sur la plateforme de Landifay.
- ❖ Le cumul d'exportation de biomasse du système betterave de la Ferme 3.0 est proche du celui du système SCOP (80). Si la présence d'une betterave sucrière dans le système permet d'exporter 25 T MS/ha, les faibles rendements, pour cet essai, des cultures de RGI, de cameline et de la double culture viennent, elles, pénaliser le cumul d'exportation de biomasse.
- ❖ Système polyculture-élevage (60) : la succession de cultures biomasses/fourragères permet d'exporter des quantités de biomasse plus importantes.



Partie 3

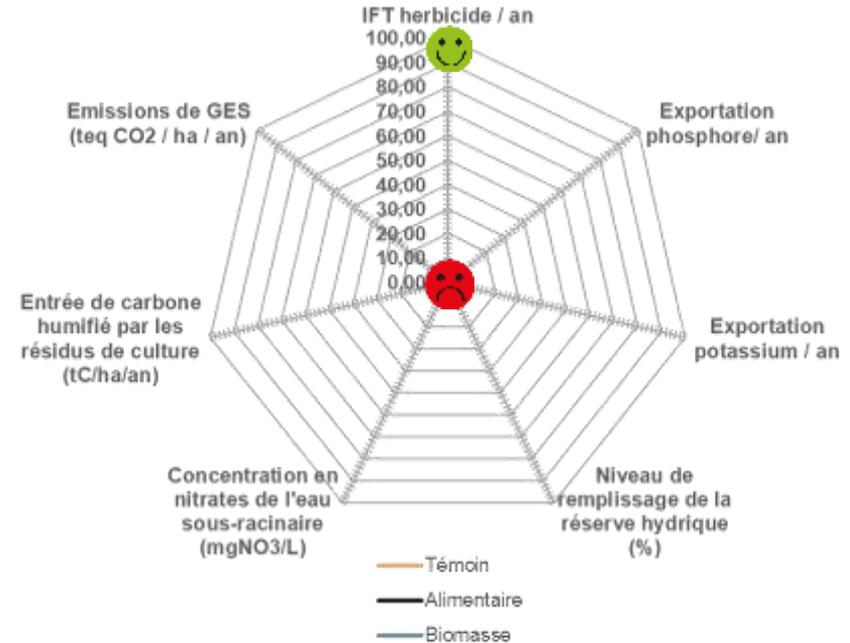
Conséquences agronomiques et environnementales des modifications du système et de l'exportation supérieure de biomasse

- 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)

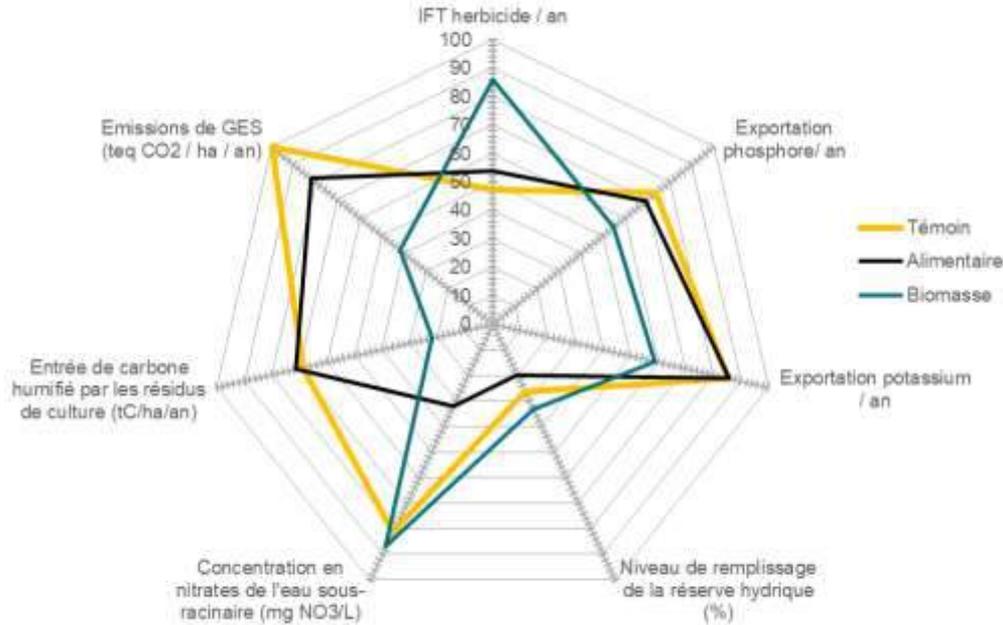
Exemple avec l'IFT Herbicide (H) de la rotation

- l'IFT H maxi des PF = 2,65 → 0% (moins bonne performance)
- l'IFT H mini des PF = 1,02 → 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 = 1,88 → 47 %



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 P2O5/ha/an	83 kg P2O5/ha/an
Exportation potassium	40 kg K2O/ha/an	338 kg K2O/ha/an
Niveau de remplissage de la réserve hydrique en entrée hiver	97%	82%
Concentration en nitrates de l'eau sous-racinaire	56 mgNO3/L	14 mgNO3/L
Entrée de carbone humifié par les résidus de culture	2,3 TC/ha/an	1 TC/ha/an
Emissions de GES	3 TCO ₂ /ha/an	5 TCO ₂ /ha/an

Les trois systèmes présentent des performances environnementales distinctes rendant difficile d'en distinguer un plus vertueux que les autres.

Aucun des scénarios ne présente globalement des performances environnementales meilleures que les autres.



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

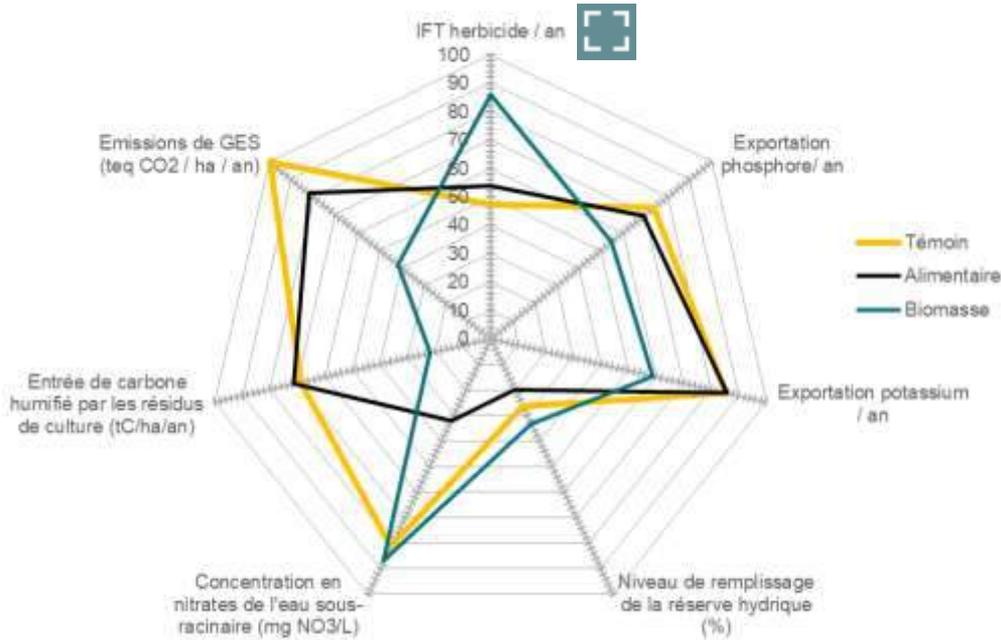
- ❶ Une première diapo où le graphique radar permet d'identifier l'indicateur qui va être présenté, les bornes utilisées pour construire le radar et le positionnement des 3 scénarios sur cet axe.
- ❷ Une deuxième diapo expliquant la méthode utilisée pour calculer l'indicateur et ce que l'indicateur peut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



Zoom indicateur

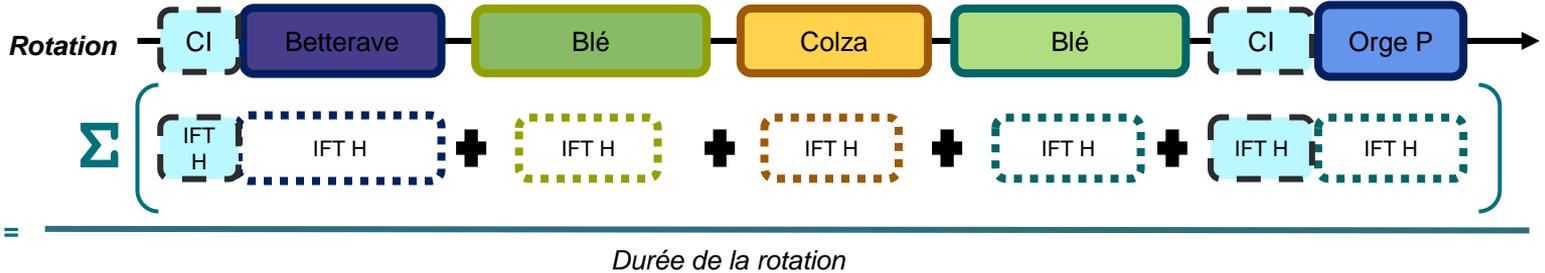
Les résultats environnementaux

- Niveau de protection herbicide des systèmes -



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

- ❶ 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)
- ❷ Il correspond aux nombres de doses homologuées de produits phyto appliquées à l'hectare.



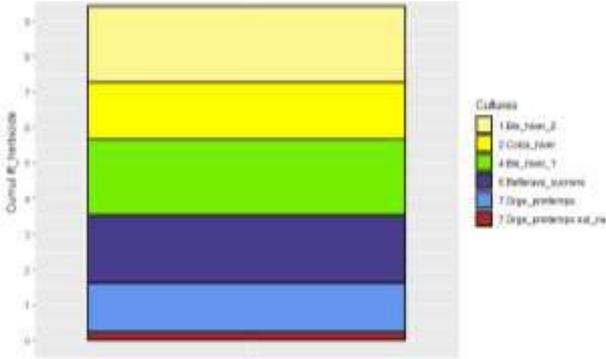
L'IFT Herbicide peut traduire :

- ❶ 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)
- ❷ Mais cela est à relativiser car l'IFT H dépend aussi du raisonnement du pilote, et en particulier de son niveau de tolérance au salissement.

Résultats IFT herbicide de la rotation

- Comparaison du *témoin* aux références régionales -

Témoin



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

	IFT H	Références régionales 2017
Blé 2	2	1,9
Colza	1,75	1,8
Blé 1	2	1,9
BS	2	2,5
Op	1,75	1,75
<i>Cumul pour une même rotation</i>	9,5	9,85

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

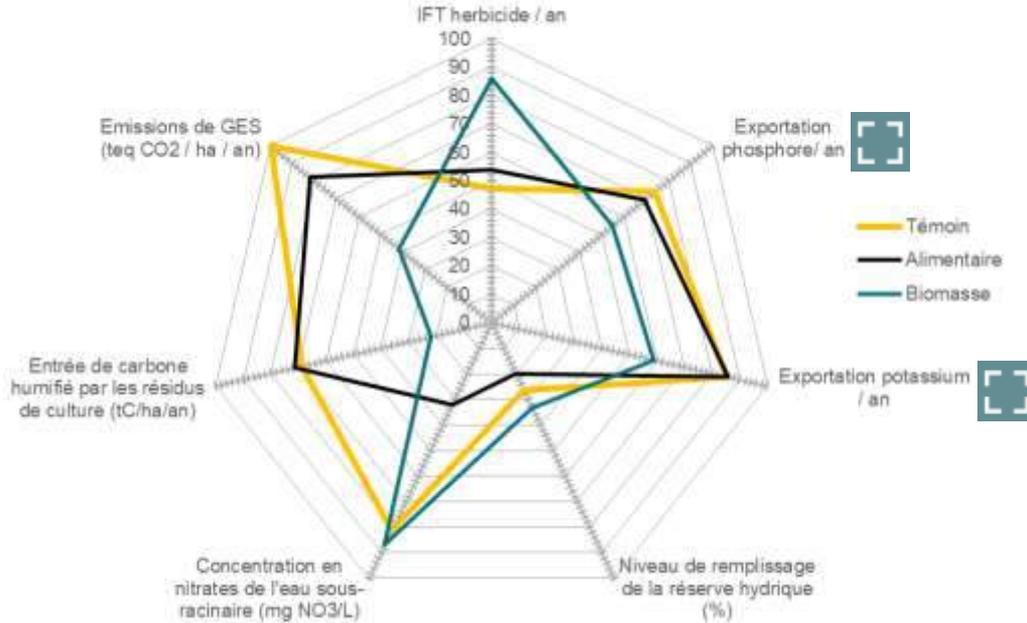


En cumul, pour la même rotation et en réalisant un cumul des références, l'IFT H du *témoin* est proche d'un IFT calculé avec des références régionales pour le même système.

On peut donc considérer que les pratiques de protection des cultures vis-à-vis des adventices réalisées sur dans ce témoin sont représentatifs de ce type de système.

Les résultats environnementaux

- Exportation de phosphore et de potassium des systèmes -



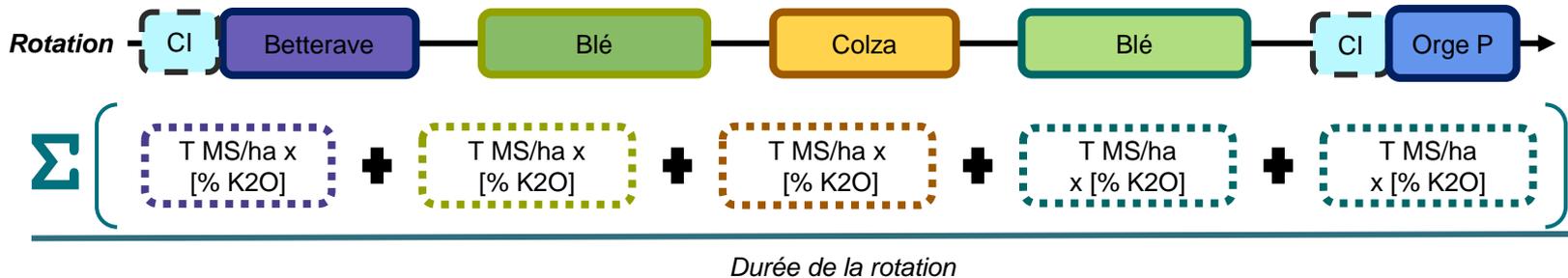
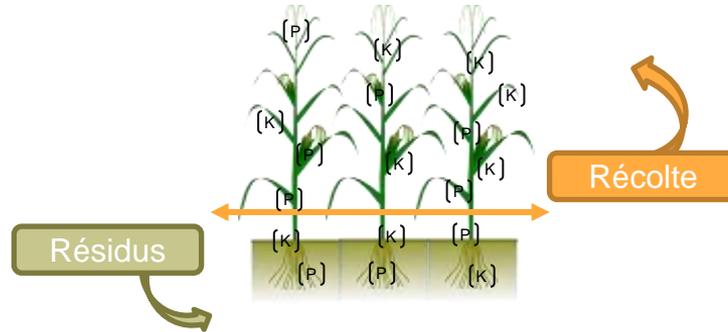
	Borne valant 100 %	Borne valant 0 %
Exportation phosphore	33 kg P2O5/ha/an	83 kg P2O5/ha/an
Exportation potassium	40 kg K2O/ha/an	338 kg K2O/ha/an

Exportation de P₂O₅ (P)

La quantité de P₂O₅ (kg/ha) exportée à l'échelle de la rotation, pour chaque système de culture

Exportation de K₂O (K)

La quantité de K₂O (kg/ha) exportée à l'échelle de la rotation, pour chaque système de culture

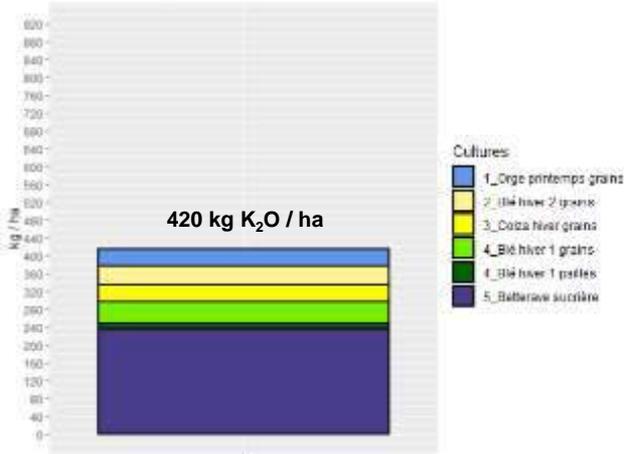


Ce que nous disent les valeurs de P et K exportés :

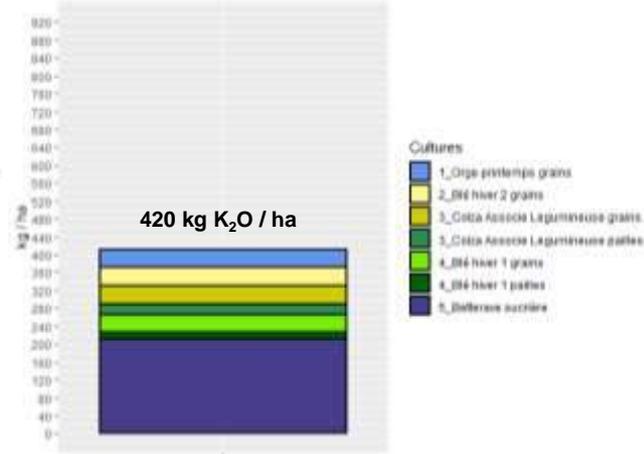
- Un système de culture avec un niveau d'exportation élevé en P/K peut conduire à abaisser la biodisponibilité du P/K dans le sol et nécessitera des apports de fertilisation potassique et/ou phosphatée importants pour compenser l'exportation. Cette compensation a un coût économique et environnemental.

Exportation totale de potassium pour la rotation par hectare

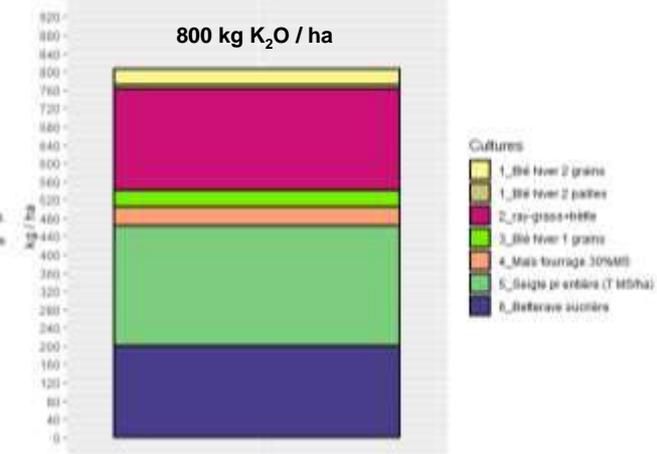
Témoin



Alimentaire prioritaire



Biomasse prioritaire



La quantité de potassium exportée, à l'échelle de la rotation est supérieure pour le système *Biomasse prioritaire* et équivalente pour les systèmes *alimentaire prioritaire* et *témoin*.

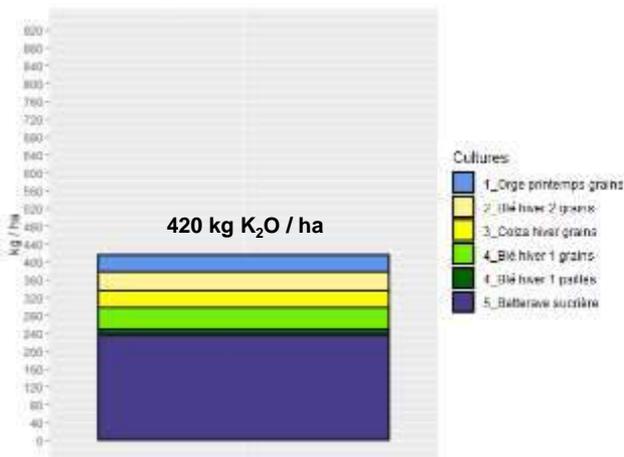
Cependant, la quantité de potassium exportée ne suit pas la quantité de biomasse exportée puisque le système *BP* exporte moins de biomasse que le système *AP*.

CUMUL D'EXPORTATION DE BIOMASSE

	Témoin	AP	BP
Cumul d'exportation de biomasse	58 tMS/ha	62 tMS/ha	58 tMS/ha

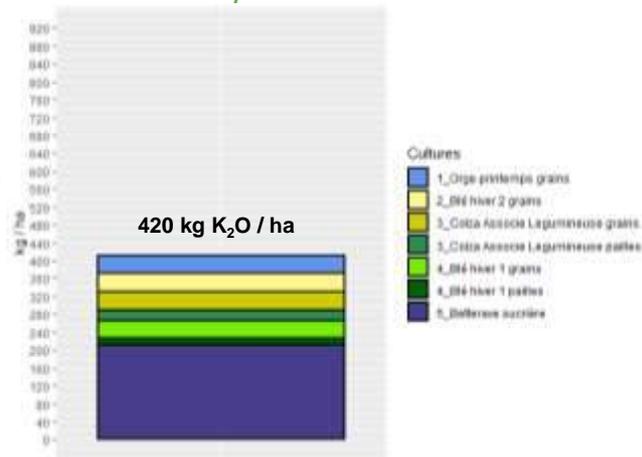
Exportation totale de potassium pour la rotation par hectare

Témoin



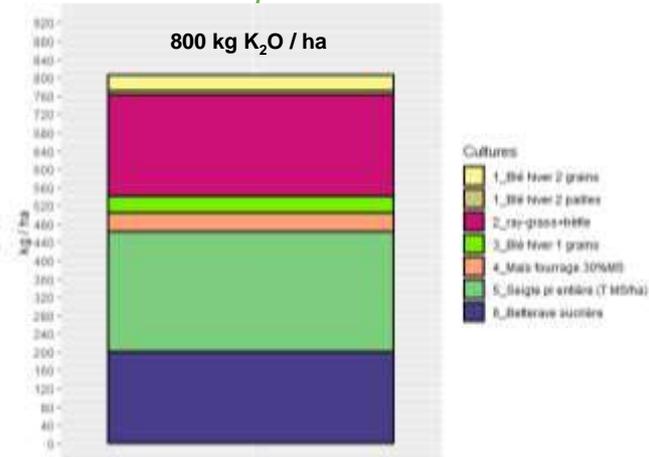
Exportation de 7,2 kg K₂O / TMS

Alimentaire prioritaire



Exportation de 6,8 kg K₂O / TMS

Biomasse prioritaire



Exportation de 13,8 kg K₂O / TMS

L'essentiel du K est présent **dans les tiges et feuilles**, donc **en exportant des plantes entières** (comme avec le **Ray-grass italien – Trèfle** et la double culture **Seigle – Maïs** du système *Biomasse prioritaire*), **on exporte plus de K₂O / T MS**.

Le rendement moyen du **maïs** du système *Biomasse prioritaire* étant très faible, il est normal de constater une faible quantité de K exporté.

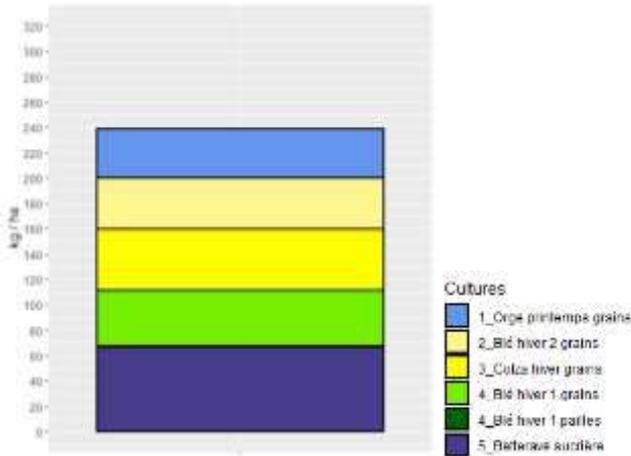
« Les cultures « sans résidus » de type maïs ensilé, céréales avec pailles exportées... abaissent de manière sensible la biodisponibilité du K dans le sol du fait, qu'après avoir prélevé de grandes quantités de K, elles n'en restituent que très peu. **« Comifer »** »



Il faut prendre en considération ces exportations importantes de potassium lors d'exportation de biomasse, notamment de plante entière. Des apports de fertilisation K₂O sont nécessaires pour compenser les exportations importantes liées à l'exportation de plantes entières.

Exportation totale de phosphore pour la rotation par hectare

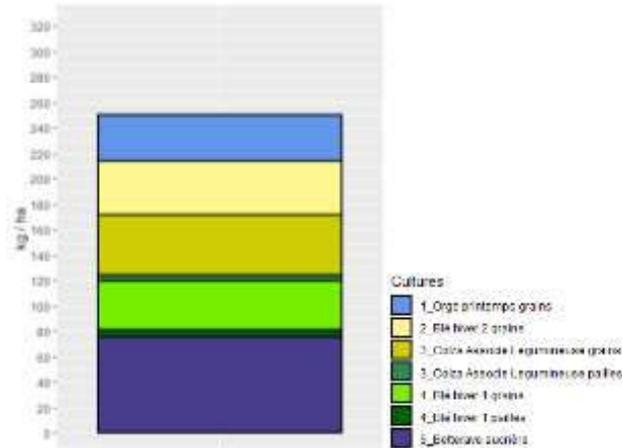
Témoin



240 kg P₂O₅ / ha

4,1 kg P₂O₅ / TMS

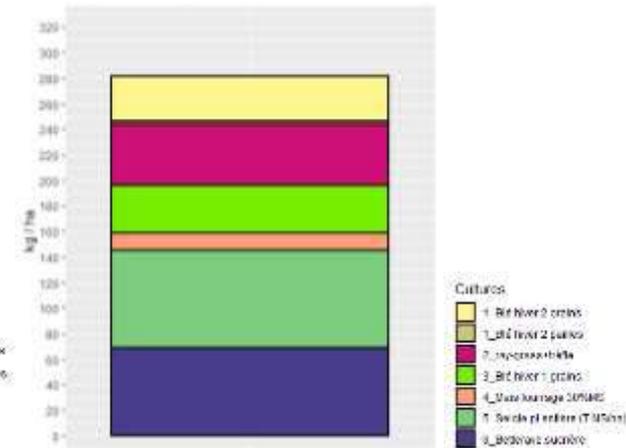
Alimentaire prioritaire



250 kg P₂O₅ / ha

4 kg P₂O₅ / TMS

Biomasse prioritaire



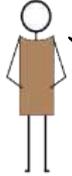
285 kg P₂O₅ / ha

4,9 kg P₂O₅ / TMS

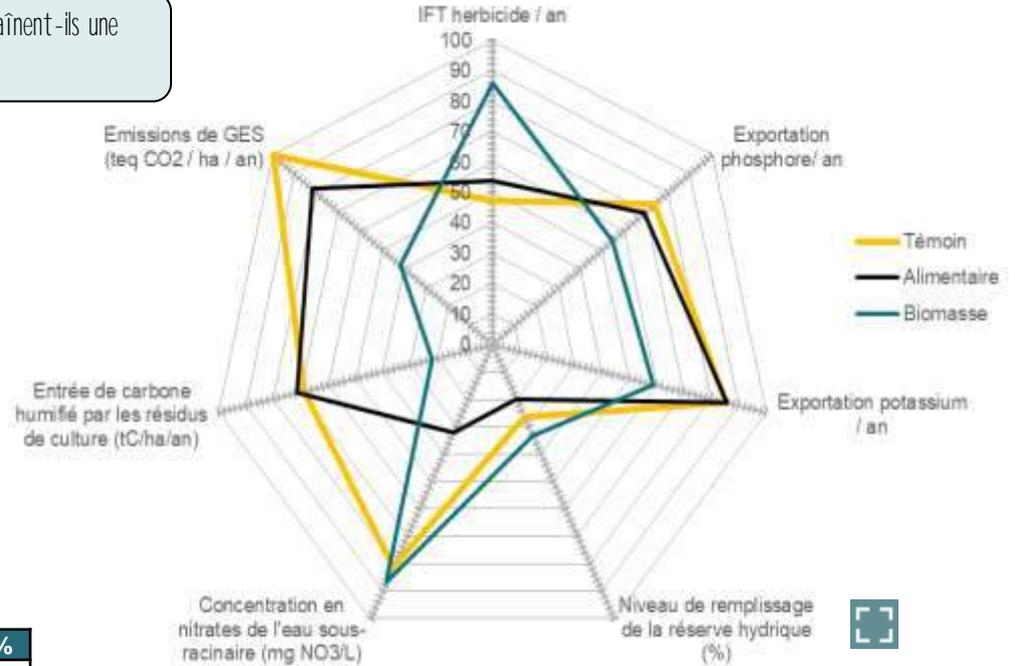
- ⦿ A l'échelle de la rotation, la quantité de phosphore exportée à l'hectare est proche entre les 3 systèmes.
- ⦿ Elle est un peu supérieure dans le *Biomasse prioritaire*, bien que la quantité de biomasse exportée ne soit pas supérieure, du fait notamment d'une exportation importante de phosphore par le seigle dont la teneur en phosphore est importante.
- ⦿ A noter que 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 P₂O₅ / TMS beaucoup plus élevés que dans le cas d'une exportation des grains de cultures à graines.

Les résultats environnementaux

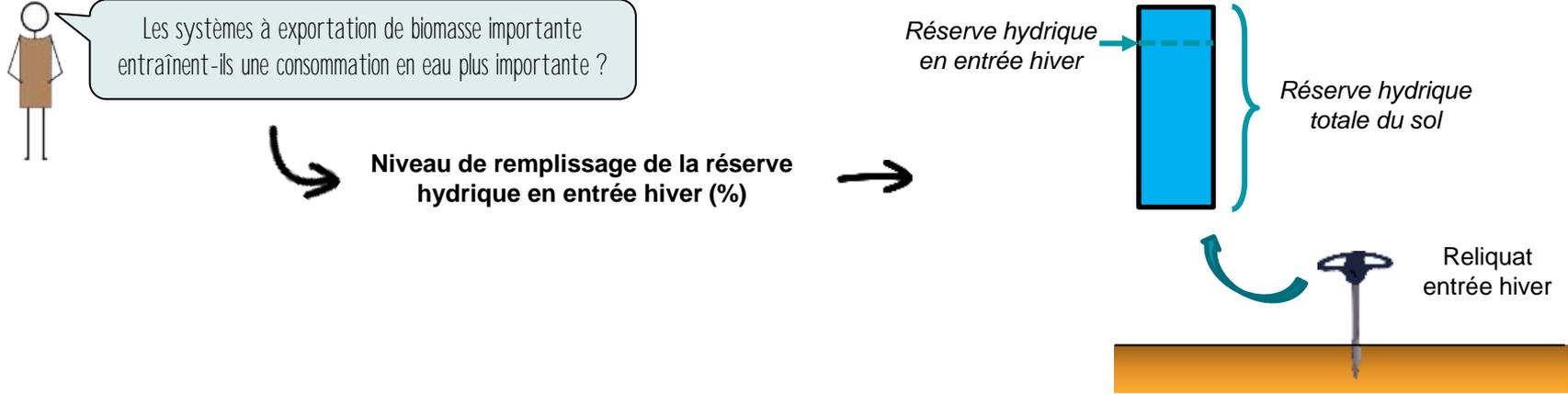
- Consommation en eau des systèmes -



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



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



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

Un niveau faible peut traduire :

- 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

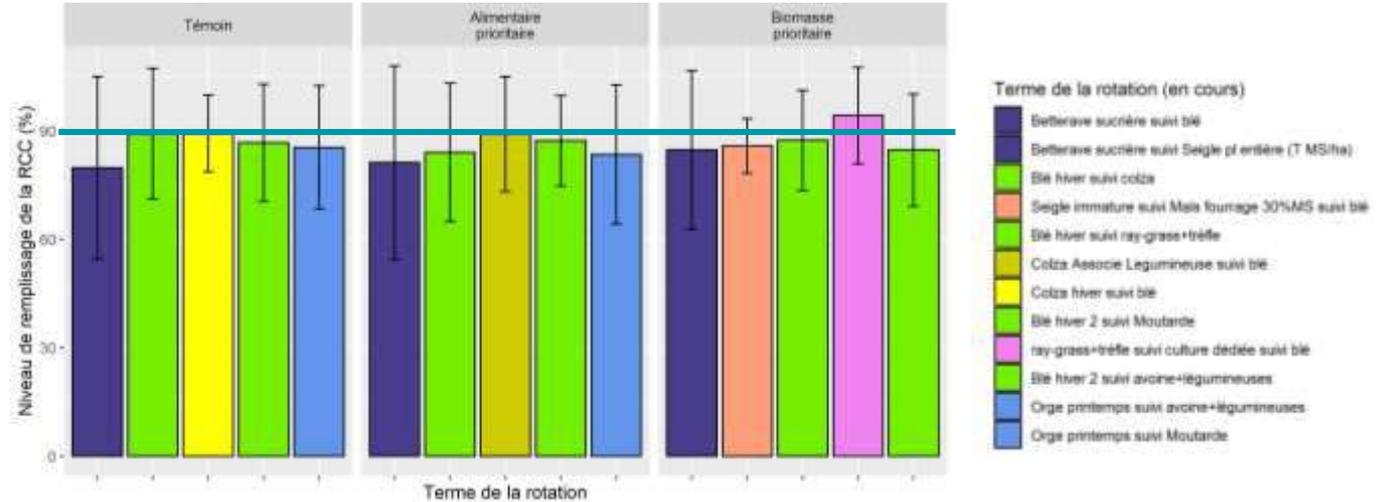
Résultats remplissage de la réserve hydrique en entrée d'hiver

Nous avons considéré un seuil de 90% de niveau de remplissage pour déterminer un niveau critique.

Or, on observe que pour ce système la plupart des termes présentent une moyenne de 90% ou en dessous (seuls quelques termes sont au-dessus).

De plus, l'effet année a été très important sur ce système, qui montre une variabilité élevée (barre I) : les niveaux en entrée hiver 2018 sont les plus bas, et ceux en entrée hiver 2019 sont les plus hauts.

Cependant, on peut voir que le niveau moyen, malgré son faible niveau, est à peu près le même pour les différents termes.



Détail du niveau de remplissage pour chaque terme des systèmes



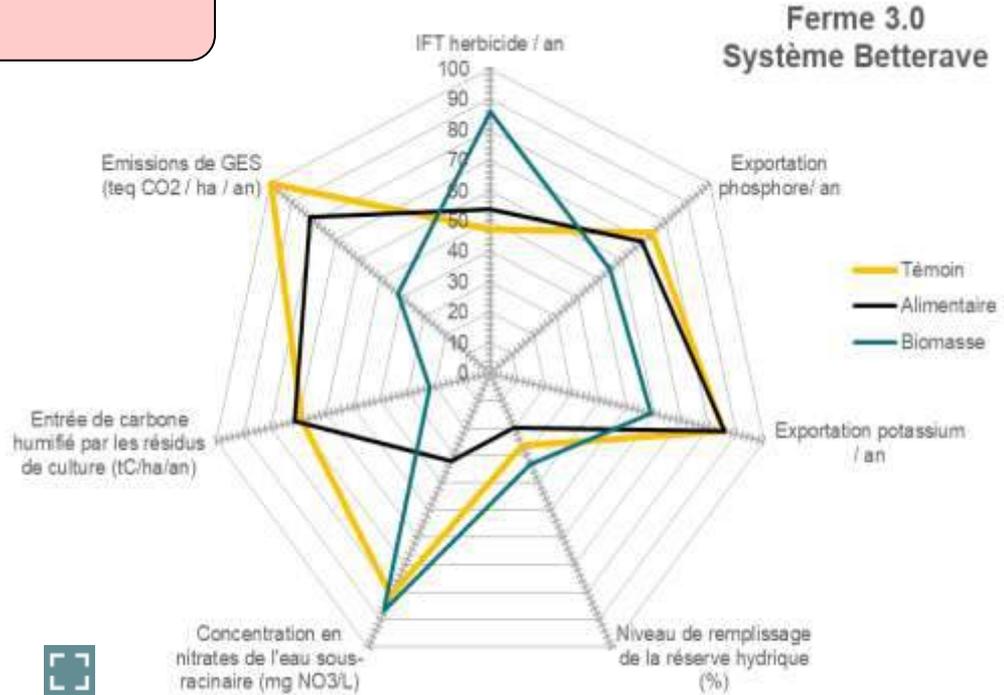
On peut donc en déduire, avec la précaution liée à la variabilité des données, que **les systèmes alimentaires et biomasse, notamment la double culture, n'ont pas impacté à la baisse les niveaux de remplissage de réserve hydrique en entrée hiver**. Cette conclusion se base sur les trois années d'observations utilisées dans cette évaluation et serait peut-être différente dans des années plus sèches, qui seront peut-être plus nombreuses à l'avenir.

Les résultats environnementaux

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



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



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

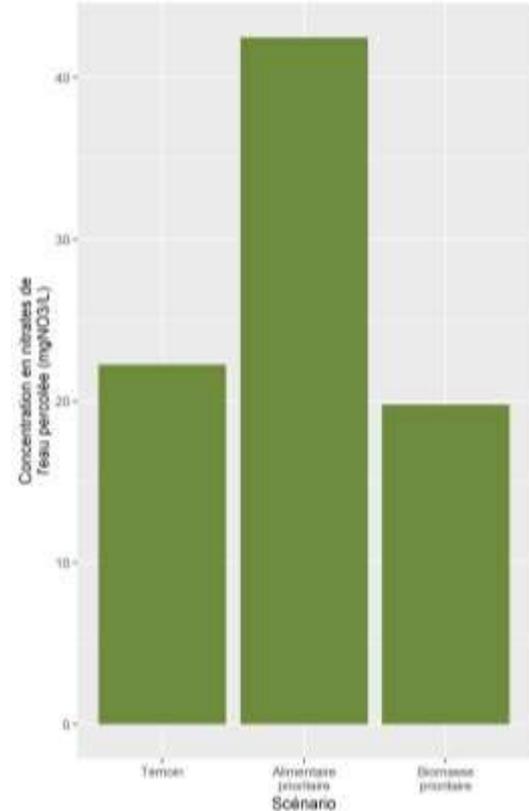


Résultats concentration en nitrates de l'eau sous-racinaire



Le scénario *alimentaire prioritaire* présente la concentration la plus élevée. Le seuil réglementaire (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 ces niveaux de concentrations.



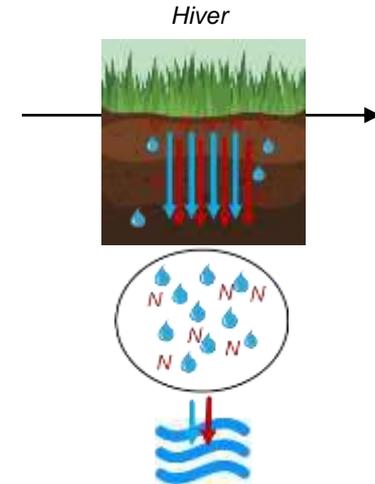
Concentration moyenne par scénario*

**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**



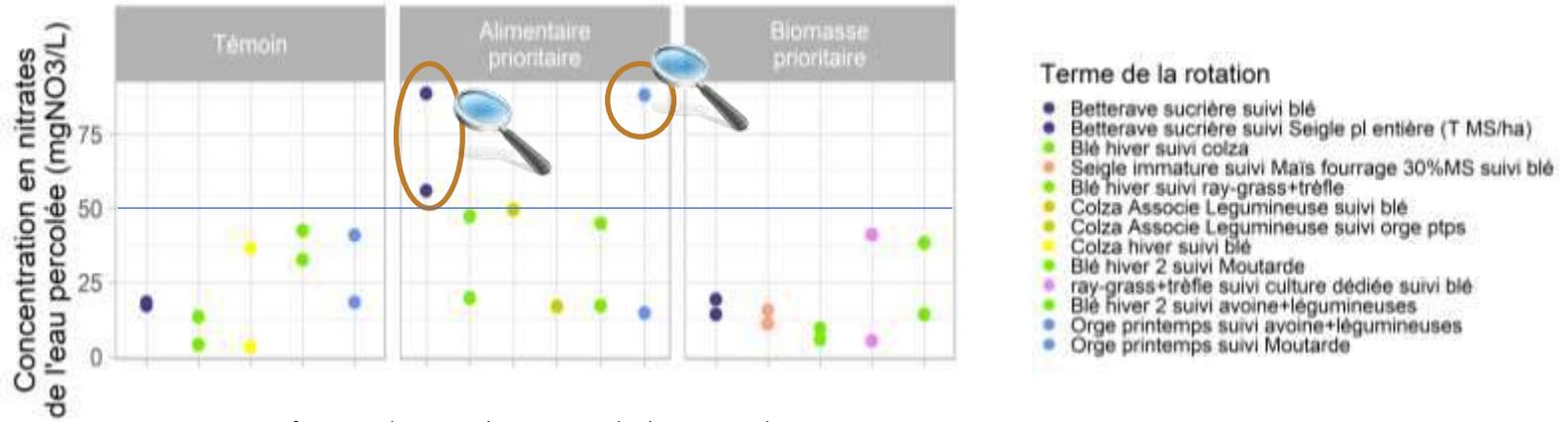
Une concentration élevée :

- 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



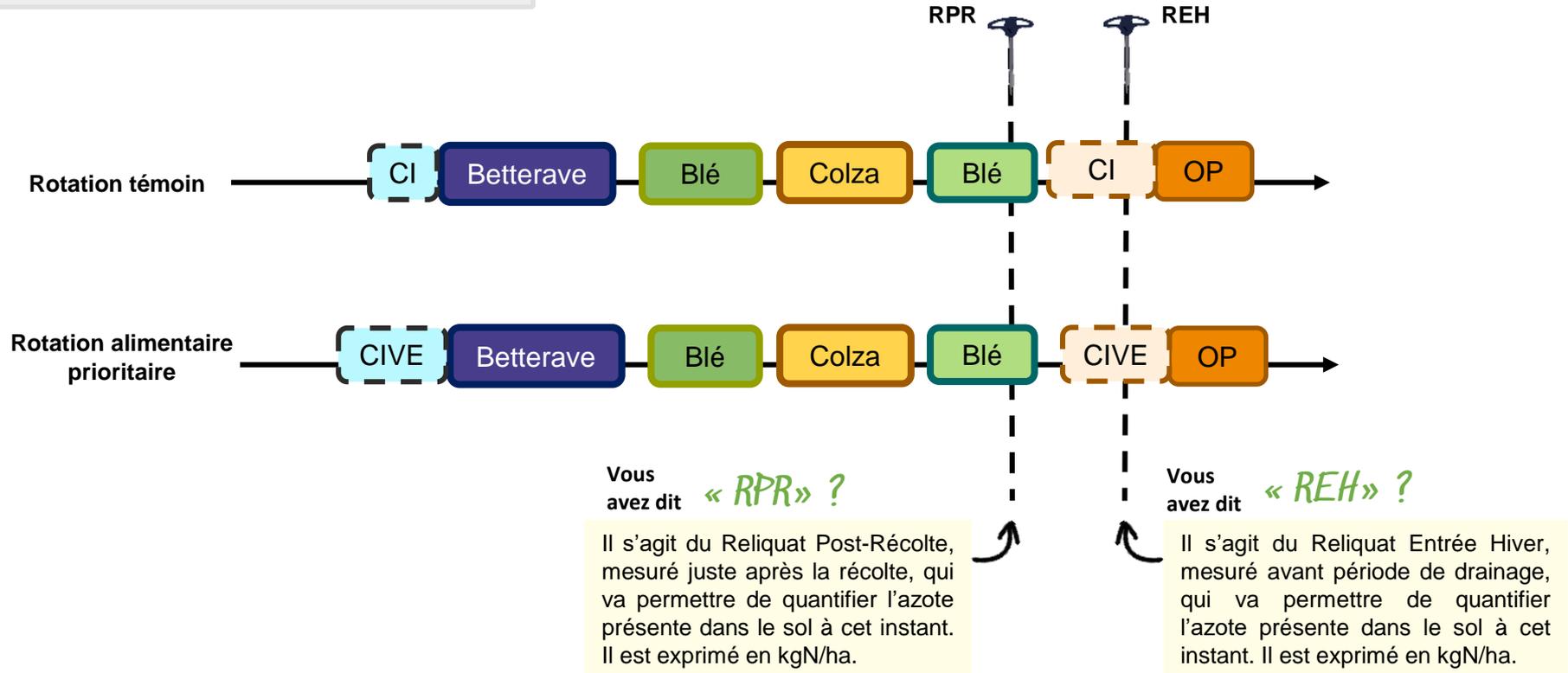
Ce graphique montre les niveaux de concentrations qui ont été obtenus pour chaque culture sur les deux années étudiées. Ce sont les parcelles en précédent betteraves ainsi qu'une orge de printemps dans le scénario *alimentaire prioritaire* qui présentent les concentrations les plus élevées, expliquant la concentration moyenne élevée de ce scénario. Ces cas particuliers sont précisés dans la suite de cette partie.

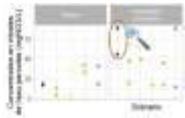


Résultats concentration en nitrates de l'eau sous-racinaire

- Zoom sur les concentrations élevées -

Pour les périodes hivernales 2016-2017 et 2017-2018

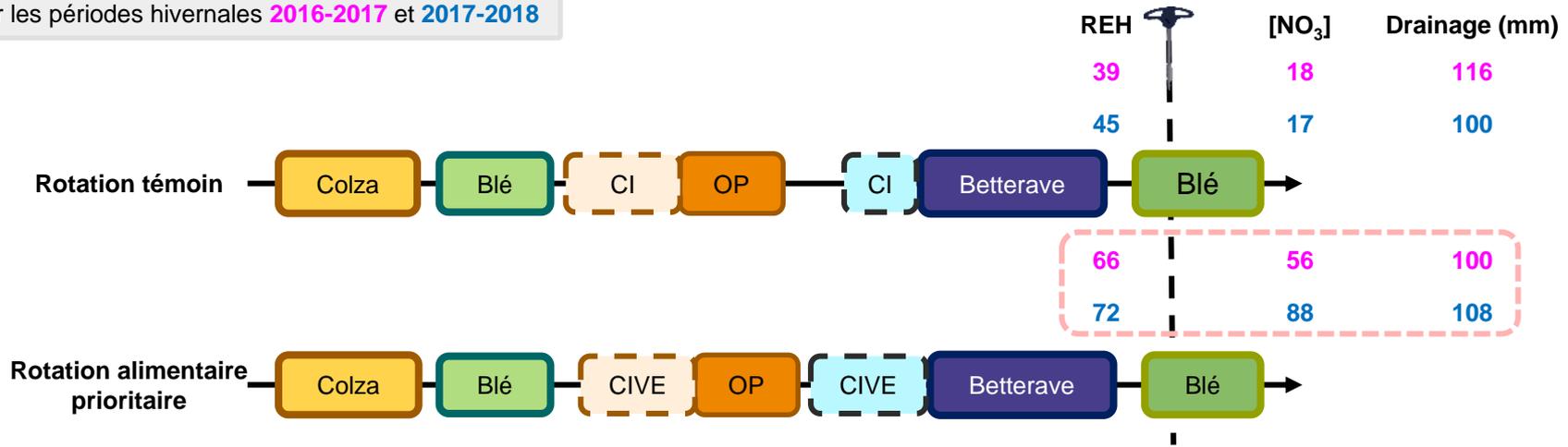




Résultats concentration en nitrates de l'eau sous-racinaire

- Zoom sur les concentrations élevées après les betteraves dans le scénario *alimentaire prioritaire* -

Pour les périodes hivernales 2016-2017 et 2017-2018



Pour les deux périodes hivernales étudiées, les concentrations en NO₃ sont plus élevées derrière les betteraves dans le scénario *alimentaire prioritaire* que dans le scénario *témoin*. Ces résultats peuvent s'expliquer par les REH plus élevés derrière betteraves dans ce scénario *AP* que dans le scénario *témoin*.

Comment expliquer ces REH élevés ? La fertilisation a-t-elle été plus importante ou l'azote moins bien valorisé ? La quantité d'azote apportée a été en moyenne moins importante dans le scénario *alimentaire* que dans le scénario *témoin*, et les rendements légèrement plus importants, laissant présager une bonne valorisation de l'azote apporté.

Ces résultats seraient-ils liés au type de sol différent entre les parcelles ? Pour chaque période, les parcelles *témoin* et *alimentaire prioritaire* sont situées dans le même bloc et donc considérées comme ayant un type de sol assez proche. Or les différences observées sont entre les scénarios et non entre les années.

Ces résultats restent difficilement interprétables mais ne semblent pas relever d'un effet de système.



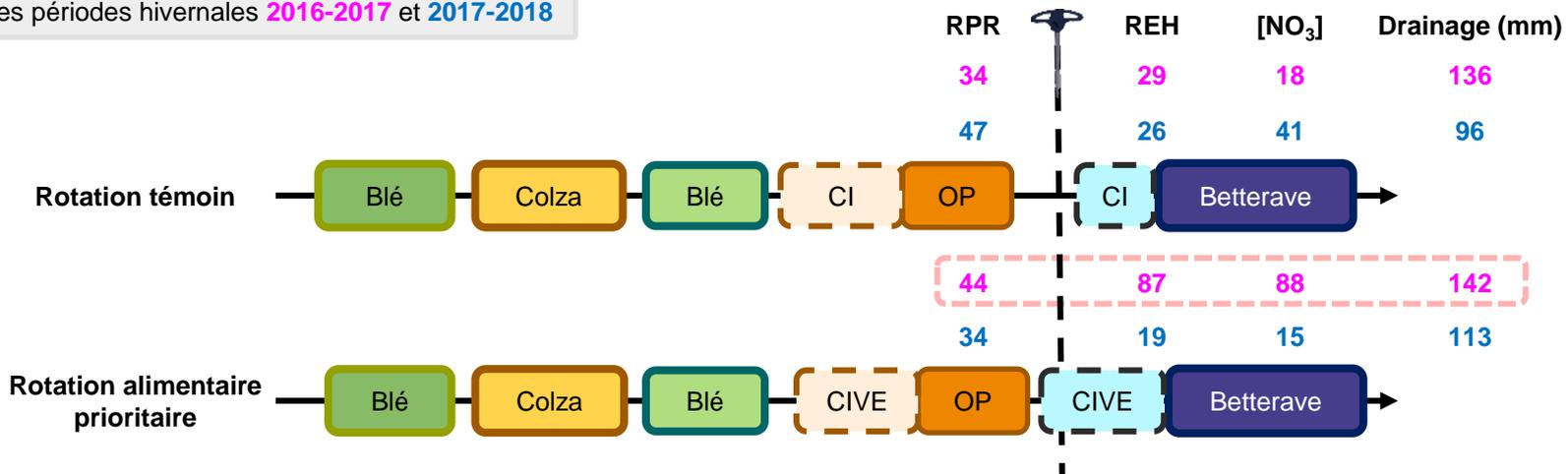
La date de récolte des betteraves étant très tardive dans la saison, le RPR n'est pas réalisé en tant que tel et correspond au prélèvement du REH.



Résultats concentration en nitrates de l'eau sous-racinaire

- Zoom sur les concentrations élevées après l'orge dans le scénario *alimentaire prioritaire* en 2017-2018 -

Pour les périodes hivernales 2016-2017 et 2017-2018



Pour la période 2017-2018, les concentrations en NO₃ derrière l'orge de printemps sont très élevées, au-dessus du seuil des 50mg/L. Ce phénomène est observable derrière cette culture dans ce scénario seulement cette année-là. Et il est en dessous du seuil de 50mg/L dans les parcelles du scénario *témoin*. En 2017-2018 et dans le scénario *alimentaire prioritaire*, les REH sont également très élevés derrière cette culture, expliquant en partie ces résultats.

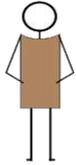
Comment expliquer ces REH élevés ? La fertilisation a-t-elle été plus importante ou l'azote moins bien valorisé ? En 2017, le rendement de l'orge de printemps était supérieur dans le scénario *alimentaire prioritaire* que dans le *témoin*, et la quantité d'azote minérale moins importante. Ces résultats ne permettent pas d'appuyer l'hypothèse de l'azote mal valorisé dans ces parcelles.

Les résultats peuvent-ils s'expliquer par une différence liée au type de sol ? Étant donné que l'effet des concentrations élevées derrière l'orge de printemps ne s'observe que pour une période, on peut imaginer que l'effet serait plutôt dû au type de sol qu'au système de culture, mais ces résultats restent difficilement interprétables.



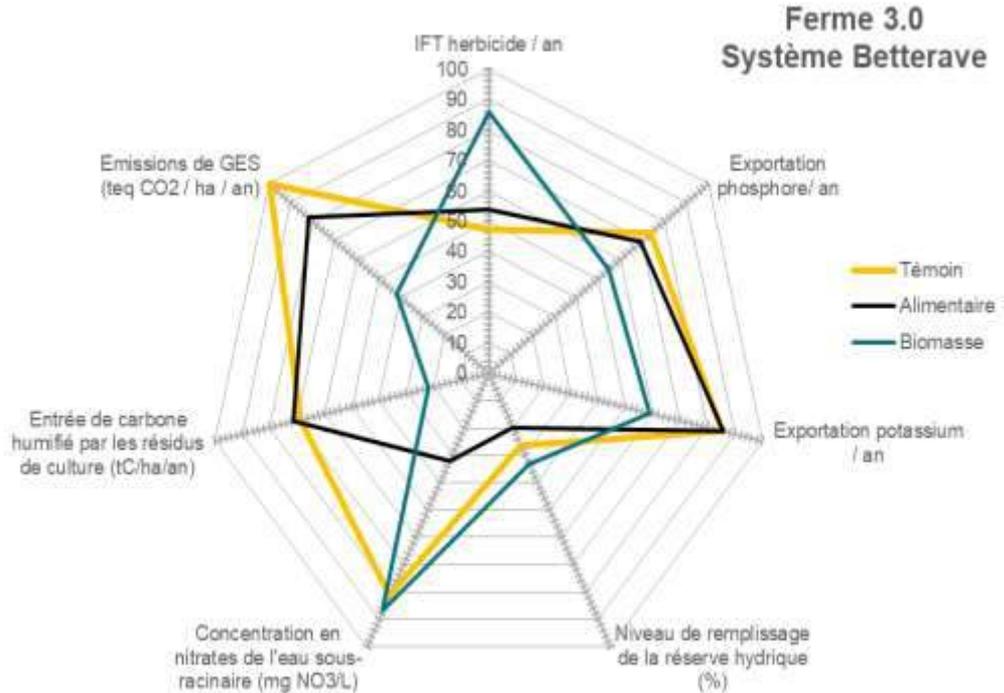
Les résultats environnementaux

- Entrée de carbone humifié par les résidus de culture -



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

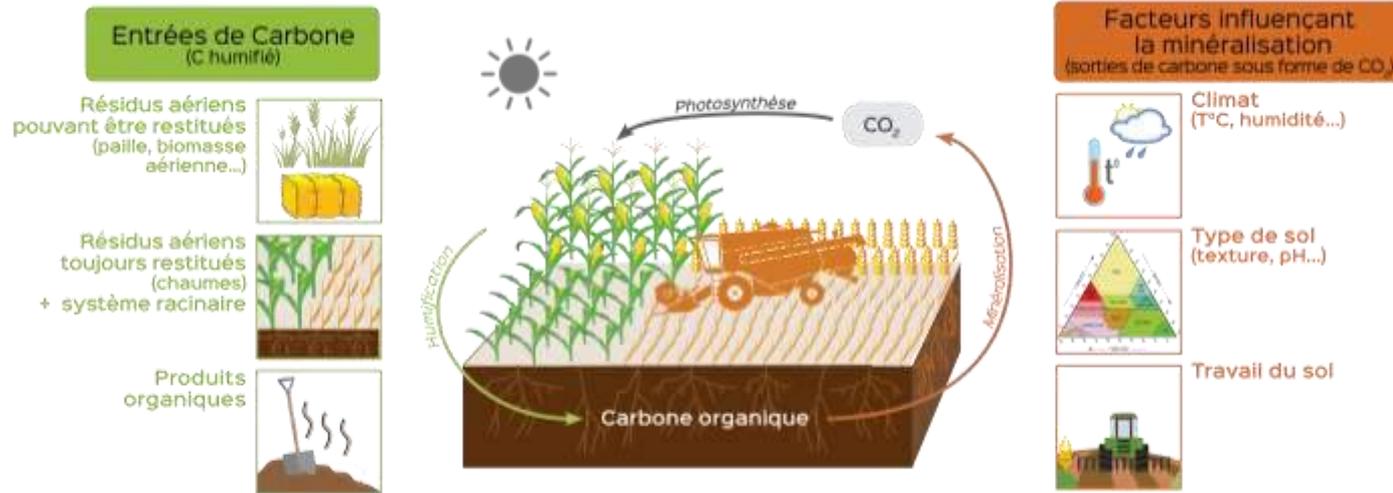
La question se pose ici de vérifier si les systèmes de culture à exportation de biomasse importante entraînent des restitutions de carbone réduites, ayant un impact sur le stockage de carbone.



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

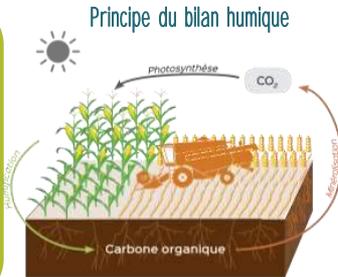
Stocker du carbone :

Fournitures de carbone humifié > Sorties par minéralisation



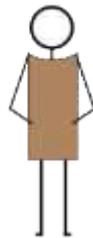
Le stock de carbone peut être comparé à réservoir. Un flux continu de carbone humifié l'alimente, tandis qu'il se vide également en continu de par la minéralisation de la matière organique.

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.

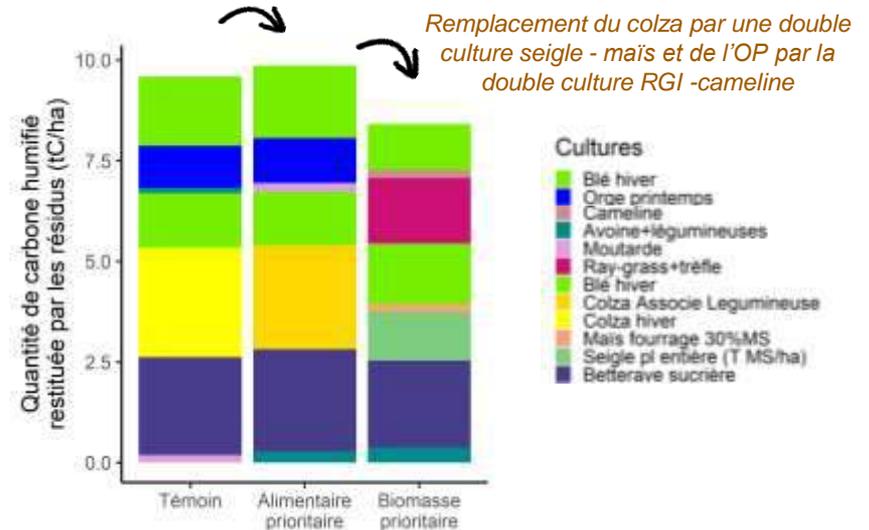
Résultat d'entrée de carbone humifié

- ❖ Comme on peut le voir sur le graphique, les entrées de carbone humifiées sont quasi identiques entre le scénario *témoin* et *alimentaire prioritaire* et plus faibles dans le scénario *biomasse prioritaire*.
- ❖ Il y a peu de différence entre le scénario *témoin* et le scénario *alimentaire* car les rotations sont finalement assez proches. En effet, seules les espèces de cultures intermédiaires changent, aucun couvert n'a pu être exporté dans le scénario *alimentaire*, faute de biomasse suffisante. On peut noter que les résidus de colza et de betterave sucrière permettent de contribuer de manière importante aux entrées de carbone humifié.
- ❖ Dans le scénario *biomasse*, les modifications de système, notamment la suppression du colza entraîne une diminution des entrées de carbone humifié. Contrairement à d'autres systèmes (ex : SdC betteraves de Landifay), la double culture permet peu d'entrées de carbone humifié de par ses niveaux de rendements assez faibles, notamment du maïs.



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).

Remplacement des couverts par des CIVE, mais la biomasse aérienne n'a jamais été exportée → peu de différence



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



Résultat d'entrée de carbone humifié

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



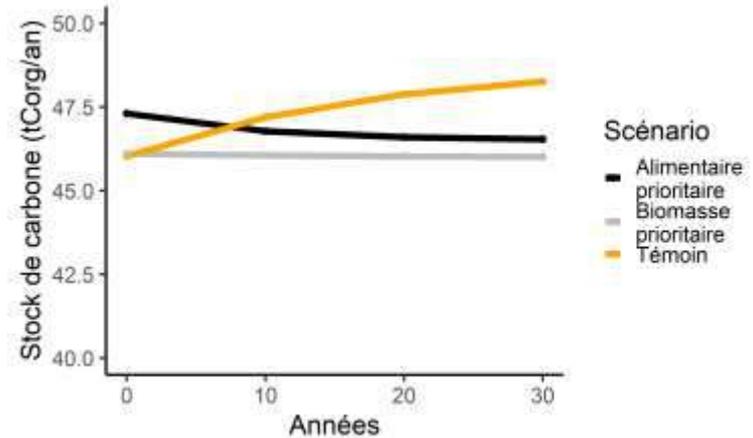
Quel impact sur l'évolution du stock de carbone de cette parcelle ?

- ➊ Nous avons évalué l'impact des modifications de pratiques sur l'évolution du stock de carbone de cette parcelle en particulier, projeté à 30 ans. Cette simulation a été faite avec l'outil SIMEOS-AMG.
- ➋ Les résultats de ces simulations nous montrent que le stock augmente seulement dans le scénario *témoin*, qu'il diminue dans le scénario *alimentaire prioritaire* et qu'il reste stable dans le scénario *biomasse prioritaire*.

Ces résultats peuvent paraître surprenant car ils ne reflètent pas l'ordre des scénarios obtenu pour les entrées de carbone humifié. Cela s'explique par les stocks initiaux qui ne sont pas les mêmes pour les différents scénarios. Cela a pour conséquence que les sorties de carbone ne sont pas les mêmes pour les différents scénarios : les sorties seront plus élevées dans le scénario *alimentaire prioritaire* (stock initial plus élevé) et plus faibles dans les scénarios *témoin* et *biomasse prioritaire* (stock initial plus faible). Lorsque les sorties sont plus élevées, des entrées de carbone également élevées sont nécessaires pour les compenser et augmenter le stock de carbone. C'est pour cette raison que le *témoin* augmente tandis que *l'alimentaire* diminue.



Sur cette parcelle, l'impact du changement de rotation sur l'évolution du stock de carbone est donc difficilement interprétable, de par les niveaux de stock initiaux très différents. Cela met en évidence l'impact du type de sol sur l'évolution du stock.



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

HÉTÉROGÉNÉITÉ DES PARCELLES

La parcelle accueillant l'essai est hétérogène (*cf. contexte pédologique*). Ainsi les blocs d'essais la composant et recevant les différents termes des systèmes de cultures testés présentent une grande variabilité du taux de matière organique entre eux. Il existe également une forte hétérogénéité au sein même des blocs.



Résultat d'entrée de carbone humifié

- Contribution des CIVE courtes aux entrées de carbone humifié -



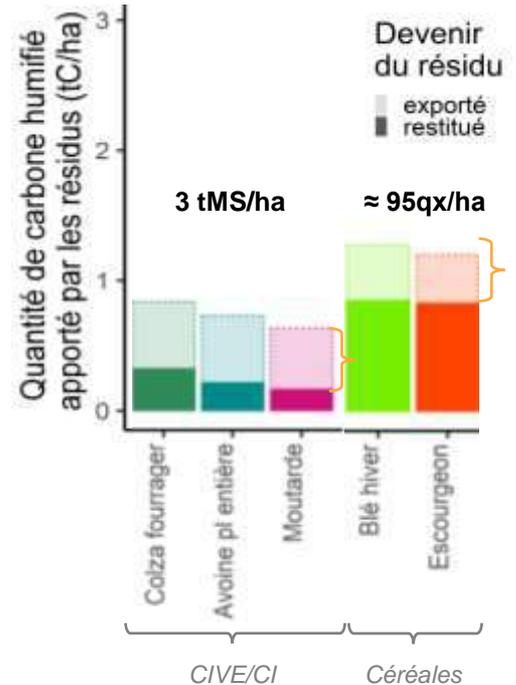
Quelle contribution des CIVE courtes aux entrées de carbone humifié ?

- 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 exportables (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.



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

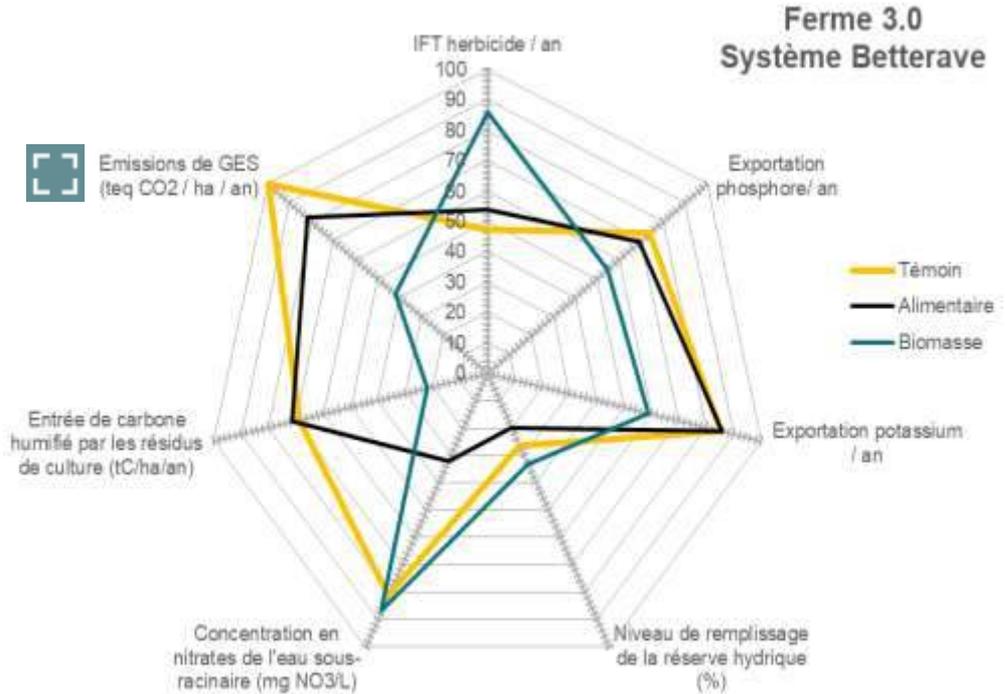


Les résultats environnementaux

- Emissions de gaz à effet de serre -



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 ₂ /ha/an	5 TCO ₂ /ha/an



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



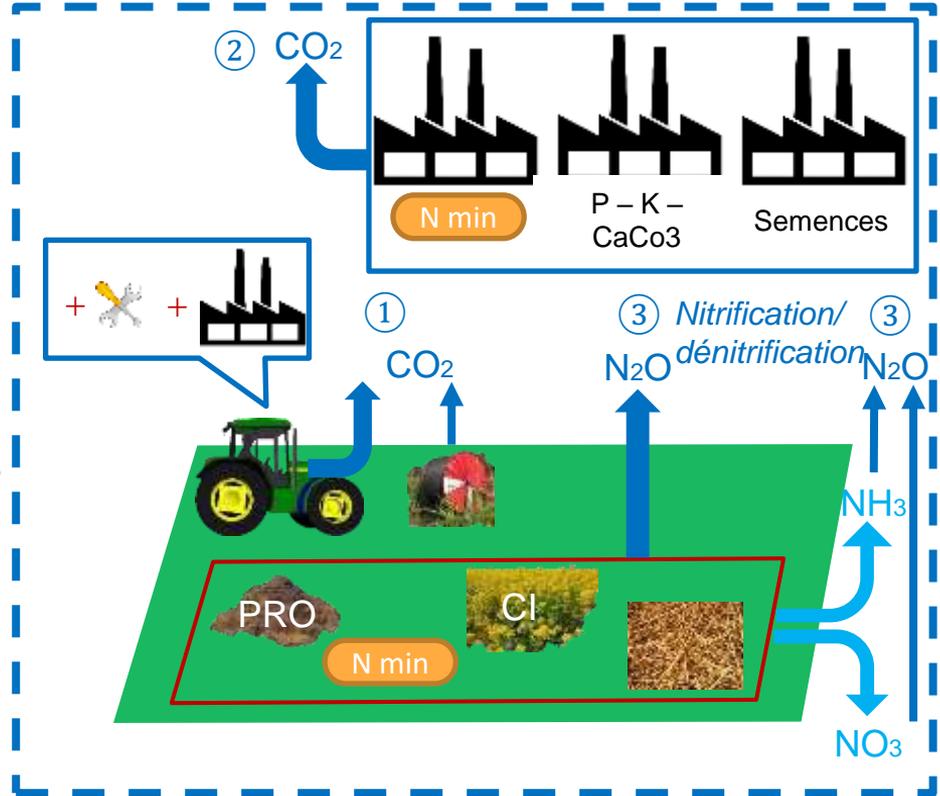
Inventaire des émissions de GES liées à la production végétale des systèmes de culture basé sur la méthode ABC'Terre.

La méthode ABC'Terre

① Emissions dues à l'usage du matériel agricole

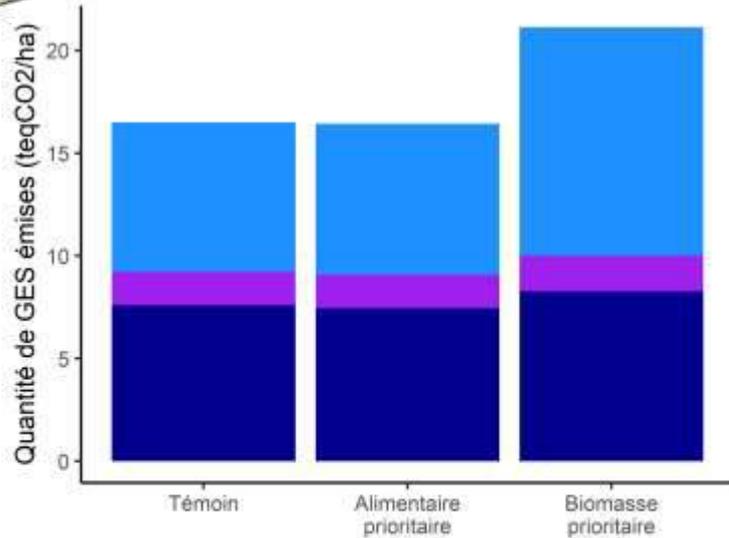
② Emissions dues à la production des intrants

③ Emissions directes et indirectes de N₂O



Résultats émissions de Gaz à effet de serre

1 ha



Postes d'émissions

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

Répartition des catégories d'émissions



Les émissions de GES sont proches entre les scénarios *témoin* et *alimentaire prioritaire* et augmente de manière importante dans le scénario *biomasse prioritaire*.

Pour tous les scénarios, les principales émissions sont dues :

- à la production des intrants, et surtout de l'azote minéral, très gourmand en énergie
- aux émissions de N₂O, émis lors des processus de nitrification/dénitrification

Les émissions liées à l'utilisation des engins agricoles contribue peu au bilan GES.

Dans le scénario *biomasse prioritaire*, la quantité d'azote apportée par les engrais minéraux et les résidus de culture augmente, entraînant des émissions d N₂O plus importantes. Ce phénomène et les émissions supplémentaires liées à la production des engrais azotés permettent d'expliquer l'augmentation globale dans ce scénario.



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



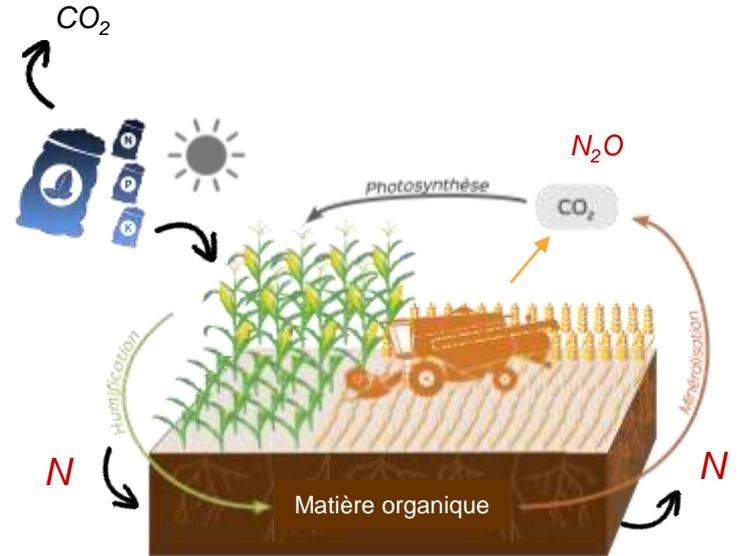
Les émissions de GES sont donc très corrélées aux entrées d'azote dans le système de culture.

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 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.



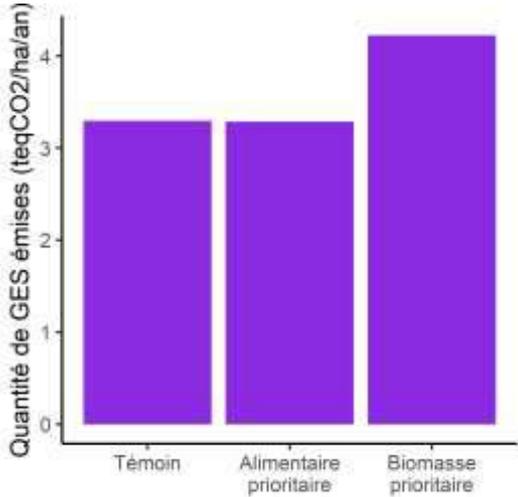
Il faut trouver un compromis entre production de biomasse et gestion de l'azote à l'échelle du système !



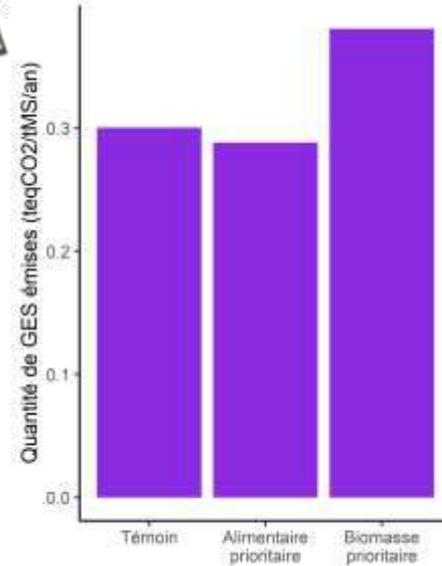
Couplage du cycle du carbone et de l'azote et leur lien avec les émissions de GES

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.

Dans ce système betteraves, cependant, les émissions restent les plus élevées pour le scénario *biomasse prioritaire*, qu'elles soient exprimées par hectare ou par tonne de matière sèche exportée. Cela est dû au fait que ce scénario ne produit pas plus de biomasse comme il était attendu, or les émissions sont tout de même accrues.



Partie 4

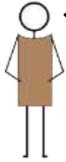
Conséquences économiques des modifications du système et de l'augmentation de l'exportation de biomasse

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

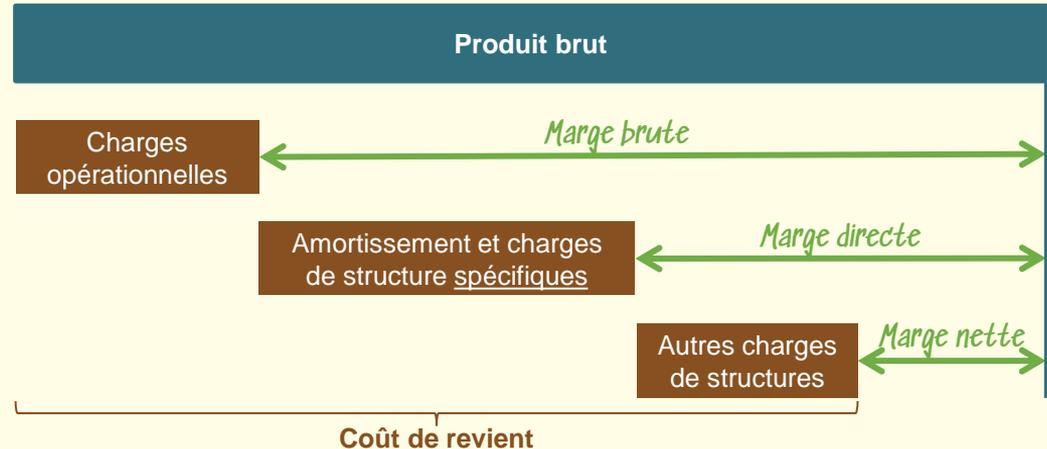
BERLAND, DE RONGE, 2013, Contrôle de gestion – Perspectives stratégiques et managériales, PEARSON, 2^{ème} édition, p. 173-175
 CER France, Définition des principaux termes utilisés, [URL https://www.cerfrance.fr/upload/actualite/5866202bceb1a_lexique.pdf], consulté en janvier 2021

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)

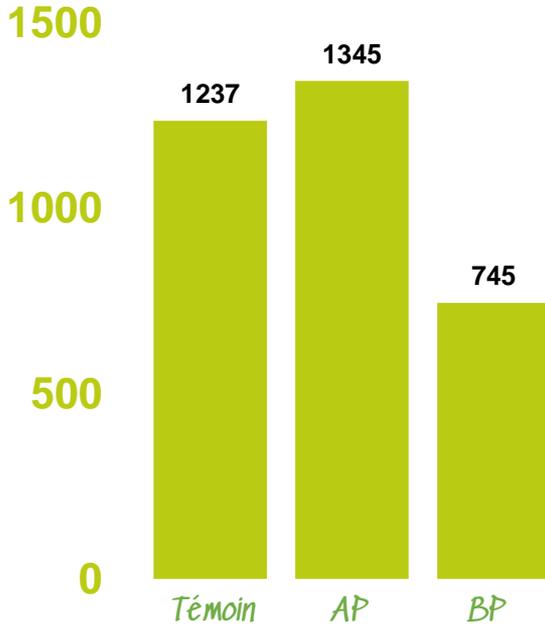
	Prix de vente (€/tMS)
Betterave sucrière	120
Blé hiver	201
Colza hiver	395
Orge printemps	187
Seigle pl entière	102
Maïs ensilage	73
Féverole ou pois	293



Marges directes obtenues pour les différents systèmes

- Marges directes à l'échelle du système -

€/ha.an

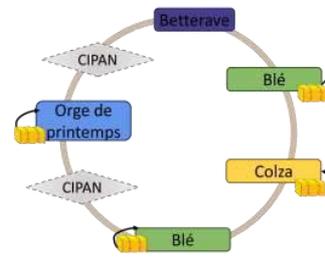


Le système de culture *alimentaire prioritaire* présente une **marge direct plus élevée de 9 %** par rapport à celle du *témoin* alors que le système de culture *biomasse prioritaire* a une **marge directe 40 % plus faible** que celle du *témoin*.

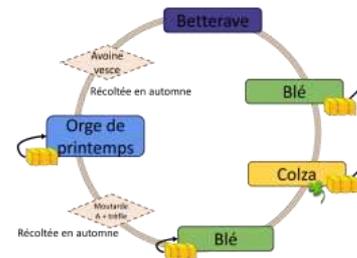
RAPPEL DES HYPOTHESES DE PRIX DE VENTE

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

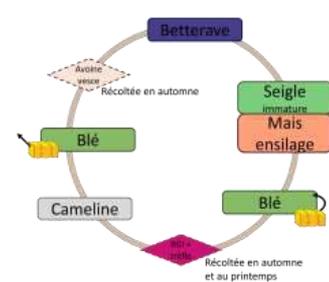
	Prix de vente (€/tMS)
Betterave sucrière	120
Blé hiver	201
Colza hiver	395
Orge printemps	187
Seigle pl entière	102
Maïs ensilage	73
Féverole ou pois	293



Témoin



Alimentaire prioritaire



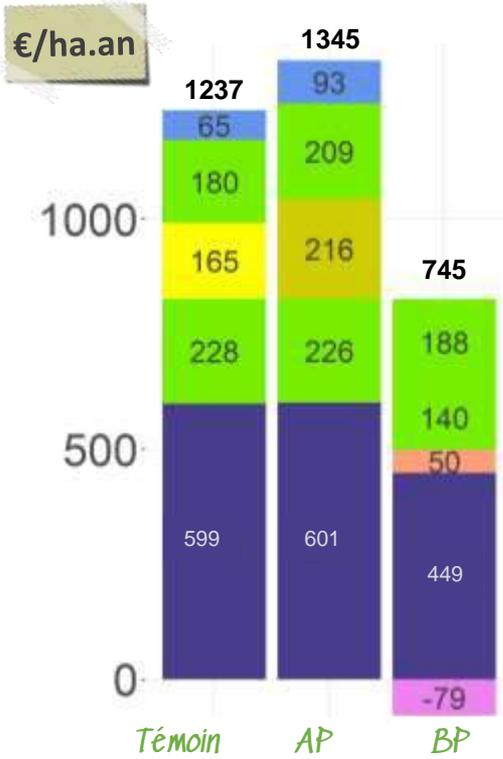
Biomasse prioritaire

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



Marges directes obtenues pour les différents systèmes

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

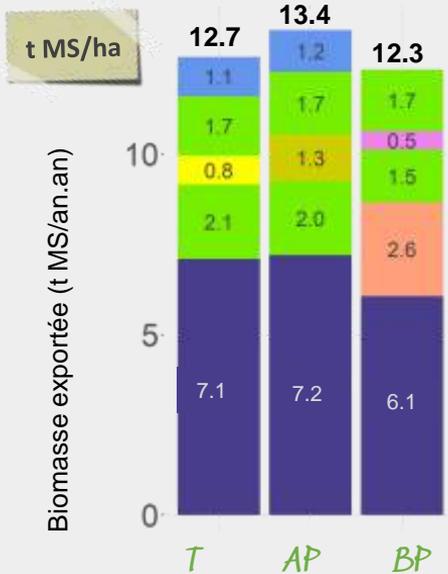


Contribution des termes culturaux à la marge directe des systèmes de culture testés en €/ha.an

- 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 différent entre les systèmes** (■, ■).
- A noter que la marge brute du **Ray-Grass+ trèfle suivi d'une Cameline** est négative dû au fait de la non récolte de la caméline (ce qui conduit à n'avoir que des charges pour cette culture). Cela a pour conséquence de faire baisser la marge directe globale du système de culture. La marge de la double culture seigle - maïs est également assez faible, en lien avec la biomasse décevante exportée pour le maïs.

- avoine+légumineuses suivi Orge printemps (Témoin)
- Moutarde suivi Orge printemps (AP)
- Blé hiver 2
- ray-grass+trèfle suivi Cameline/seul
- Colza Associe Legumineuse
- Colza hiver
- Blé hiver
- Seigle pl entière (T MS/ha) suivi Maïs fourrage 30%MS (BP)
- avoine+légumineuses suivi Betterave sucrière (AP + BP)
- 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



	Produit brut	Semences plantations	Engrais amendements	Protection des plantes Régulation croissance	Matériel Carburant	Main d'œuvre au champ	Marge directe
<i>Témoin</i>	2080	103	256	61	324	99	1237
<i>Alimentaire prioritaire</i>	2180	116	239	73	312	95	1345
<i>Biomasse prioritaire</i>	1650	139	297	59	314	101	747

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



Produit brut plus élevée
→ en lien avec des rendements sec de colza et orge de printemps supérieurs

Produit brut plus faible et charges de semences et d'engrais plus élevées → en lien avec la double culture qui vient doubler les charges d'implantation par rapport à une culture unique de colza et l'échec de la culture de RGI + Trèfle suivie de cameline

Le **temps de travail au champ** est sensiblement le même pour les différents systèmes de culture.

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.

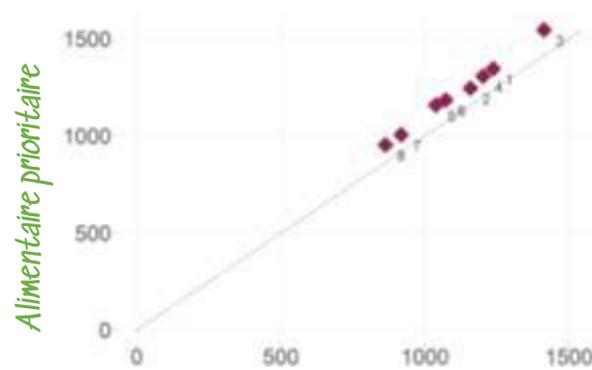
Scénarios de prix de vente proposés par le RMT SdCi
(Massot et al. 2016)

	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

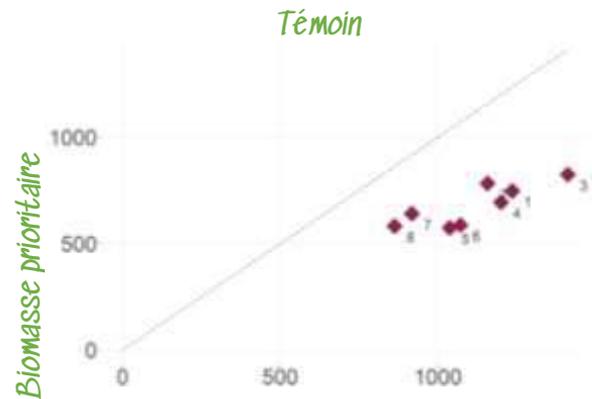
AIDE A LA LECTURE

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 légèrement **inférieure** à celle du système *AP* pour l'ensemble des scénarios de prix.



- La marge directe du système *BP* est **inférieure** au *témoin* pour l'ensemble des scénarios de prix.

Témoin



Synthèse

Enseignements globaux à retenir du cas d'étude
« Système de culture betteravier »



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

🔗 La double culture dédiée

La double culture de seigle – maïs testée dans cet essai n'a pas permis d'exporter une grande quantité de biomasse du fait des faibles rendements du maïs dans des conditions hydriques sèches.

Toutefois, dans d'autres systèmes tels qu'à Landifay avec du sorgho plutôt que du maïs, cette culture étant plus tolérante à la sécheresse, les essais réalisés ont permis 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 (0 à 26 qx/ha dans l'ensemble des 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)

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/>

🔗 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

🔗 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 ?

Produire de la biomasse en système céréalier en Hauts-de-France

- ❖ 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
- ❖ L'exportation de paille est une solution envisageable pour exporter ≈ 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)

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/>

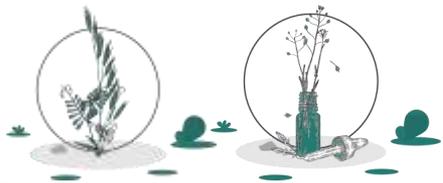
Produire de la biomasse en système céréalier en Hauts-de-France

- 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.
- ❶ Les **CIVE longues d'hiver à base de ray-grass et autres légumineuses** constituent également une bonne alternative pour exporter de 4 à 8 T MS/ha avant une culture alimentaire de printemps.
Cependant, elles semblent plus problématiques pour l'implantation de la culture de printemps suivante, en terme de qualité du lit de semence et de repousses du ray-grass.
- ❶ La **culture dédiée de cameline** n'est pas réalisable dans les rotations de ce système :
 - L'implantation derrière une CIVE à base de ray-grass pose problème pour les raisons évoquées ci-dessus
 - La date d'implantation trop tardive derrière une CIVE récoltée en avril - mai ne permet pas à la culture d'atteindre sa maturité de récolte.

POUR ALLER PLUS LOIN

Découvrez l'ensemble de nos travaux sur la production de CIVE

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



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

Sophie DECAUX

Charlotte JOURNEL

Justine LAMERRE

Agro-Transfert Ressources et Territoires

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

Matthieu PREUDHOMME

Chambre d'Agriculture de la Somme

Lucile GODARD

Agro-Transfert Ressources et Territoires

Arthur QUENNESSON

Agro-Transfert Ressources et Territoires

Amandine DELIGEY

UniLaSalle

Hélène PREUDHOMME

Agro-Transfert Ressources et Territoires

Publication février 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

