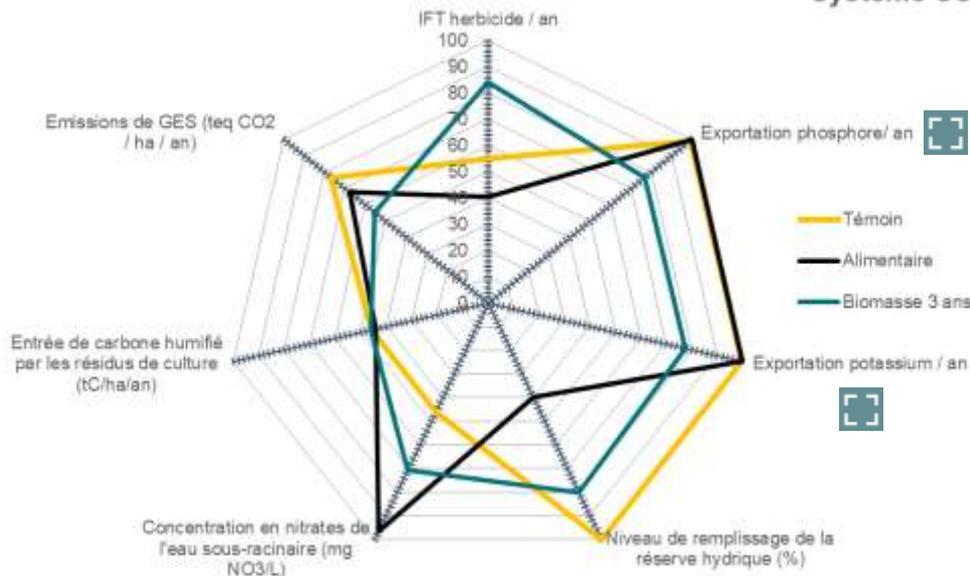


Les résultats environnementaux

- Exportation de phosphore et de potassium des systèmes -

Ferme 3.0
Système SCOP



Les niveaux d'exportation de phosphore et de potassium des scénarios *témoin* et *alimentaire prioritaire* sont les plus faibles par rapport aux autres systèmes testés dans le réseau. Ils restent corrects pour le scénario *biomasse prioritaire*.

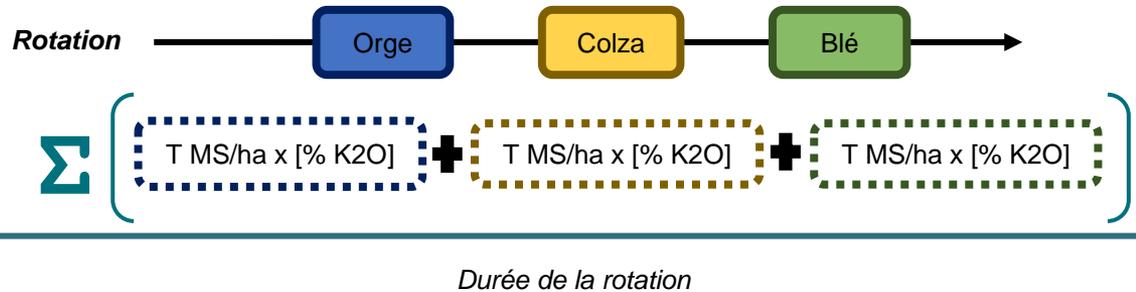
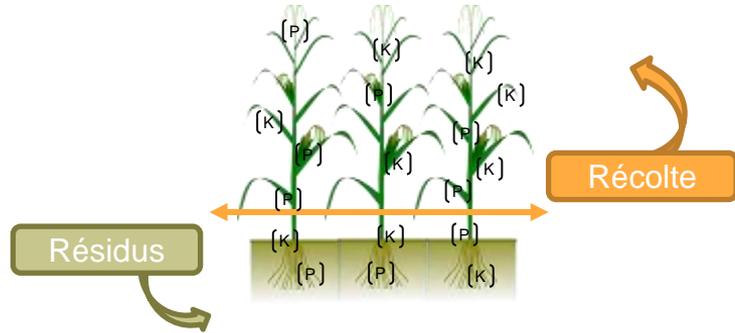
	Borne valant 100 %	Borne valant 0 %
Exportation phosphore	33 kg P2O5/ha/an	83 kg P2O5/ha/an
Exportation potassium	40 kg K2O/ha/an	338 kg K2O/ha/an

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 :

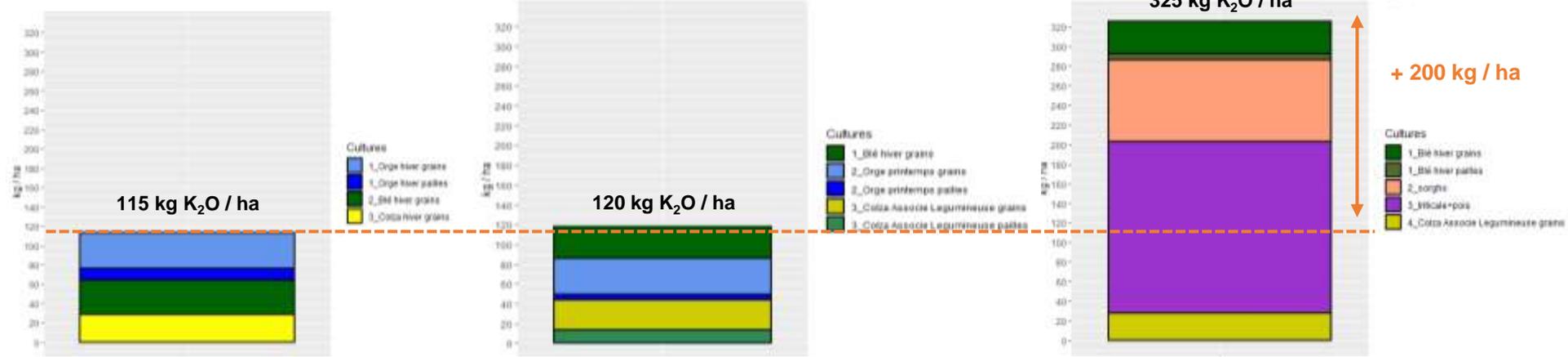
- Un système de culture avec un niveau d'exportation élevé en P/K peut conduire à abaisser la biodisponibilité du P/K dans le sol et nécessitera des apports de fertilisation potassique et/ou phosphatée importants pour compenser l'exportation. Cette compensation a un coût économique et environnemental.

Exportation totale de potassium pour la rotation par hectare

Témoin

Alimentaire prioritaire

Biomasse prioritaire en 3 ans



↪ Exportation très proche entre les scénarios *alimentaire* et *témoin* ↪

- ⊕ Même cumul de biomasse exportée
- ⊕ CIVE courte non exportée dans le scénario alimentaire
- ⊕ Même culture principale

Exportation de K₂O

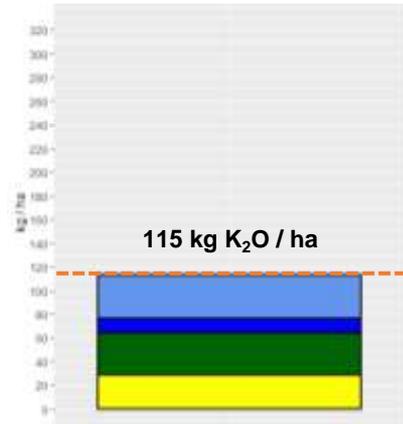
La quantité de potassium exportée, à l'échelle de la rotation, s'accroît avec le gradient de production de biomasse (*BP* > *AP* > *T*) du fait du cumul de biomasse exportée supérieure par hectare.

Exportation de potassium par tonne de biomasse exportée

Témoin

Alimentaire prioritaire

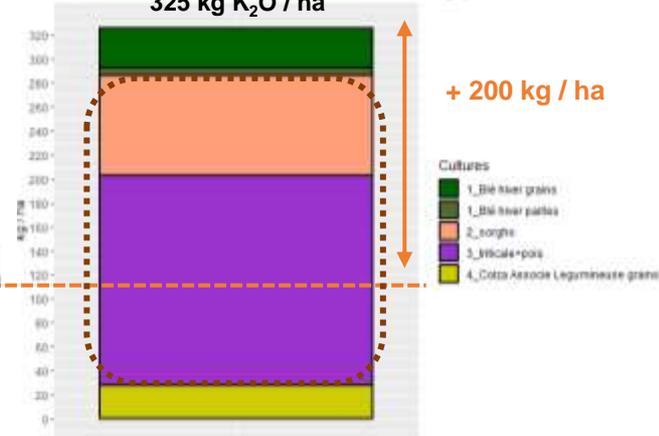
Biomasse prioritaire en 3 ans



Exportation de 6,67 kg K / TMS



Exportation de 6,67 kg K / TMS



Exportation de 12,7 kg K / TMS

L'essentiel du K est présent **dans les tiges et feuilles**, donc **en exportant des plantes entières** (comme **avec la double culture triticale-pois – sorgho** du système biomasse prioritaire), **on exporte beaucoup plus de K₂O/ TMS**.

Les pailles de blé, d'orge et de colza sont exportées pour les scénarios *témoin* et *alimentaire prioritaire* (biomasse plante entière). Leurs teneurs en potassium sont élevées mais les rendements pailles de ces cultures étant faibles, l'exportation en potassium reste également faible.

« 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 » »



Des apports de fertilisation K₂O sont nécessaires pour compenser les exportations importantes liées à l'exportation de plantes entières.

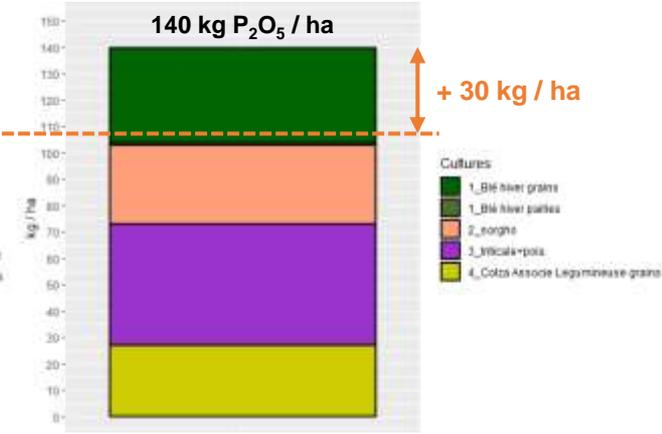
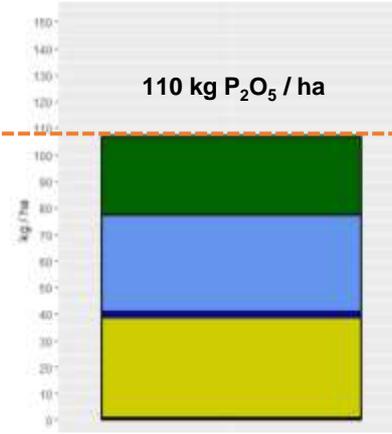
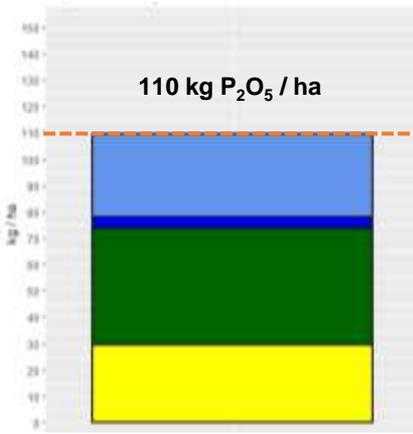


Exportation totale de phosphore pour la rotation par hectare

Témoin

Alimentaire prioritaire

Biomasse prioritaire en 3 ans



Exportation équivalente entre les scénarios *alimentaire* et *témoin*

- ⊕ Même cumul de biomasse exportée
- ⊕ CIVE courte non exportée dans le scénario alimentaire
- ⊕ Même culture principale

Exportation de P₂O₅

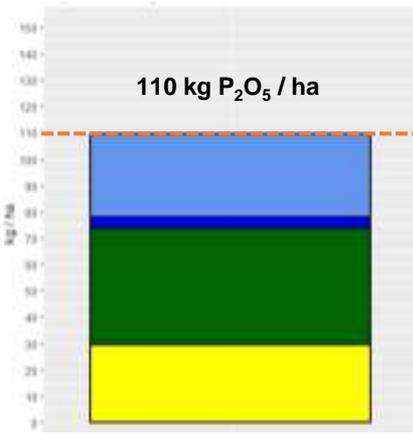
La quantité de phosphore exportée, à l'échelle de la rotation, s'accroît avec le gradient de production de biomasse ($BP > AP = T$) du fait du cumul de biomasse exportée supérieure par hectare.

Exportation de phosphore par tonne de biomasse exportée

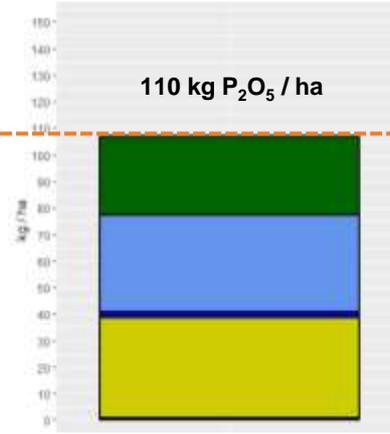
Témoin

Alimentaire prioritaire

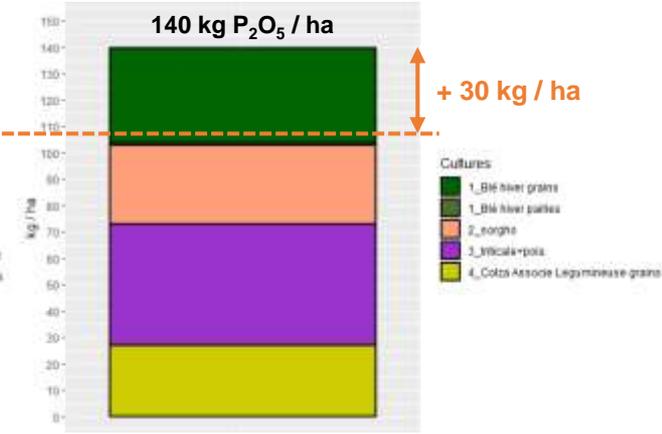
Biomasse prioritaire en 3 ans



Exportation de 6,11 kg P₂O₅ / TMS



Exportation de 6,11 kg P₂O₅ / TMS



Exportation de 5,38 kg P₂O₅ / TMS

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

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

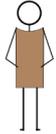
En effet, contrairement au potassium, le phosphore est plutôt localisé dans les grains. L'exportation de la plante entière ne conduit donc pas à des niveaux d'exportation de P₂O₅ / T MS beaucoup plus élevés que dans le cas d'une exportation des grains de cultures à graines.



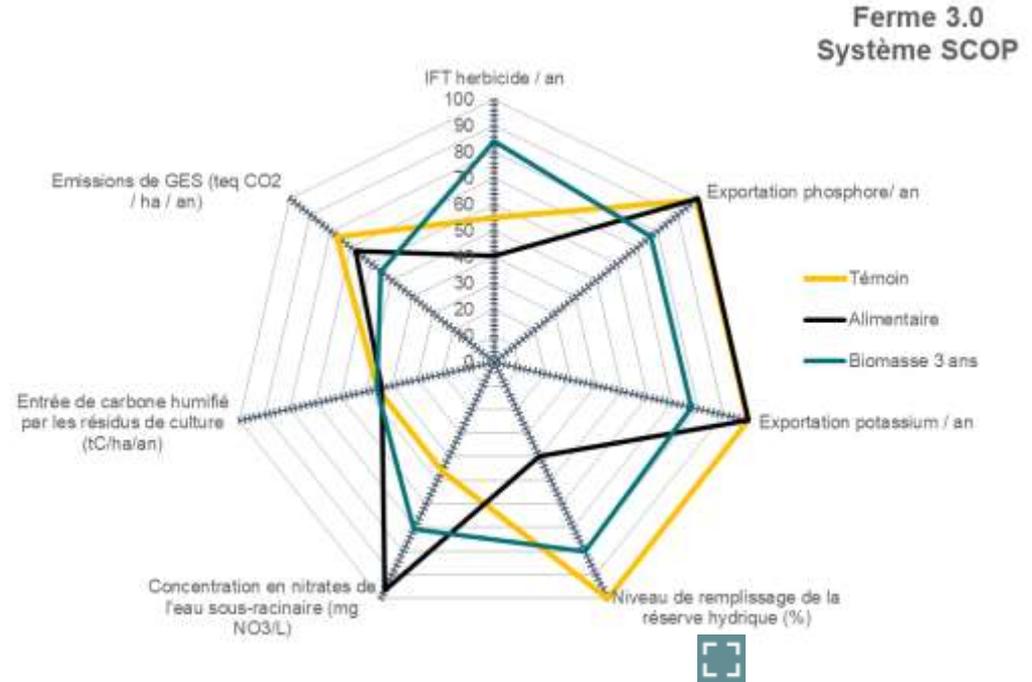
La quantité de P exportée à l'hectare étant supérieure en biomasse prioritaire, cette rotation nécessitera des apports supplémentaires de fertilisation P₂O₅.

Les résultats environnementaux

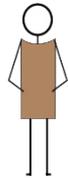
- Consommation en eau des systèmes -



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



	Borne valant 100 %	Borne valant 0 %
Concentration en nitrates de l'eau sous-racinaire (mg NO3/L)	97%	82%



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

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

Réserve hydrique en entrée hiver



Réserve hydrique totale du sol



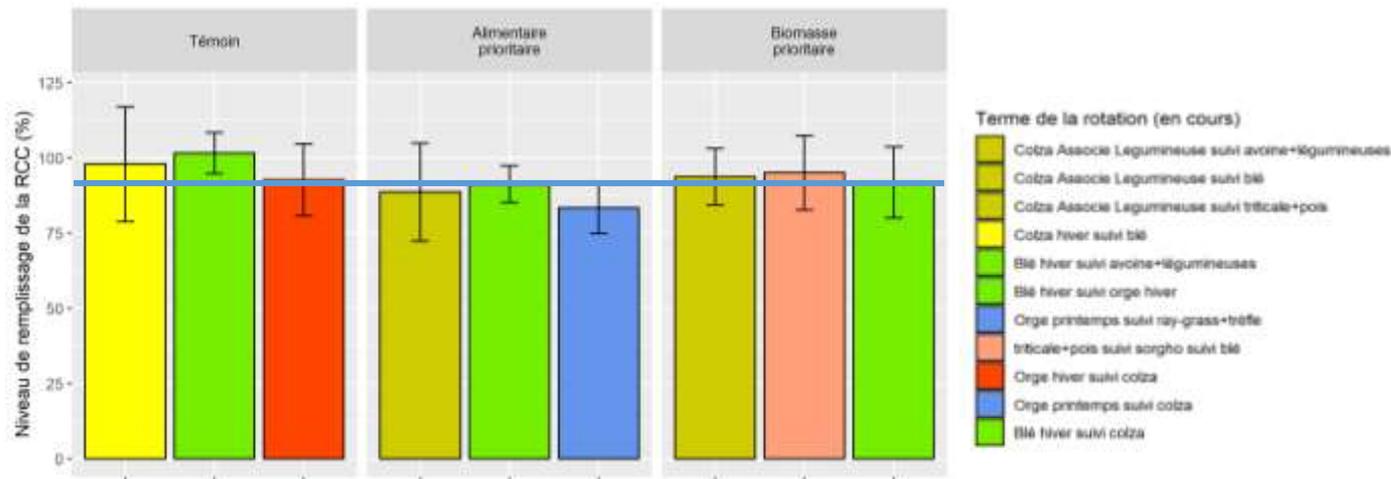
Reliquat entrée hiver

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

Un niveau faible peut traduire :

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

Résultats remplissage de la réserve hydrique en entrée d'hiver



Détail de niveau de remplissage pour chaque terme des systèmes



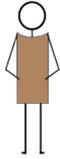
On peut voir sur le graphique que la plupart des moyennes sont situées au-dessus du seuil de 90%. Cependant, les niveaux de remplissage dans le scénario *alimentaire prioritaire* sont légèrement en-dessous de ce seuil, surtout derrière l'orge de printemps. Des travaux restent à mener pour comprendre pourquoi ces niveaux de remplissage sont moins élevés derrière certaines cultures de l'essai.



Nous avons considéré un seuil de 90% comme niveau critique de remplissage. Etant donné que les moyennes des niveaux de remplissage dans la plupart des cas ne descendent pas sous ce seuil, nous pouvons conclure **qu'il n'y a pas eu de niveau critique de la réserve hydrique en entrée d'hiver derrière la plupart des cultures, notamment la double culture**. 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.

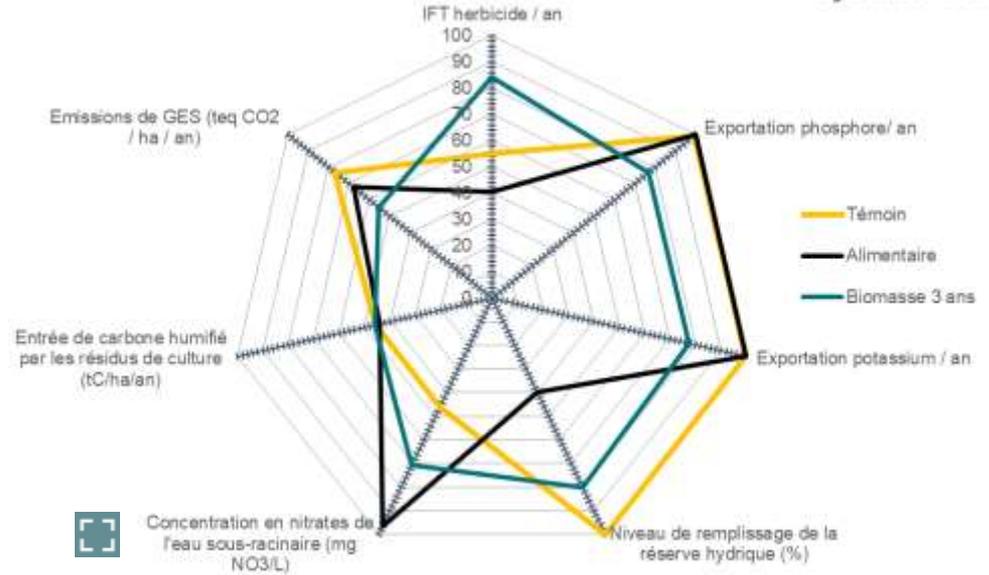
Les résultats environnementaux

- 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 ?

Ferme 3.0
Système SCOP



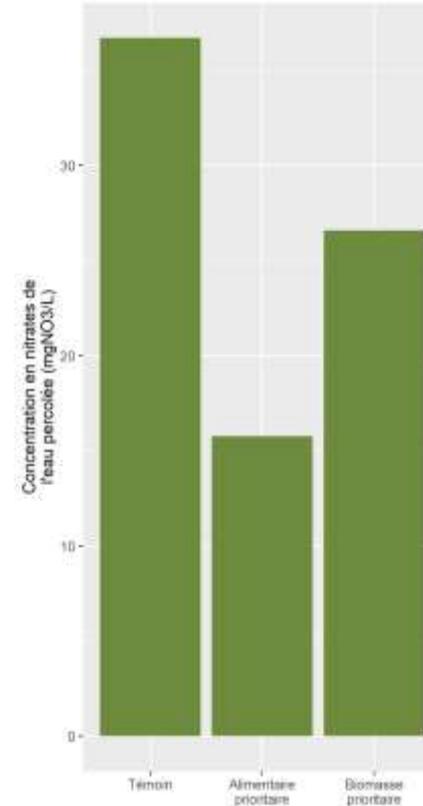
	Borne valant 100 %	Borne valant 0 %
Concentration en nitrates de l'eau sous-racinaire	56 mgNO3/L	14 mgNO3/L

Résultats concentration en nitrates de l'eau sous-racinaire



Le témoin présente la concentration la plus élevée. Le seuil réglementaire (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*

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

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

=

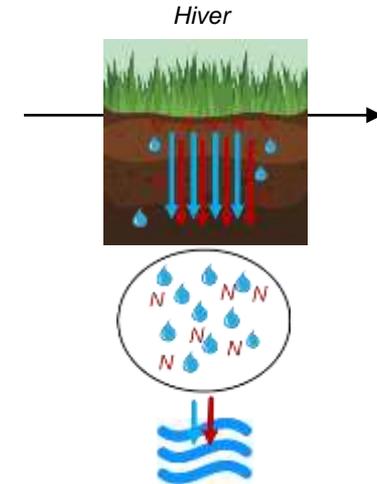
Quantité d'azote entraîné par le drainage
= **Azote lessivé**

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

Une concentration élevée :

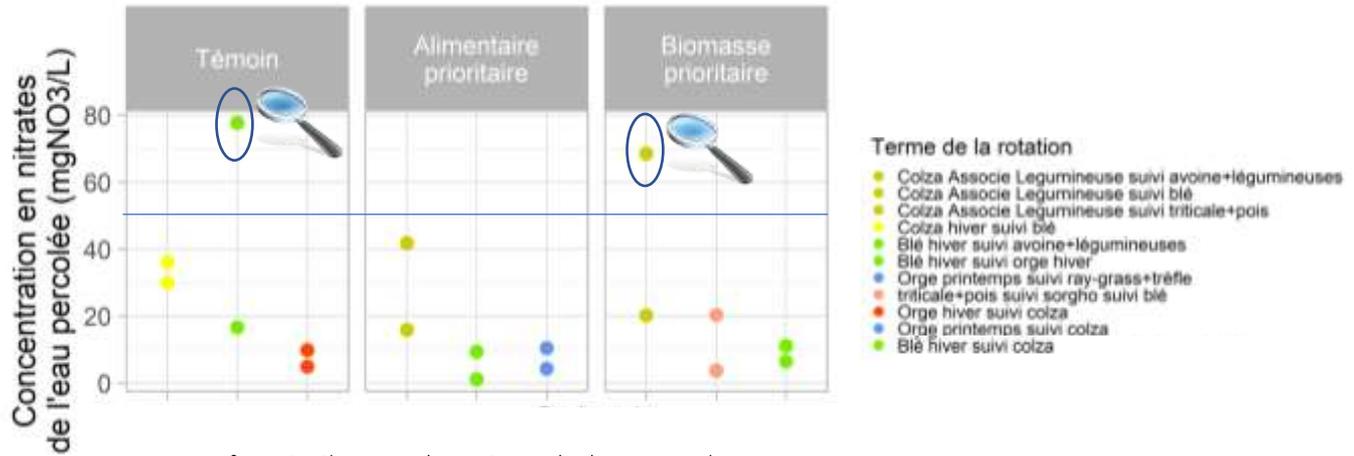
- ❶ Traduit un système de culture à risque vis-à-vis de l'azote (apports > besoins, apports mal valorisés, absence de couverture automnale,..)
- ❷ Est souvent liée à des reliquats entrée hiver élevés

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



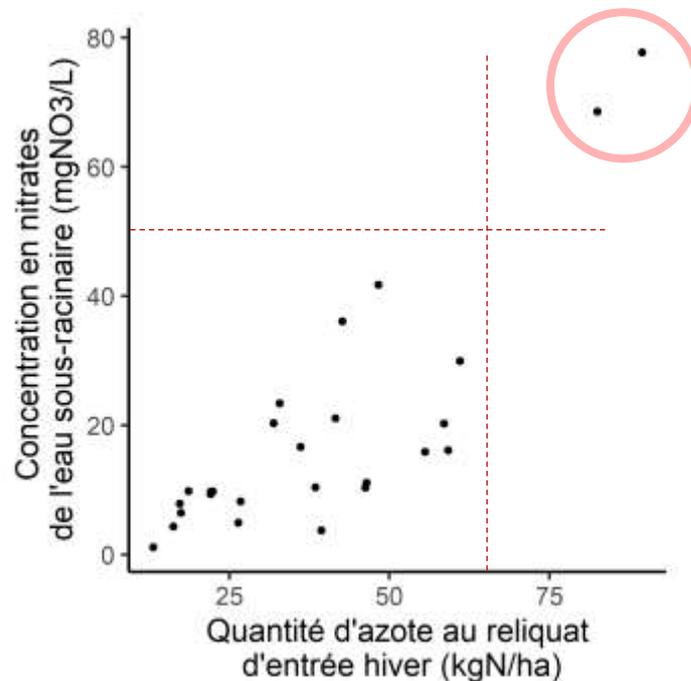
Ce graphique montre les concentrations en nitrates de l'eau sous-racinaire obtenues derrière chaque terme de la rotation, afin de permettre de mieux comprendre les niveaux obtenus. La concentration moyenne élevée du scénario *témoin* s'explique par une concentration élevée derrière le blé en 2017-2018. Pour le scénario *biomasse prioritaire*, la concentration moyenne élevée est liée à la concentration élevée derrière le colza en 2017-2018.

Résultats concentration en nitrates de l'eau sous-racinaire

- On observe une **corrélation très élevée entre le reliquat entrée hiver et la concentration en nitrates de l'eau sous-racinaire.**
- On retrouve sur le graphique ci-contre **les deux situations avec les pertes les plus élevées** et on note qu'ils présentent aussi les reliquats entrée hiver avec les quantités d'azote les plus élevées.
- Les autres points se situent à la fois sous le seuil des 50 mgNO₃/L, mais aussi avec des reliquats entrée hiver inférieur à 70 kgN/ha.



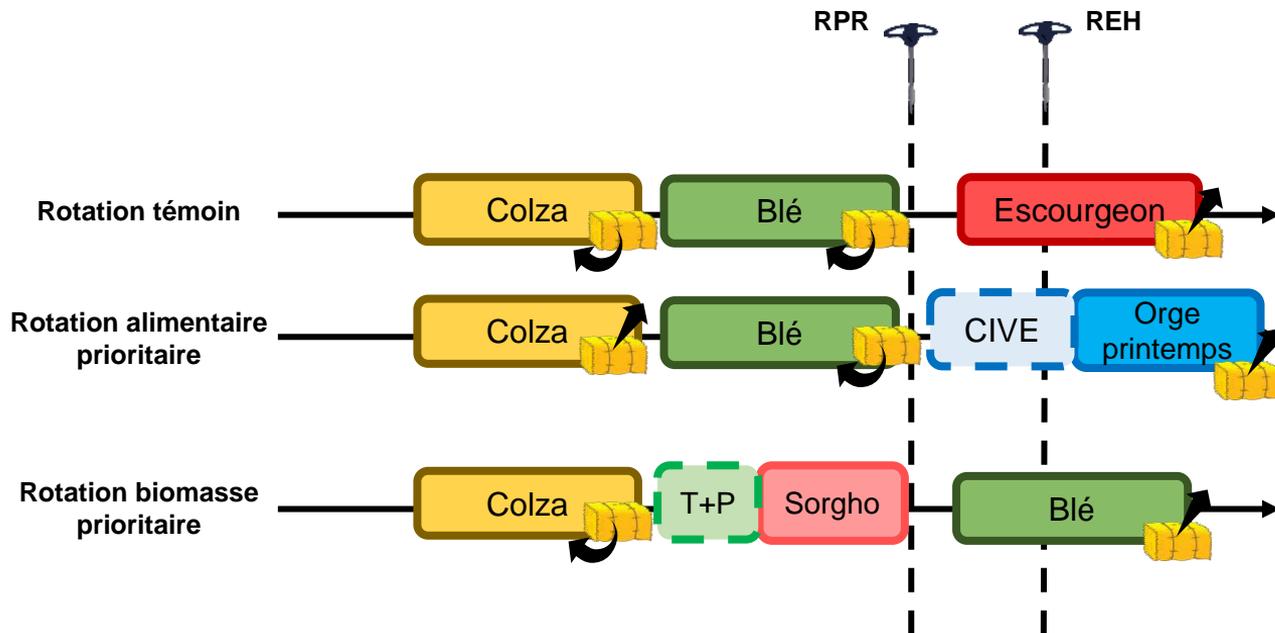
Pour comprendre les concentrations en nitrates de l'eau sous-racinaire de ces deux situations, il faut donc chercher à comprendre pourquoi les reliquats entrée hiver sont élevés pour ces deux situations.



Résultats concentration en nitrates de l'eau sous-racinaire

- Zoom sur les concentrations élevées -

Pour les périodes hivernales 2016-2017 et 2017-2018



Vous avez dit « *RPR* » ?

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

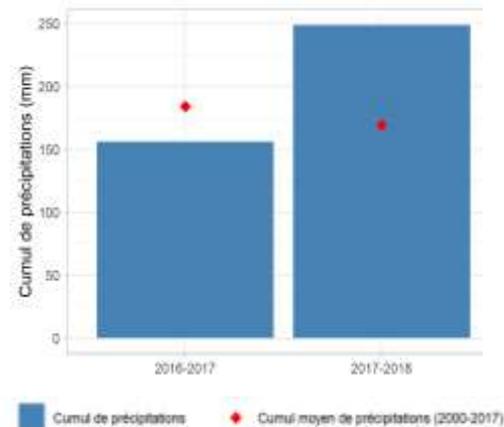
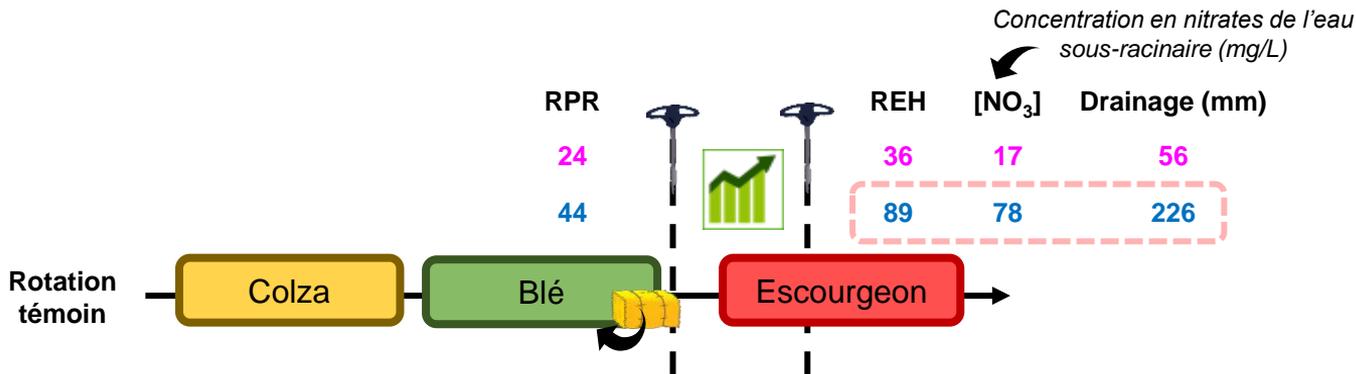
Vous avez dit « *REH* » ?

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

Résultats concentration en nitrates de l'eau sous-racinaire

- Zoom sur les concentrations élevées dans le scénario *témoin* (derrière blé) -

Pour les périodes hivernales 2016-2017 et 2017-2018



En 2017-2018, le reliquat entrée hiver plus élevé ainsi que le drainage plus important, expliquent la concentration en nitrate plus élevée par rapport à 2016-2017.

Le drainage important s'explique par les **précipitations très élevées cet hiver-là**.

Le REH élevé est plus difficilement explicable. Une hypothèse envisagée serait une minéralisation conjointe des pailles et de la matière organique sur cette période, plus importante par rapport à l'année précédente. Ce phénomène pourrait être dû aux **précipitations qui ont été plus importantes cet automne là**, par rapport à l'année précédente. De plus, il n'y a pas eu de couvert pour capter cet azote minéralisé, comme cela a été le cas dans le scénario *alimentaire prioritaire*.

Il est à noter que les valeurs de REH en 2017 dans ce scénario derrière le blé restent très élevés par rapport à ce que l'on peut observer derrière ce type de précédent. Des travaux complémentaires sont à mener pour comprendre ce résultat.

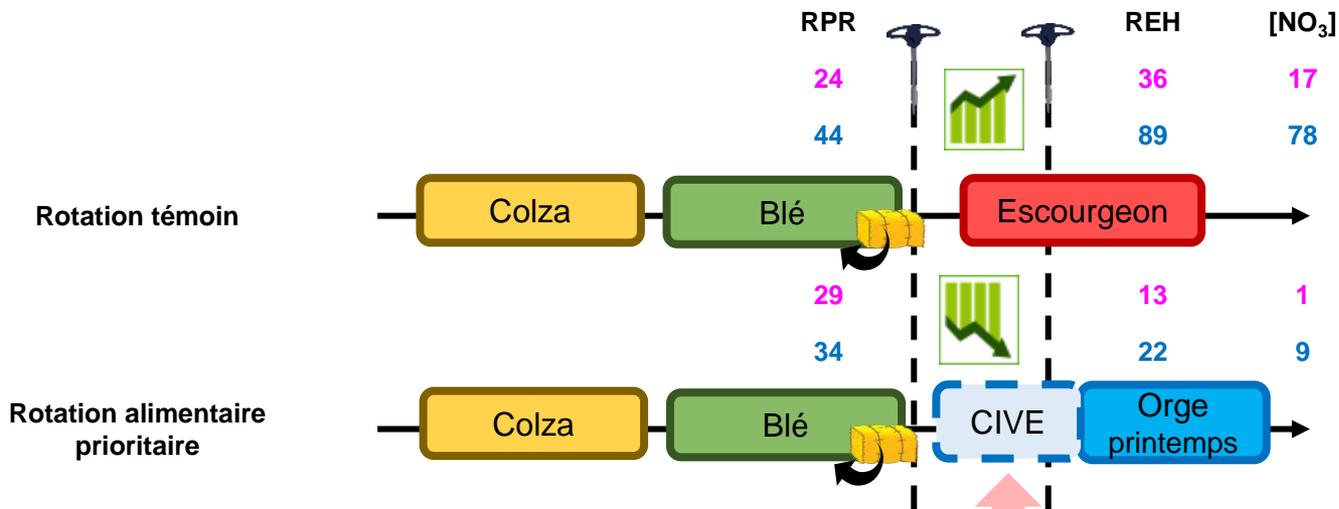


Résultats concentration en nitrates de l'eau sous-racinaire

- Zoom sur les concentrations élevées dans le scénario *témoin* (derrière blé) -

Pour les périodes hivernales 2016-2017 et 2017-2018

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

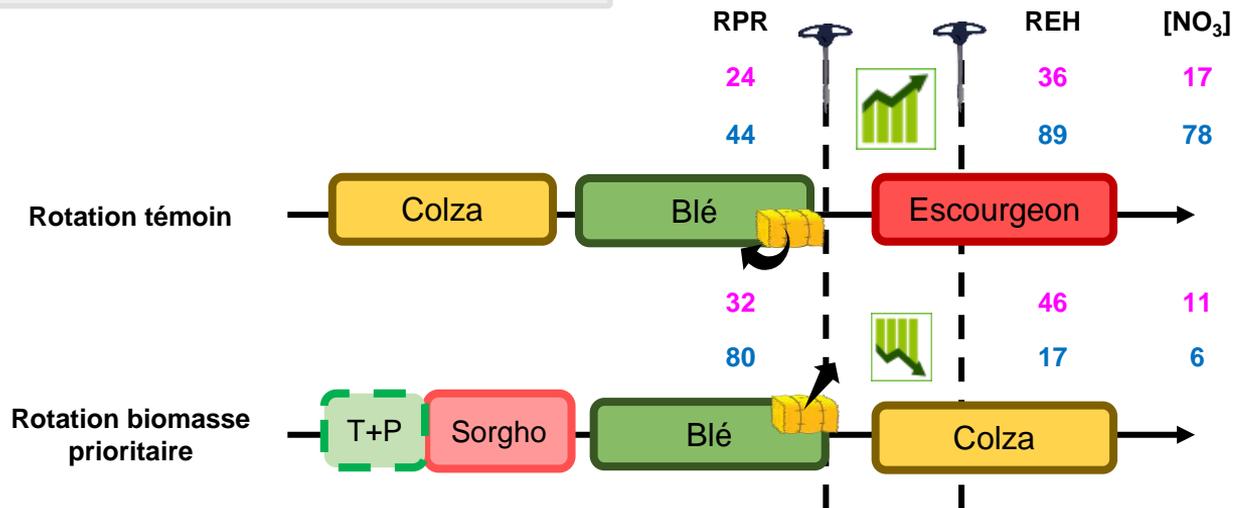


En comparaison, dans le scénario *alimentaire prioritaire*, le **blé suivi d'un couvert présente des pertes moins importantes de par la capacité d'absorption de l'azote par ces végétaux**. Le reliquat diminue entre le post-récolte et l'entrée hiver.

Résultats concentration en nitrates de l'eau sous-racinaire

- Zoom sur les concentrations élevées dans le scénario *témoin* (derrière blé) -

Pour les périodes hivernales 2016-2017 et 2017-2018



L'effet du couvert de légumineuses associées au colza sur les reliquats est considéré comme nul car leur croissance a été très faible.

De même, dans le scénario *biomasse prioritaire*, le blé suivi du colza présente des pertes moins importantes et un reliquat qui diminue entre le post-récolte et l'entrée hiver pour l'année 2017-2018.

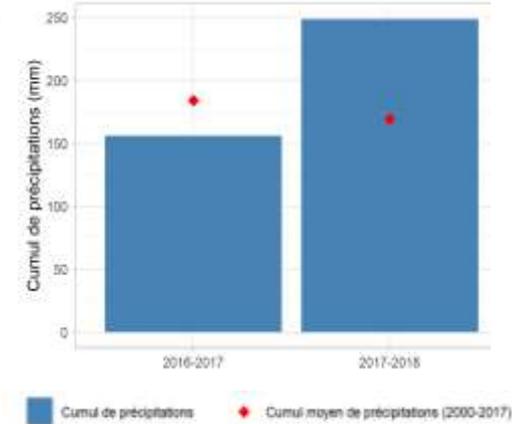
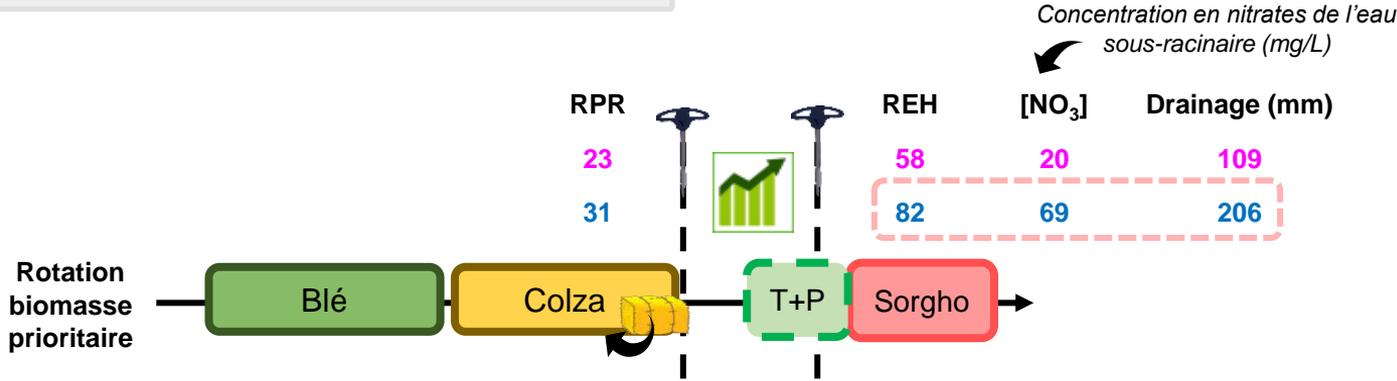
Cet effet pourrait être lié à la capacité d'absorption de l'azote par le colza avant l'hiver mais aussi au fait que les pailles du blé ont été exportées et n'ont donc pas apporté d'azote en se minéralisant.

Cependant, cet effet est observable uniquement en 2017-2018. En 2016-2017, le reliquat augmente entre la récolte et l'entrée hiver, probablement car la croissance du colza en fin d'été n'a pas été au rendez-vous. Malgré un REH plus élevée que dans la rotation *témoin* la même année, les concentrations sont plus faibles car la quantité d'eau drainée a été plus importante, diluant cet azote.

Résultats concentration en nitrates de l'eau sous-racinaire

- Zoom sur les concentrations élevées dans le scénario *biomasse prioritaire* -

Pour les périodes hivernales 2016-2017 et 2017-2018



Comme dans la situation précédente, les REH plus élevés mais aussi les niveaux de drainage plus importants expliquent les concentrations plus élevées en 2017-2018 par rapport à 2016-2017.

Les niveaux de drainage importants ont eu lieu de par le **niveau des précipitations très élevé cet hiver 2017-2018**.

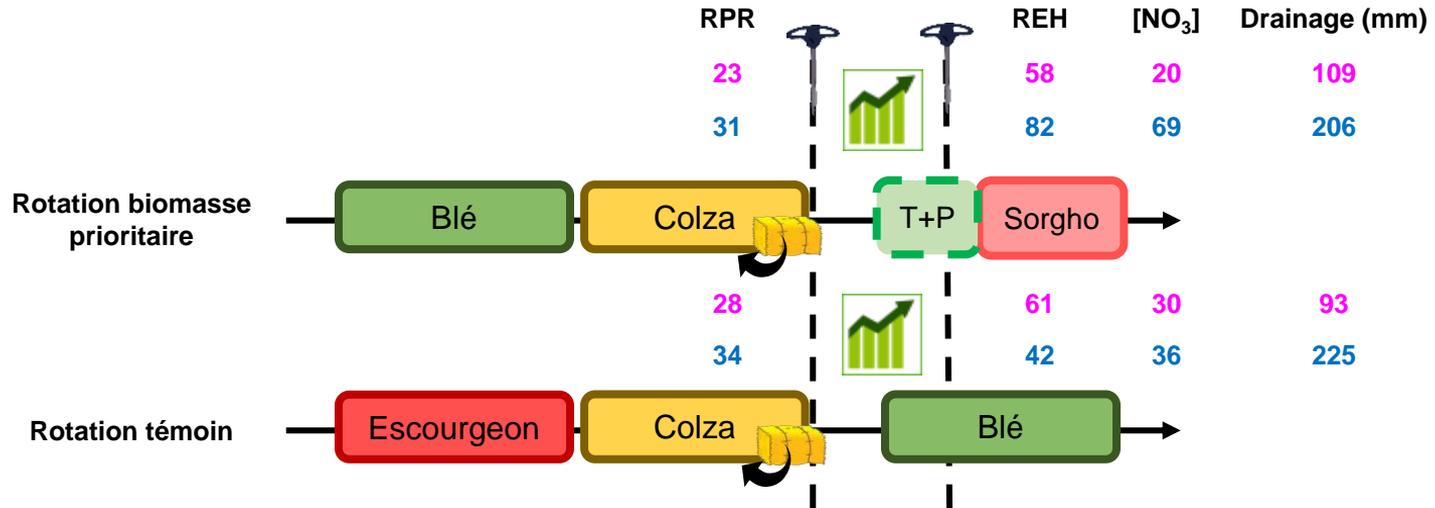
Les **niveaux de REH élevés sont plus difficilement explicables**. On voit qu'il y a une augmentation de la quantité d'azote dans le sol, entre le stade post-récolte et le stade entrée hiver et ce pour les deux années d'étude. L'hypothèse avancée pour expliquer ce phénomène est **la minéralisation des pailles de colza et de la matière organique pendant cette période de fin d'été**. De plus, les repousses de colza et le triticale suivant (peu développé) ne semblent pas avoir pu capté cet azote. Cependant nous ne disposons pas de données sur leur croissance pour valider cette hypothèse.



Résultats concentration en nitrates de l'eau sous-racinaire

- Zoom sur les concentrations élevées dans le scénario *biomasse prioritaire* -

Pour les périodes hivernales 2016-2017 et 2017-2018

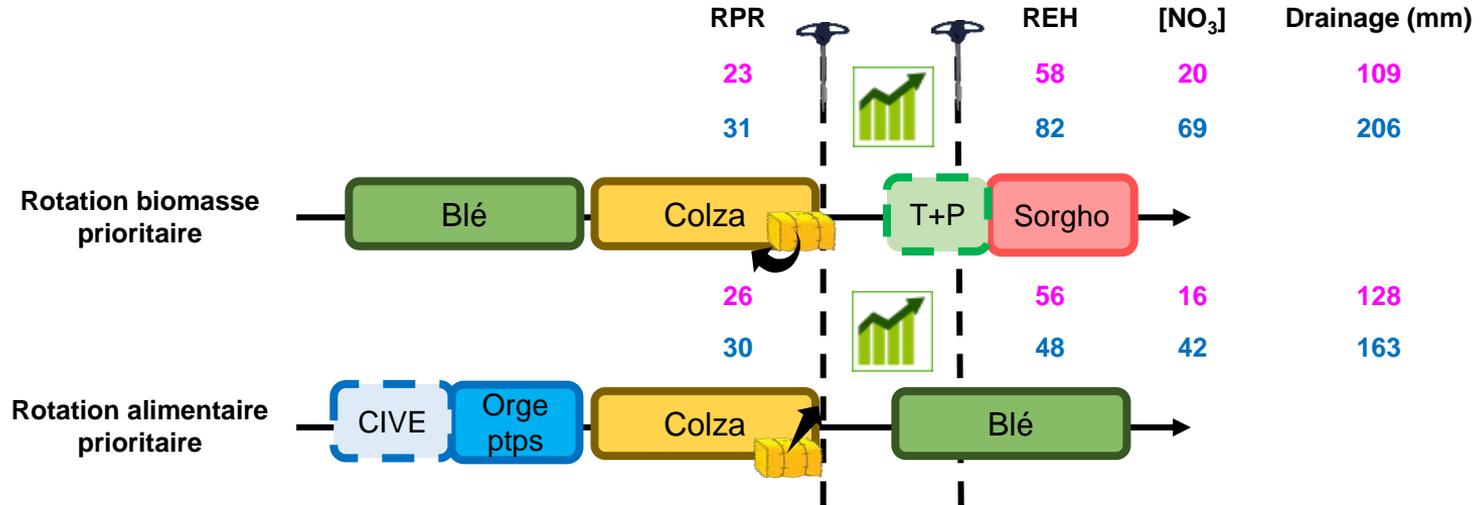


En comparaison, on retrouve aussi une augmentation des reliquats entre le post-récolte et l'entrée hiver derrière le colza du scénario *témoin*. Cette augmentation ne se traduit pas par une augmentation des concentrations pour plusieurs raisons. Le niveau de drainage faible en 2016-2017 n'a pas entraîné l'azote vers le fond du profil. A l'inverse, les niveaux de drainage élevés en 2017-2018 ont permis une dilution de l'azote, même si une quantité importante a pu être entraînée vers le fond du profil.

Résultats concentration en nitrates de l'eau sous-racinaire

- Zoom sur les concentrations élevées dans le scénario *biomasse prioritaire* -

Pour les périodes hivernales 2016-2017 et 2017-2018



En comparaison, on retrouve aussi une augmentation des reliquats entre le post-récolte et l'entrée hiver derrière le colza du scénario *alimentaire prioritaire*. Cette augmentation n'a pas assez élevée pour amener à des concentrations en nitrates de l'eau sous-racinaire élevées.

Résumé

CE QU'IL FAUT RETENIR

- ❶ Pas de risque de surconsommation d'eau des systèmes alimentaire et biomasse prioritaires.
- ❷ Les CIVE non fertilisées (exportées ou non), ainsi que la croissance du colza en entrée hiver ont permis sur ce dispositif de réduire les concentrations en nitrates de l'eau percolée.
- ❸ Cependant, il reste encore des interrogations et des travaux à mener pour comprendre les reliquats élevés derrière certaines cultures en 2017.



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 ?

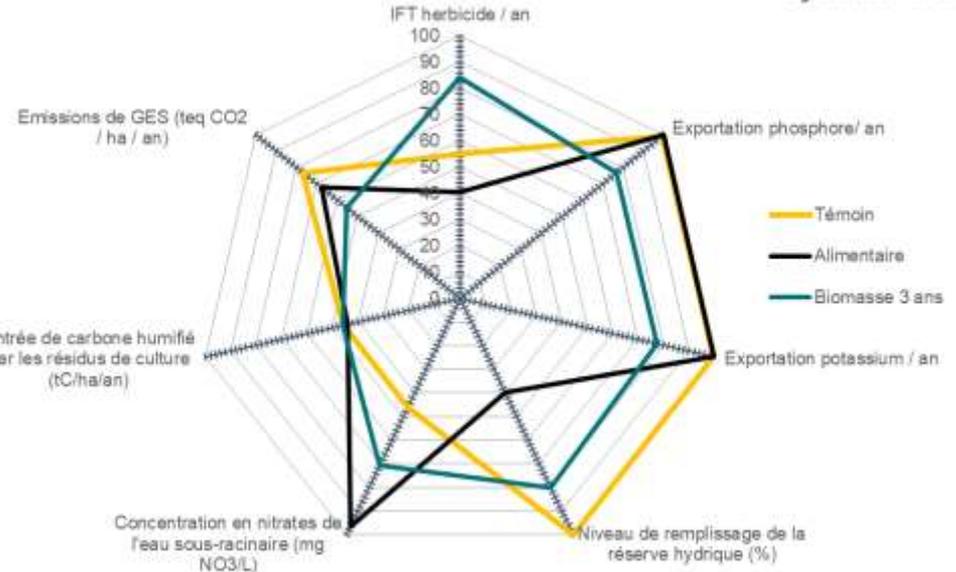
La question se pose ici de vérifier si les systèmes de culture à exportation de biomasse importante entraînent des restitutions de carbone réduites, ayant un impact sur le stockage de carbone.



Entrée de carbone humifié par les résidus de culture (tC/ha/an)

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

Ferme 3.0
Système SCOP

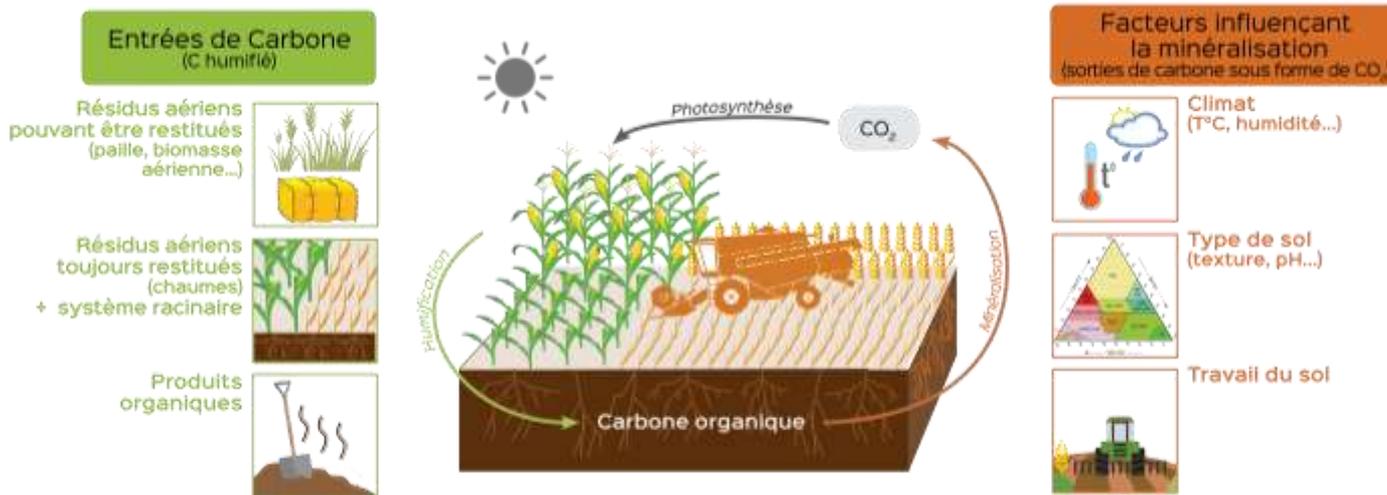


Entrée de carbone humifié

- Le principe du bilan humique -

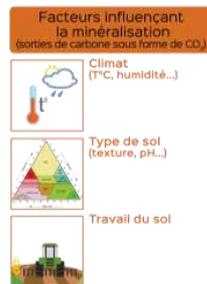
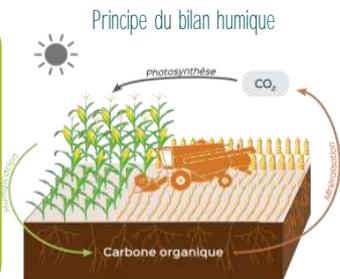
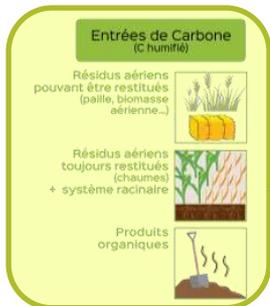
Stocker du carbone :

Fournitures de carbone humifié > Sorties par minéralisation



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

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



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

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



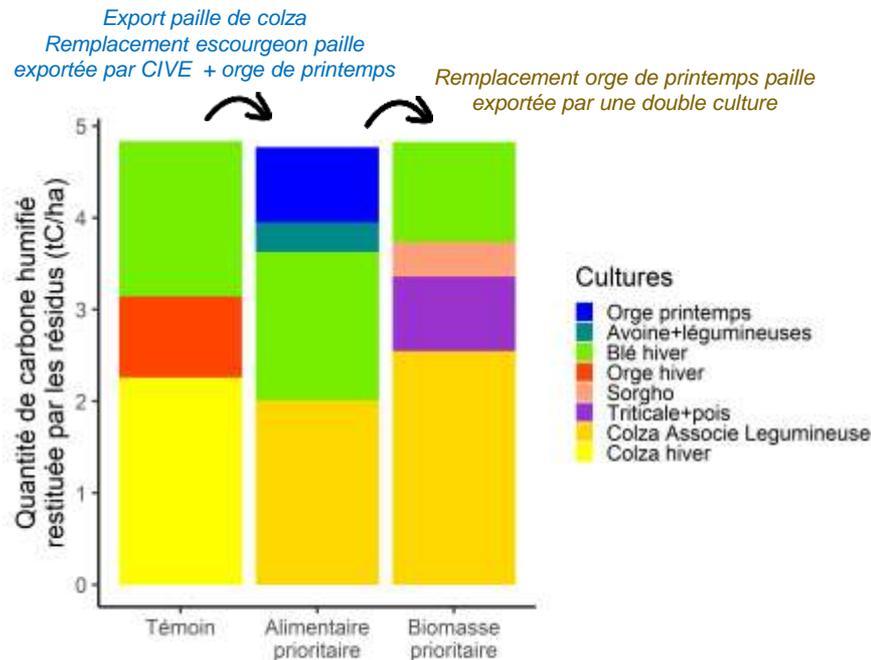
Les entrées de carbone humifié dans les systèmes avec exportation de biomasse importante sont-elles réduites par rapport au scénario initial ?



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

Résultat d'entrée de carbone humifié

- ❶ Dans cet essai de systèmes, **les modifications de rotation n'entraînent pas de modifications sur les entrées de carbone humifié.**
- ❷ Dans le scénario *alimentaire prioritaire* :
 - Le remplacement de l'escourgeon par une orge de printemps, tous les deux ayant une paille exportée, rapporte les mêmes quantités de carbone humifié.
 - L'export d'une paille de colza supplémentaire est compensé par les résidus de la « CIVE » non exportée et les résidus des légumineuses associées au colza.
- ❸ Dans le scénario *biomasse prioritaire* :
 - La paille de colza est restituée mais celle de blé exportée. Les quantités de carbone humifiées se compensent.
 - Le terme cultural CIVE + orge de printemps est remplacé par la double culture triticale-pois suivie du sorgho. Les quantités de carbone humifié sont assez proches entre les deux termes, permettant de conserver les mêmes niveaux.
- ❹ Il est à noter que **ces résultats sont valables pour cette situation de rotations et de rendements.** Les biomasses obtenues pour le sorgho sont assez faibles dans cet essai et dans d'autres contextes, avec des potentiels de production plus élevés, les quantités de carbone humifié apportées par la double culture pourraient être plus élevées.



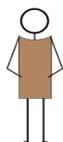
Quantité de carbone humifiées apportées par les résidus de chaque culture de chaque scénario



Dans ce type de rotation et avec les rendements obtenus, les modifications de rotation n'ont pas entraînées de diminution des entrées de carbone humifié, qui sont toutes au même niveau, bien que la biomasse exportée soit plus importante avec la déclinaison des scénarios. Ici, les résidus de couverts et légumineuses associées compensent la restitution de la paille de colza, et les résidus de la double culture compensent les résidus de CIVE + orge de printemps.

Résultats d'entrée de carbone humifié

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



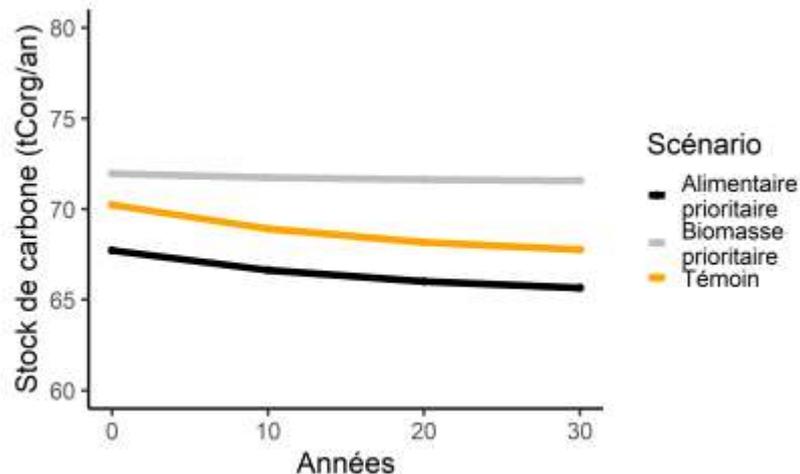
Quel impact sur l'évolution du stock de carbone de cette parcelle ?

- ➊ Nous avons évalué l'impact des modifications de pratiques sur l'évolution du stock de carbone de cette parcelle en particulier, projeté à 30 ans. Cette simulation a été faite avec l'outil SIMEOS-AMG.
- ➋ On observe que le stock diminue pour les scénarios *témoin* et *alimentaire prioritaire*, alors qu'il reste stable pour le *biomasse prioritaire*.

D'après le principe du bilan humique, l'évolution du stock est déterminée par les entrées de carbone humifié et les sorties via la minéralisation de la MO. Etant donné que les entrées sont quasiment identiques entre les scénarios, on en déduit que l'évolution est liée aux sorties, qui doivent être différentes entre les scénarios. En effet, le stock initial est différent car les scénarios ont été implantées à différentes endroits de la parcelle, qui présente des teneurs en matière organiques variables (de 2,26 à 2,85 %). De plus, les taux de calcaire et d'argile sont très différents entre les parcelles, or ils influencent fortement la minéralisation.



Sur cette parcelle, l'impact du changement de rotation sur l'évolution du stock de carbone est 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. Les entrées étant identiques entre les scénarios.



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

Résultats d'entrée de carbone humifié

- Contribution des CIVE courtes aux entrées de carbone humifié -



Quelle contribution des CIVE courtes aux entrées de carbone humifié ?

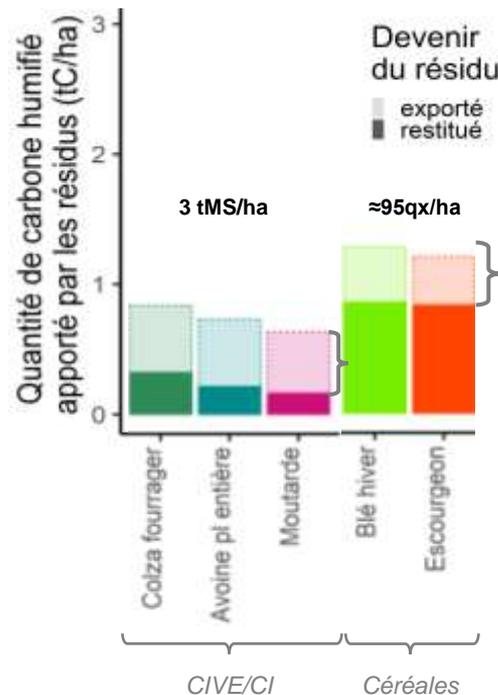
Le graphique ci-contre montre les quantités de carbone humifié qui sont apportées pour différentes CIVE (colza fourrager, avoine et moutarde) produisant 3tMS/ha, ainsi que pour deux céréales (blé et escourgeon). La quantité de carbone humifié est présentée en deux catégories : celui apporté par les résidus 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).

- ① 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 humifié : ces dernières auraient-elles fortement diminué dans ce cas ?
- ① On voit sur ce graphique que pour des couverts atteignant 3tMS/ha, la biomasse aérienne des cultures intermédiaires contient des quantités similaires de carbone humifié qu'une paille de céréales.

Si le choix se présente, **on peut donc compenser l'export de la biomasse aérienne d'une CIVE par la restitution 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

Résumé

CE QU'IL FAUT RETENIR

- ❶ Pour maintenir le stockage de carbone, il faut compenser les sorties par les entrées.
- ❷ La double culture fournit des quantités de carbone humifié importantes mais moins importantes que le colza avec les pailles restituées.
- ❸ La biomasse aérienne des CIVE permet de fournir autant de carbone humifié qu'une paille de céréales.



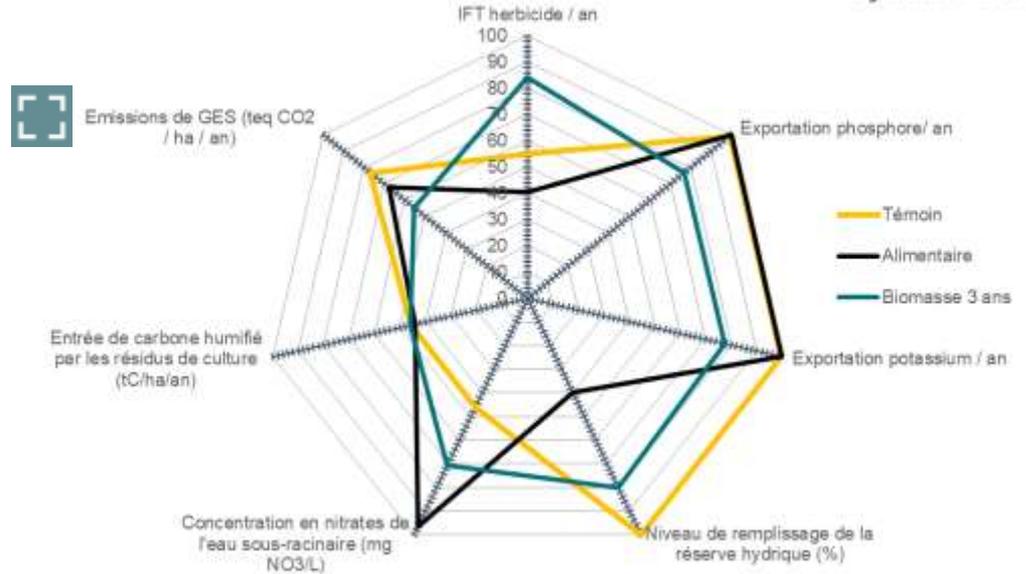
Les résultats environnementaux

- 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 ?

**Ferme 3.0
Système SCOP**



	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 ?



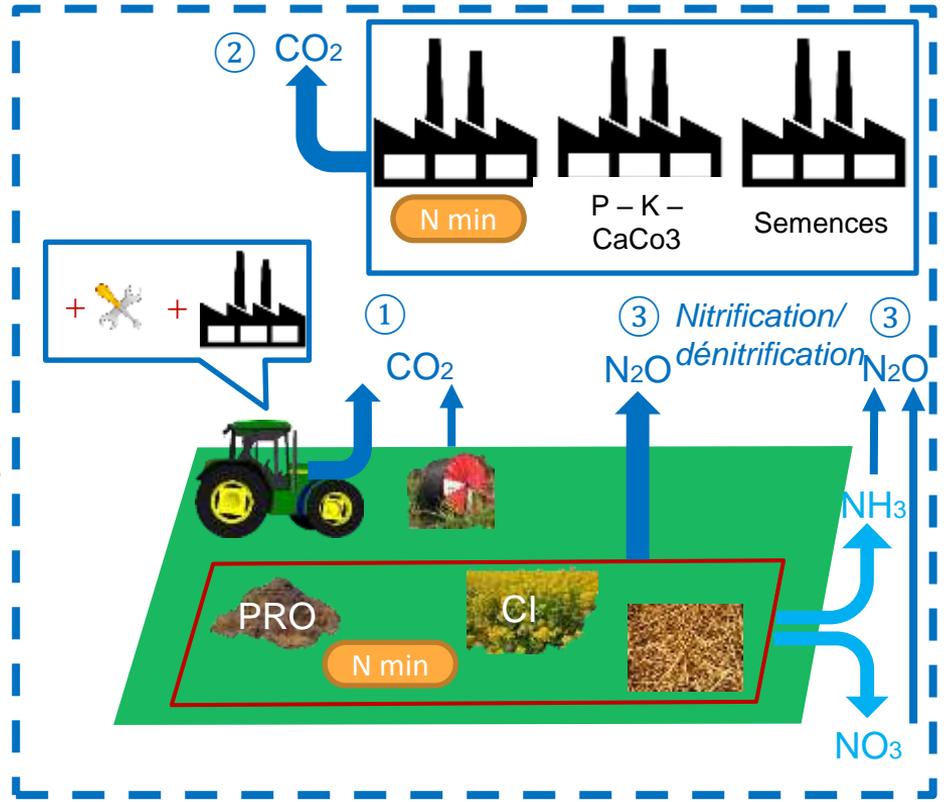
Inventaire des émissions de GES liées à la production végétale des systèmes de culture basé sur la méthode ABC'Terre.

La méthode ABC'Terre

① Emissions dues à l'usage du matériel agricole

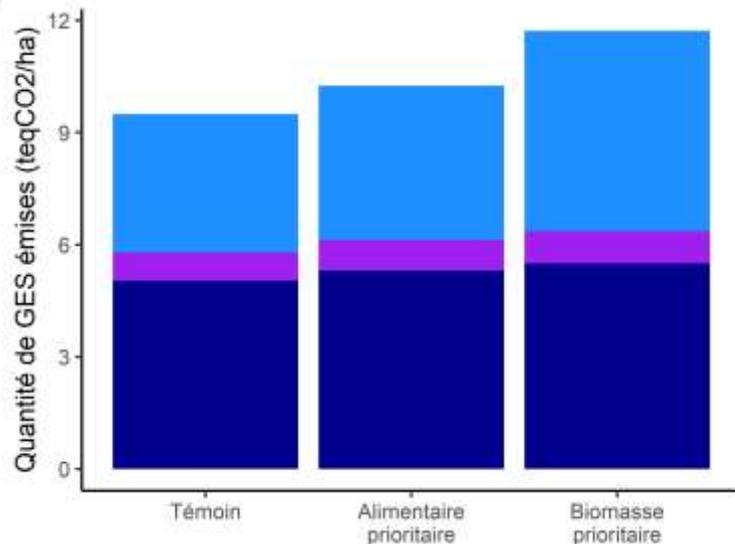
② Emissions dues à la production des intrants

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 augmentent avec la quantité de biomasse exportée.

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. Elles sont plus importantes dans les scénarios *alimentaire* et *biomasse prioritaires* de par des quantités d'azote accrues apportées à la fois par les résidus de cultures et par les engrais azotés.
- Les émissions liées à l'utilisation des engins agricoles contribuent peu au bilan GES



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

Résultats émissions de Gaz à effet de serre



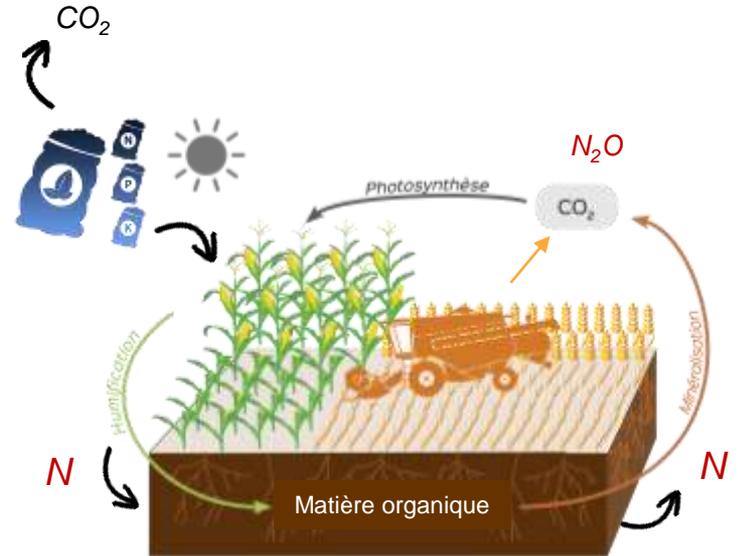
Les émissions de GES sont donc très corrélées aux entrées d'azote dans le système de culture.

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

Il faut chercher à privilégier des apports d'azote 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.



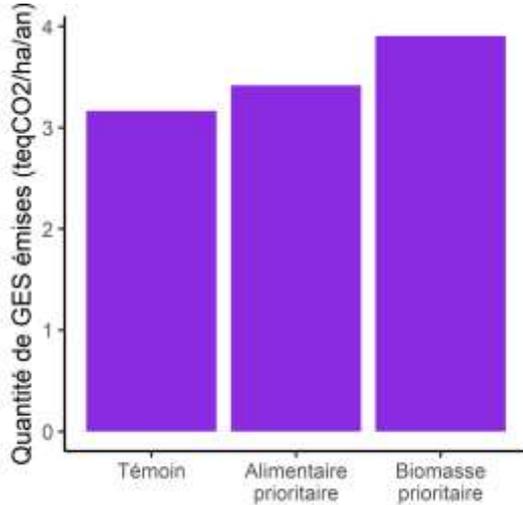
Il faut trouver un compromis entre production de biomasse et gestion de l'azote à l'échelle du système !



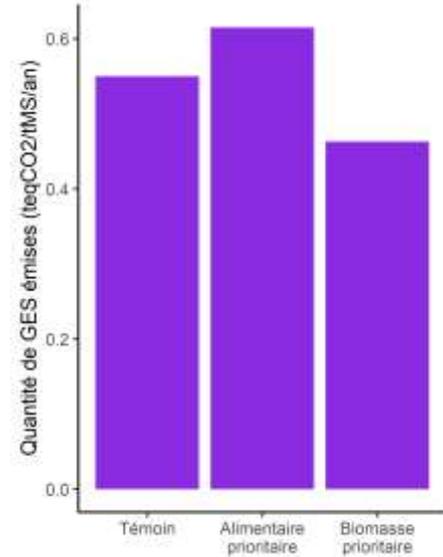
Couplage du cycle du carbone et de l'azote et leur lien avec les émissions de GES

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.



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



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

I. Méthodologie

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

II. Performances économiques des systèmes

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



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

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

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

SOURCES

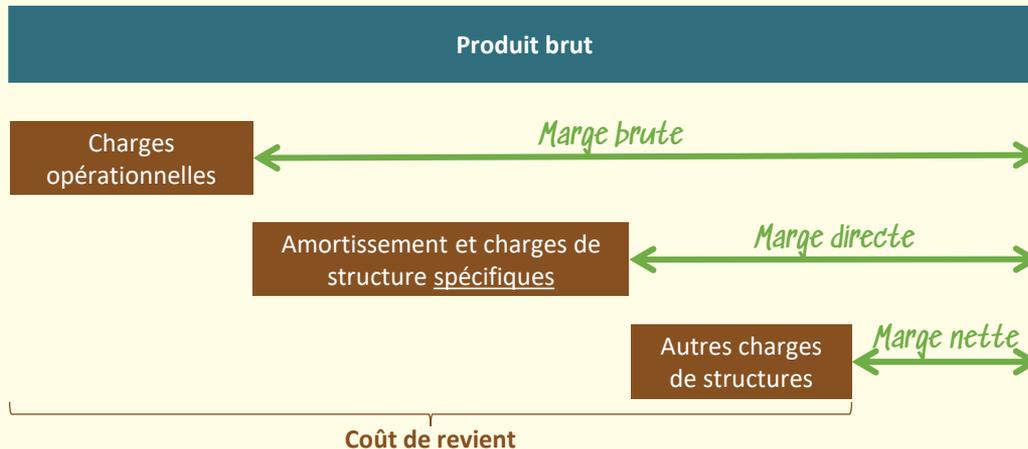
BERLAND, DE RONGE, 2013, Contrôle de gestion – Perspectives stratégiques et managériales, PEARSON, 2^{ème} édition, p. 173-175
 CER France, Définition des principaux termes utilisés, [URL https://www.cerfrance.fr/upload/actualite/5866202bceb1a_lexique.pdf], consulté en janvier 2021

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
Sorgho fourrager	73
Féverole ou pois	293



Marges directes obtenues pour les différents systèmes

- Marges directes à l'échelle du système -

€/ha.an

675

600

562

516

400

200

0

Témoin

AP

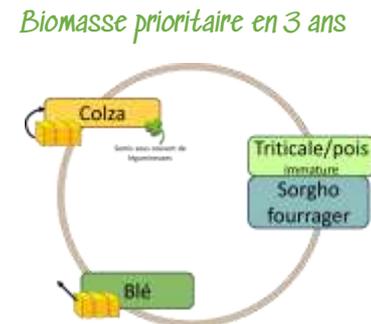
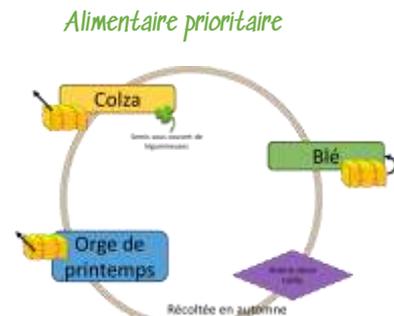
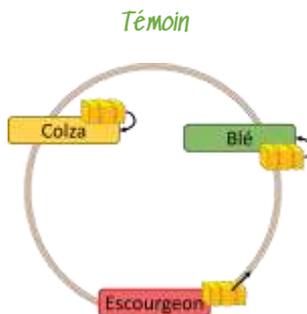
BP

En ne prenant pas en compte les primes et subventions, les systèmes de culture *alimentaire prioritaire* et *biomasse prioritaire* ont respectivement une **marge directe de 16 et 23 % plus faible** que celle du *témoin*.

RAPPEL DES HYPOTHESES DE PRIX DE VENTE

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

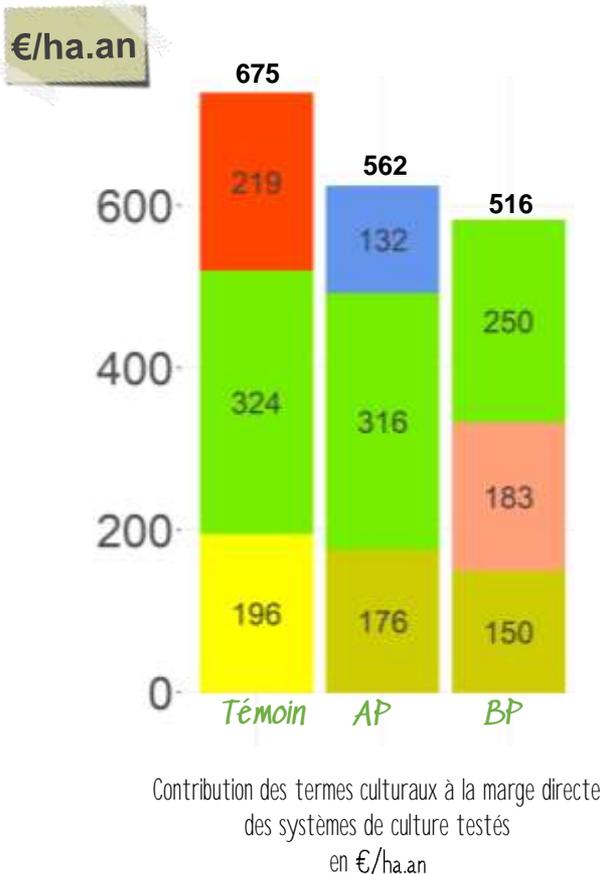
	Prix de vente (€/tMS)
Betterave sucrière	120
Blé hiver	201
Colza hiver	395
Orge printemps	187
Seigle pl entière	102
Sorgho fourrager	73
Féverole ou pois	293



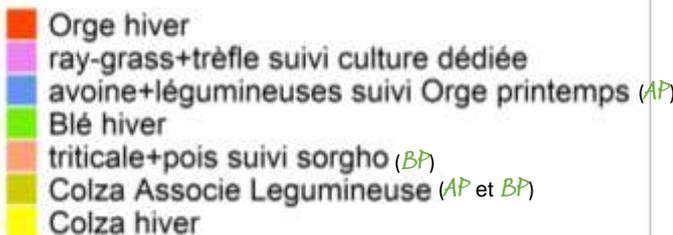


Marges directes obtenues pour les différents systèmes

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



- Les différences de marges brutes obtenues pour un même terme cultural, entre les scénarios, s'expliquent par les **différences de rendement**.
- La plus grande marge brute pour le colza par rapport à un colza associé alors qu'on observe un rendement inférieur s'explique majoritairement par le **coût supérieur de la semence pour le colza associé**.
- La plus faible marge brute du blé dans le BP s'explique par **les charges de mécanisation supérieures** derrière la double culture (davantage de travail profond : labour ou décompactage) et par le **rendement inférieur** (voir diapo 22)
- Les différences** de marges brutes des systèmes de culture s'expliquent également **par les cultures différant entre les systèmes** (■, ■), dont les rendements ne sont pas élevés, notamment ceux l'orge de printemps (diapo 23).





Marges directes obtenues pour les différents systèmes

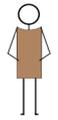
- Part de chaque poste de charge dans la marge directe du système -

€/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>	1373	62	253	62	249	71	675
<i>Alimentaire prioritaire</i>	1362	104	303	67	255	71	562
<i>Biomasse prioritaire</i>	1338	128	296	62	266	77	516

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



Charges de semences et engrais plus élevées → en lien avec la substitution de l'orge d'hiver par une avoine /légumineuse + orge de printemps ainsi que l'association d'une légumineuse dans le colza

Charges de semences, d'engrais et d'interventions plus élevées → en lien avec la double culture

Couplé à un **produit brut plus faible** → en lien avec l'introduction d'un triticale/pois suivi d'un sorgho (notamment leur prix de vente)

TARIF DE MAIN
D'ŒUVRE UTILISÉ

24.2 €/h





Réponse de la marge brute aux variations des prix de vente

SCENARIOS DE PRIX DE VENTE

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

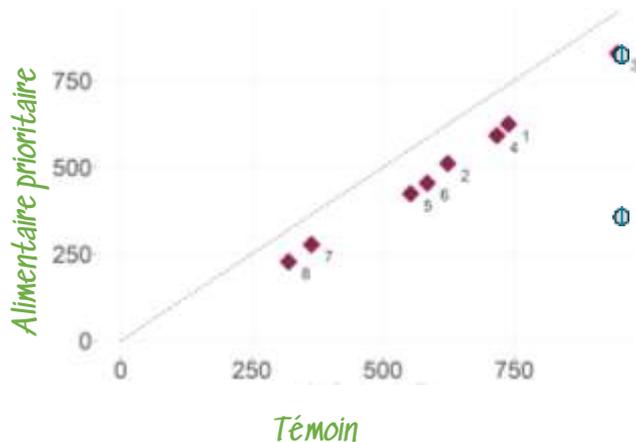
Scénarios de prix de vente proposés par le RMT SdCi
(Massot et al. 2016)

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

AIDE A LA LECTURE

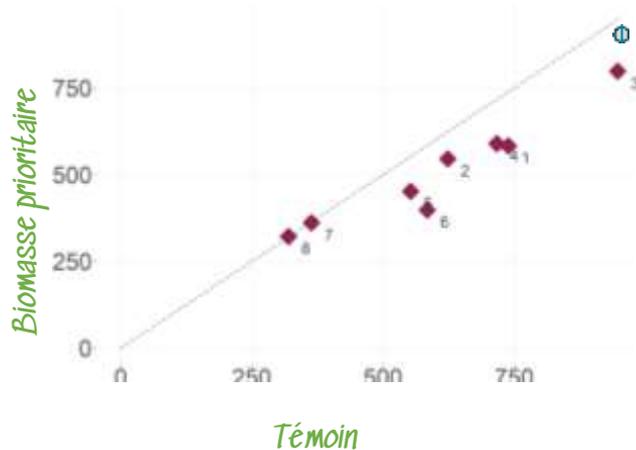
Pour chaque scénario, la marge du système de culture *biomasse* est comparée à celle du système de culture *témoin*.

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



La marge directe du système *témoin* est **supérieure** à celle du système *AP* pour la majorité des scénarios de prix, quelque soit le scénario de prix.

Remplacer l'orge d'hiver par une avoine /légumineuse suivie d'une orge de printemps n'a pas été avantageux **d'un point de vue économique**, du fait de la non exportation de la CIVE quelque soit le scénario de prix.



La marge directe du système *BP* est **identique** au *témoin* pour les scénarios de prix 7 et 8 : ceux où le **prix du colza et du blé sont les plus faibles**.

Dans ces cas, le fait d'avoir substituer le colza par du triticale/pois suivi d'un sorgho a une moindre incidence sur la marge brute.



Synthèse

Enseignements globaux à retenir du cas d'étude
« Système de culture céréalière-oléagineux »



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

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



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

Mais :



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

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

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



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

❸ Des besoins en travaux complémentaires

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

POUR ALLER PLUS LOIN

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

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

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

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



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

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

POUR ALLER PLUS LOIN

Découvrez l'ensemble de nos travaux sur le retour du carbone au sol

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

- 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 Les **cultures dédiées de chanvre et de cameline** ne sont pas réalisables 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 janvier 2021

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



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

