



# Concilier production de biomasse et performances en systèmes de culture céréaliers – oléagineux



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



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

#### II. Les systèmes de culture « céréaliers-oléagineux » suivis



- ① Système céréaliier-oléagineux : système témoin et enjeux associés
- ① Déclinaison des systèmes de culture : objectifs et leviers techniques de production de biomasse employés
  - Le système « Alimentaire prioritaire »
  - Le système « Bioéconomie prioritaire en 3 ans »
  - Le système « Bioéconomie prioritaire en 4 ans »

## Partie 2

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

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



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

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



- ① L'exportation des pailles
- ② Les Cultures IntermédiaIRES à Vocation Energétique (CIVE)



- Définition
- Evaluation agronomique
- Faisabilité technique

- ③ Les doubles cultures dédiées à la biomasse



- Définition
- Evaluation agronomique
- Faisabilité technique

- ④ Les cultures dédiées : cas du chanvre et de la cameline



- Evaluation agronomique
- Faisabilité technique

#### III. Comparaison de l'essai « système céréalier-oléagineux » 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 céréalière-oléagineux »

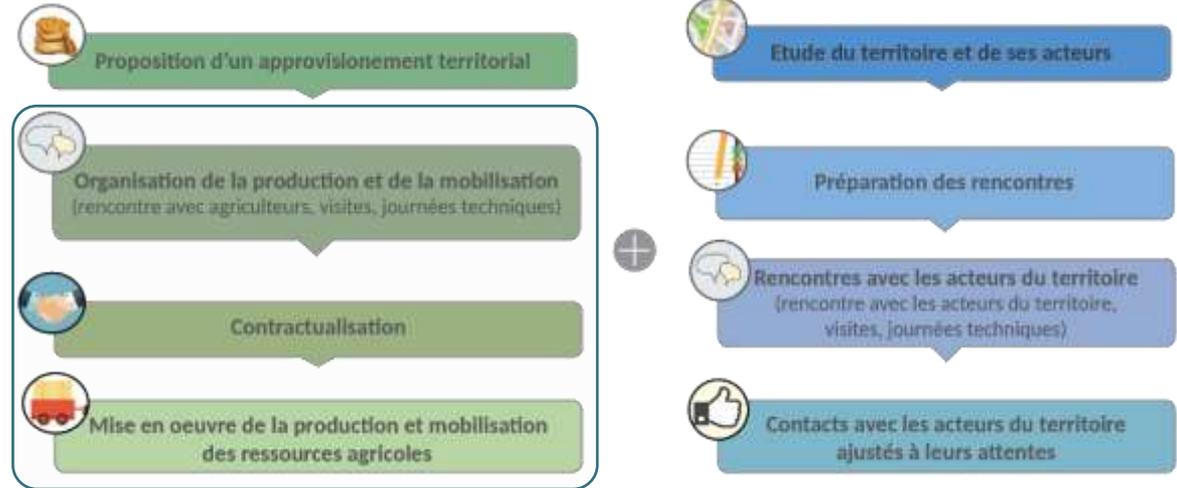


# La démarche FILBIOM

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 céréaliers oléagineux* » 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 céréaliers oléagineux classique des Hauts-de-France.



# Préambule

- ④ Ce document présente des résultats d'évaluation issues de l'expérimentation pluriannuelle de La Ferme 3.0 (2016-2020) sur des systèmes de culture céréalière-oléagineux avec production de biomasse.
- ④ Ce document fait partie d'une série de documents intitulés « **Concilier production de biomasse et performances dans les systèmes de culture des Hauts-de-France** » qui vise à apporter des références et retours d'expériences en vue de fournir des éléments de réponses aux questions soulevées par la production de biomasse :
  - Quels sont les leviers techniques de production de biomasse agricole ?
  - Comment intégrer ces leviers de production de biomasse dans les différents types de systèmes de culture ?
  - Quel niveau de production maximale de biomasse peut-on atteindre dans ces différents systèmes ?
  - Quels sont les effets de la production et de l'exportation de biomasse sur les performances agronomiques, environnementales, économiques ?

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

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

Leurs objectifs :

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



## Partie 1

### Présentation de l'essai

#### I. La plateforme de La Ferme 3.0



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

#### II. Les systèmes de culture « céréaliers-oléagineux » suivis



- ④ Système céréaliier-oléagineux : 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 en 3 ans »
  - Le système « Bioéconomie prioritaire en 4 ans »



# La plateforme de La Ferme 3.0

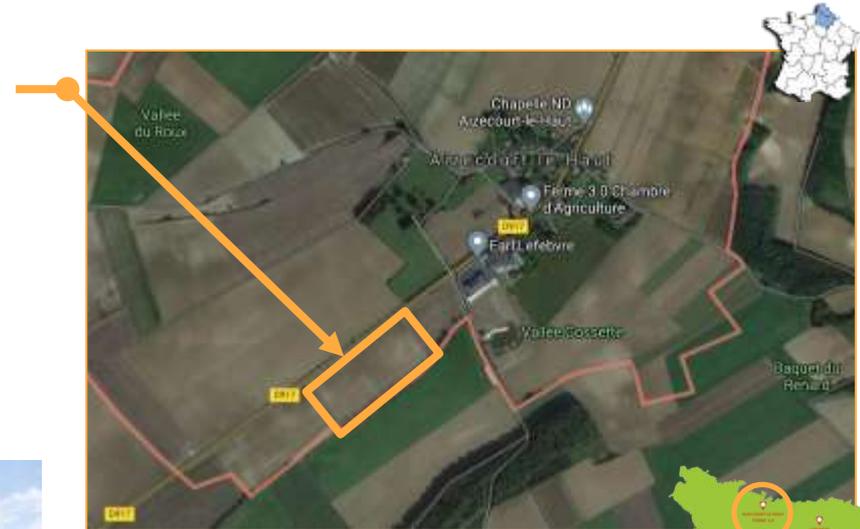
- ❶ Elle est basée dans la commune d'Aizecourt-le-Haut, dans la Somme. L'agriculteur, Jean-marie Deleau, a mis son exploitation au service de la recherche en en transformant une partie en ferme agro-écologique expérimentale.
- ❷ L'essai a été conduit en trinôme entre :
  - Jean-Marie Deleau (agriculteur),
  - La Chambre d'Agriculture de la Somme avec l'implication de Matthieu Preud'homme (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



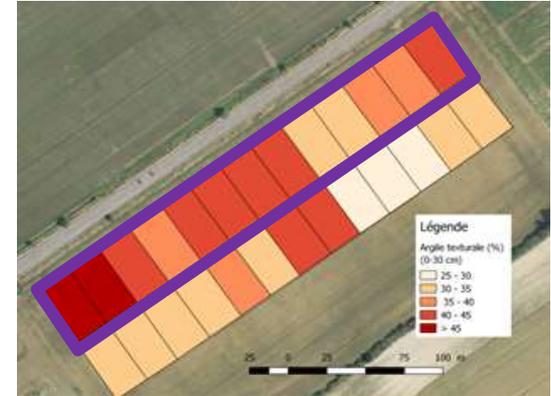
# Contexte pédologique et historique de la plateforme

## Caractéristiques de la parcelle d'essai

- La parcelle d'essai est hétérogène avec deux types de sol :
  - Un sol argilo-limoneux profond dans la **partie haute**
  - Un sol peu profond sur calcaire dur dans la **partie basse**
- Réserve utile : variation de 165 à 261 mm en fonction des micro-parcelles
- Teneur en matière organique : variation de 2,26 à 2,85 % en fonction des micro-parcelles
- Densité apparente de 1,50 ou 1,55 selon les parcelles

## Historique de la parcelle

- La rotation type de la parcelle est Blé - Pomme de terre - Blé – Betterave.
- Il y a eu une homogénéisation de la parcelle en 2014/2015 avec un escourgeon. Ainsi, lors du démarrage des essais lors de la campagne 2015 – 2016, toutes les micro-parcelles suivis avaient un précédent commun.
- Un dernier labour a été réalisé dans cette parcelle en 2014, avant le démarrage de l'essai.
- Un tassement important du sol a été observé avant le début des essais mais le sol était en cours de régénération (observation de racines, de fissuration, régénération sous l'action du climat, de la bioturbation ...).



Ce document se focalise sur les résultats acquis sur la partie haute de la parcelle, c'est-à-dire en sol argilo-limoneux. Ainsi, les résultats sont ici présentés pour une unique modalité de type de sol.

Un dispositif expérimental avec deux types de sol



# Contexte climatique des campagnes culturales suivies

2017 – 2018 - 2019



Les épisodes climatiques détaillés dans le tableau ci-dessous, pour chaque campagne culturale, sont les **éléments jugés majeurs et permettant d'expliquer certains résultats agronomiques**, notamment les rendements, détaillés dans la deuxième partie de ce document.

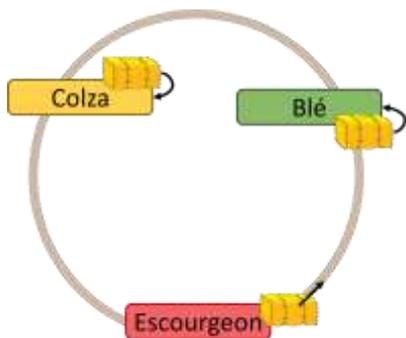
|  | A1 : 2016-2017  | A2 : 2017-2018   | A3 : 2018-2019  |
|--|---|--|---|
| <b>Températures</b><br> | <b>Sortie d'hiver très doux</b><br><b>Suivi d'amplitudes thermiques importantes</b><br>Début de printemps frais suivi d'un printemps favorable<br>Chaleur en juin / juillet | <b>Sortie d'hiver très froid</b><br>Très favorable au printemps<br>Pics de chaleur en juin et juillet ( > 25 °C)           | <b>Sortie d'hiver doux</b><br>Suivi d'amplitudes thermiques importantes au printemps<br>Pics de chaleur en juin / juillet ( > 25 °C)          |
| <b>Pluviométrie</b><br> | <b>Déficit hydrique important sur toute la campagne</b><br>Pluviométrie très faible de l'été 2016 à l'automne 2017  | <b>Hiver très pluvieux</b><br>Très favorable au printemps<br><b>Longue période de sécheresse</b> de juin jusqu'en novembre | <b>Cumul de précipitations important en hiver</b> (décembre, février et mars)<br><b>Très sec au printemps et à l'été</b> (de mai à septembre) |
| <b>Rayonnements</b><br> | Satisfaisant sur l'année  | Très satisfaisant sur l'année<br>Bons rayonnements en février<br>Bons rayonnements de mai à octobre                        | Satisfaisant sur l'année<br>Bons rayonnements en février<br>Bons rayonnements en juin, juillet et août  |



# Système céréalier – oléagineux : système de référence (témoin)

## Système témoin en 3 ans

*Système céréalier – oléagineux classique de la région*



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

- Maximiser et diversifier la production de biomasse
- Maintenir la teneur en matière organique
- Améliorer la gestion des adventices
- Améliorer la gestion de l'azote
- Réduire le travail du sol (limiter le travail profond comme le labour)



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



Fertilité des sols



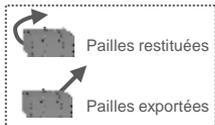
Emissions GES



Biodiversité



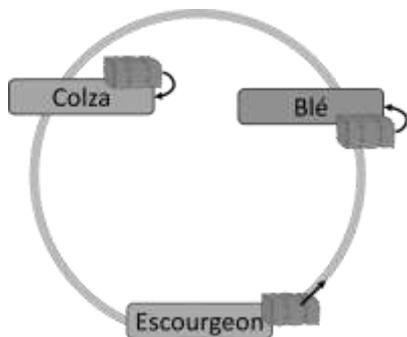
Marges



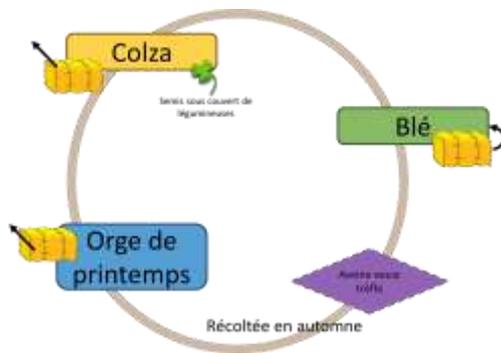


# Déclinaison du système de culture témoin

Gradient croissant de production de biomasse



Témoin



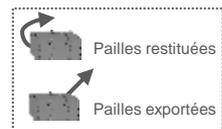
Alimentaire prioritaire



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

Pour cela, nous avons :

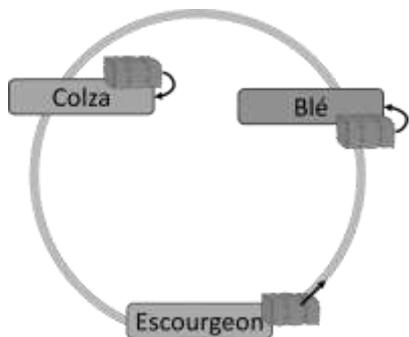
- Conservé 3 cultures alimentaires principales
- Remplacé l'orge d'hiver par une orge de printemps pour permettre une interculture plus longue et ainsi introduire une CIVE d'été (Culture Intermédiaire à Vocation Energétique)
- Exporté 2 pailles (celle d'orge et de colza) au lieu d'exporter qu'une seule paille d'orge



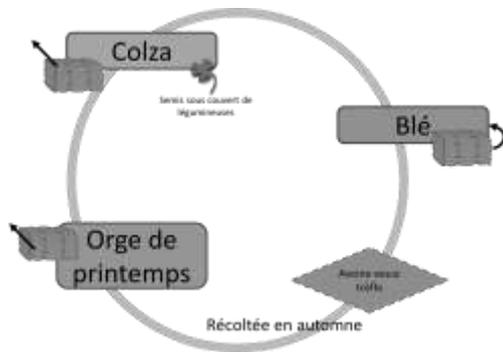


# Déclinaison du système de culture témoin

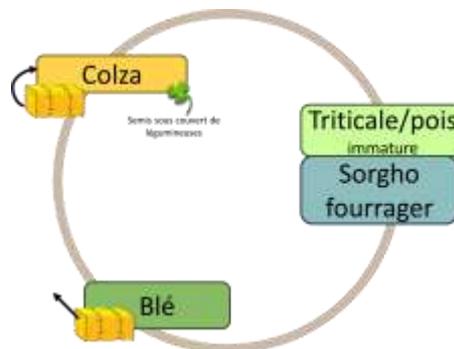
Gradient croissant de production de biomasse



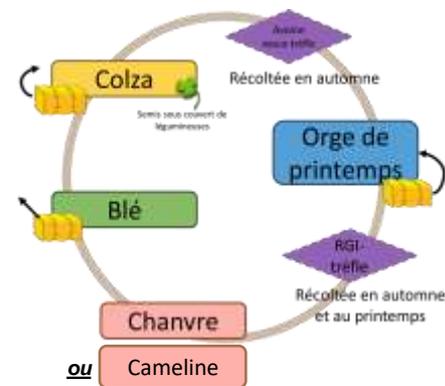
Témoin



Alimentaire prioritaire



Biomasse prioritaire en 3 ans



Biomasse prioritaire en 4 ans



Dans le système *Biomasse prioritaire en 3 ans*, l'objectif est de **produire plus de la biomasse tout en répondant aux autres objectifs.**

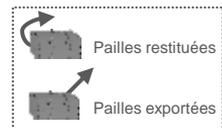
Pour cela, nous avons remplacé l'orge d'hiver par une double culture dédiée à la biomasse (triticale/pois suivi d'un sorgho)



Dans le système *Biomasse prioritaire 4 ans*, l'objectif est également de **produire plus de la biomasse tout en répondant aux autres objectifs.**

Pour cela, nous avons :

- Allongé la rotation d'un an pour introduire une CIVE d'hiver longue (RGI – trèfle), suivi d'une culture dédiée (chanvre ou caméline)
- Remplacé l'orge d'hiver par une orge de printemps pour permettre une interculture plus longue et ainsi la culture d'une CIVE d'été



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

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



- ④ Cumuls de biomasse obtenus
- ④ Contribution des différentes cultures à la quantité de biomasse exportée dans chaque système
- ④ Rendement attendus et réalisés pour les cultures principales des systèmes

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



- ④ L'exportation des pailles
- ④ Les Cultures Intermédiaires à Vocation Energétique (CIVE)



- Définition
- Evaluation agronomique
- Faisabilité technique

- ④ Les doubles cultures dédiées à la biomasse



- Définition
- Evaluation agronomique
- Faisabilité technique

- ④ Les cultures dédiées : cas du chanvre et de la cameline



- Evaluation agronomique
- Faisabilité technique

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

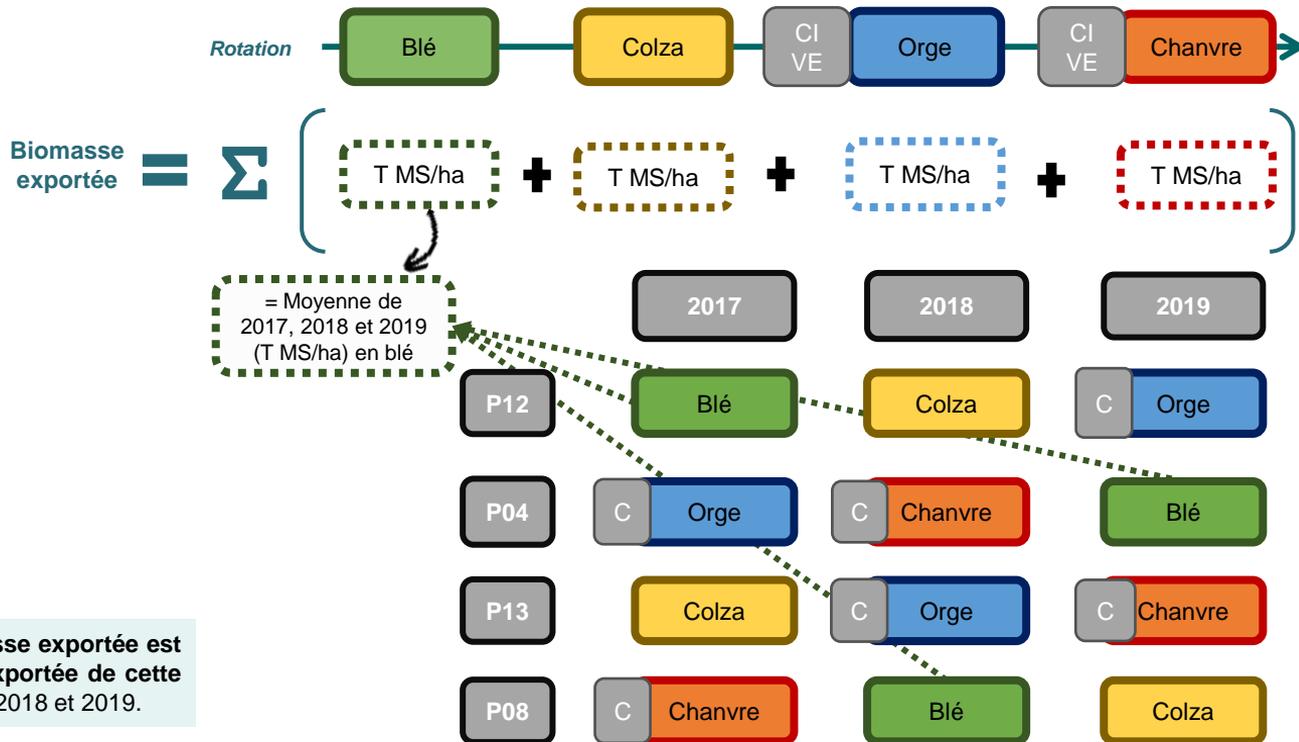


# Exportation de biomasse

Trois des rotations suivies sur la plateforme sont d'une durée de 3 ans tandis que la rotation du dernier système *Biomasse prioritaire* est en 4 ans. L'essai a été conduit sur cette durée de 4 ans afin de permettre l'obtention de données relatives à une rotation complète (campagnes culturales de 2016/2017 – 2017/2018 – 2018/2019 et 2019/2020).

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

Méthode utilisée pour calculer les cumuls de biomasse exportée sur la rotation, avec une rotation incomplète (3 ans sur 4)  
Cas du système *biomasse prioritaire - 4 ans*



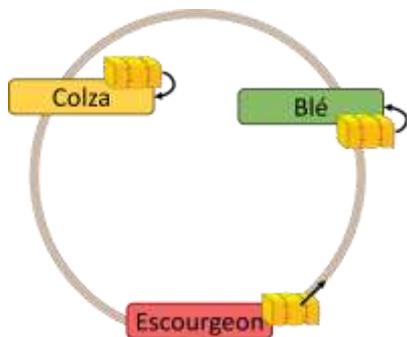
Pour chaque culture de la rotation, la **biomasse exportée est définie par la moyenne de la biomasse exportée de cette culture**, obtenue à partir des données 2017, 2018 et 2019.



# Résultats d'exportation de biomasse

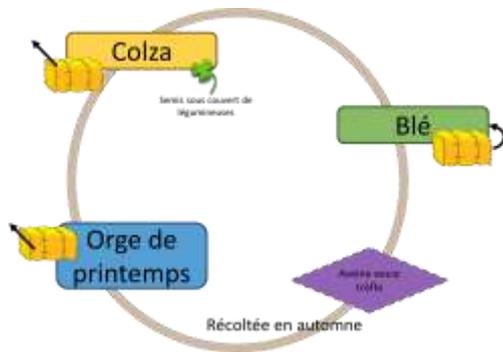
*Hypothèse :*

*Gradient croissant de production de biomasse*



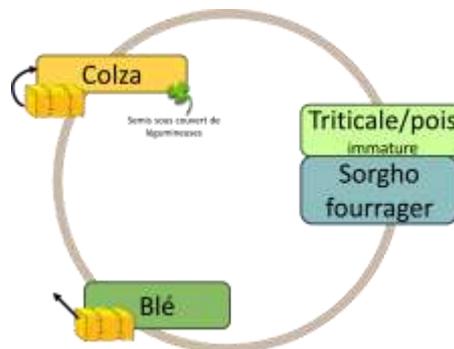
*Témoin*

18 T MS / ha  
20 T MB / ha



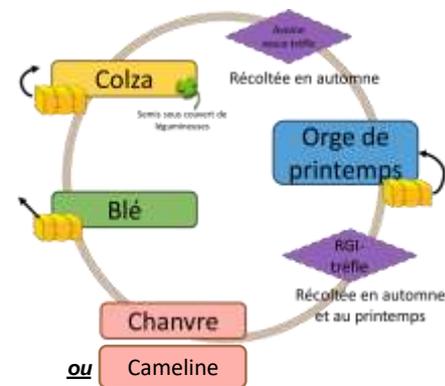
*Alimentaire Prioritaire*

19 T MS / ha  
21 T MB / ha



*Biomasse Prioritaire en 3 ans*

26 T MS / ha  
66 T MB / ha



*Biomasse Prioritaire en 4 ans*

*Sur 4 ans*  
21 T MS / ha  
37 T MB / ha

*Sur 3 ans*  
16 T MS / ha  
28 T MB / ha

L'objectif de gradient d'exportation de biomasse est atteint avec les deux premiers systèmes de culture conçus ( $T < AP < BP - 3 \text{ ans}$ ). Cependant, il ne l'est pas pour le scénario *biomasse prioritaire - 4 ans*.

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.

Résultats

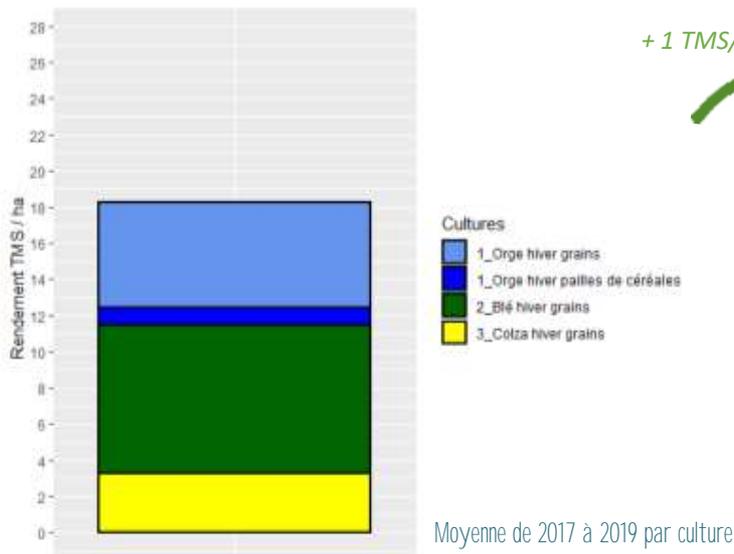




# Contribution des cultures à la biomasse exportée

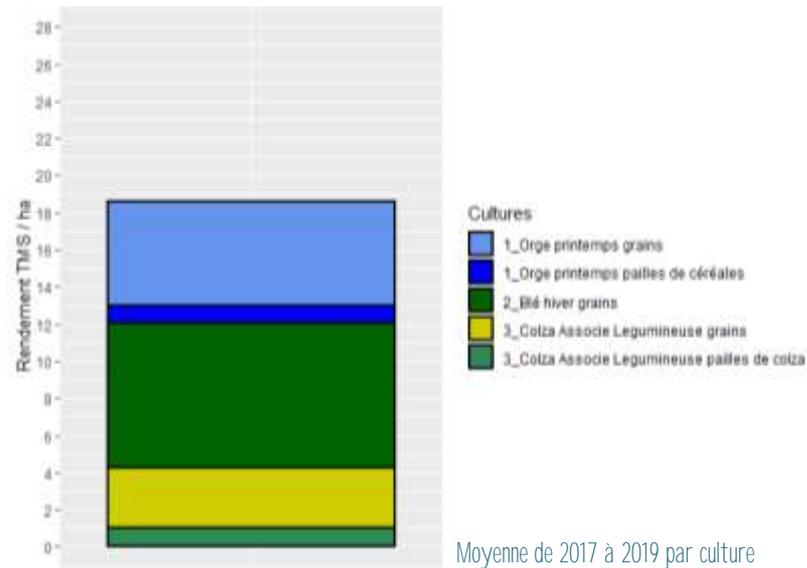
- Comparaison entre les systèmes *Témoin* et *Alimentaire prioritaire* -

Cumul de biomasse



*Témoin*

Cumul de biomasse



*Alimentaire Prioritaire*

- ❶ Les rendements des cultures principales sont inférieurs aux [objectifs\\* du pilote](#) et aux moyennes régionales.
- ❶ La quantité de biomasse exportée par le témoin n'est pas totalement représentative : la biomasse obtenue est potentiellement inférieure au potentiel de production de ce système, dans ces conditions pédoclimatiques.

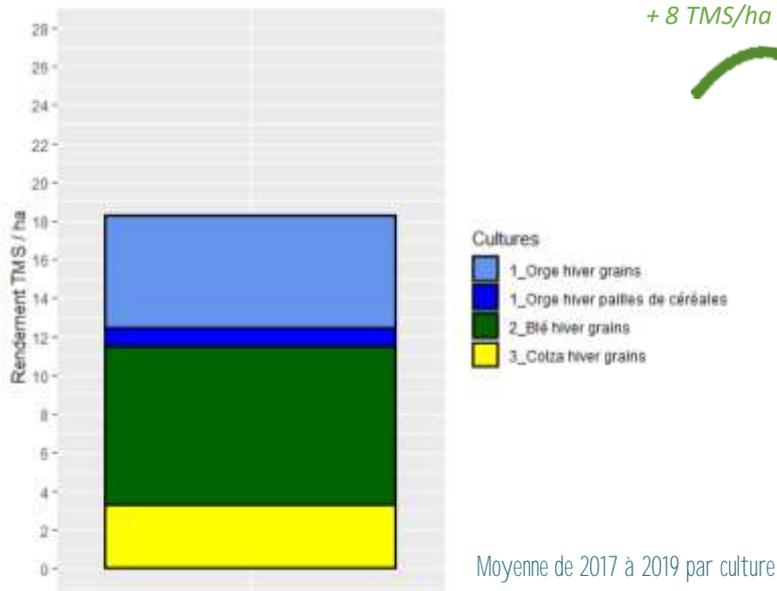
- ❶ Cive d'été entre le blé et l'orge de printemps non récoltée
- ❶ Biomasse équivalente entre l'orge d'hiver et l'orge de printemps
- ❶ Exportation de la paille de colza : 1 T MS/ha supplémentaire exportée
- ❶ Les rendements des cultures principales sont inférieurs aux [objectifs\\* du pilote](#) et aux moyennes régionales



# Contribution des cultures à la biomasse exportée

- Comparaison entre les systèmes *Témoin* et *Biomasse prioritaire - 3 ans* -

Cumul de biomasse

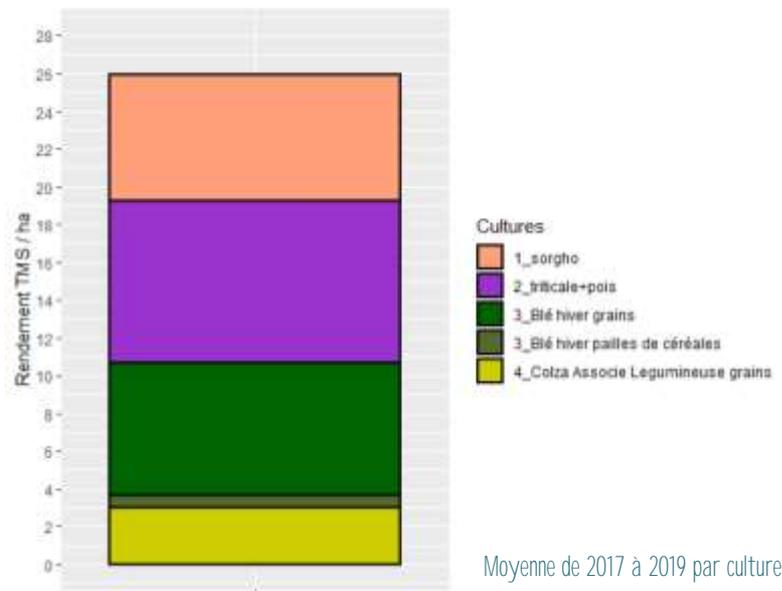


*Témoin*

+ 8 TMS/ha exportées



Cumul de biomasse



*Biomasse prioritaire - 3 ans*

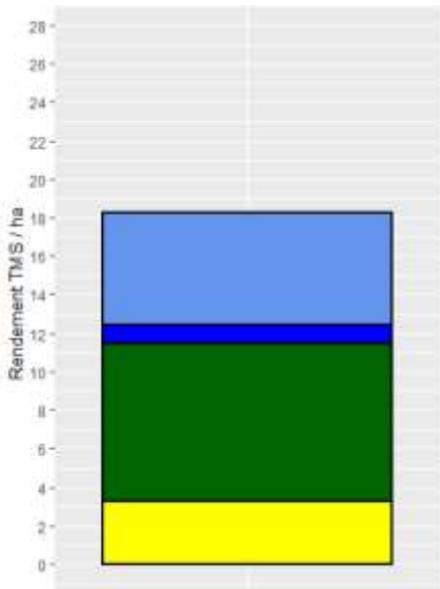
- ⓘ Exportation de 15 T MS / ha avec la double culture qui remplace l'orge d'hiver
- ⓘ Une paille de blé exportée à la place d'une paille d'orge d'hiver : même exportation (1 TMS / ha)



# Contribution des cultures à la biomasse exportée

- Comparaison entre les systèmes *Témoin* et *Biomasse prioritaire - 4 ans* -

Cumul de biomasse



Cultures

- 1\_Orge hiver grains
- 1\_Orge hiver pailles de céréales
- 2\_Blé hiver grains
- 3\_Colza hiver grains

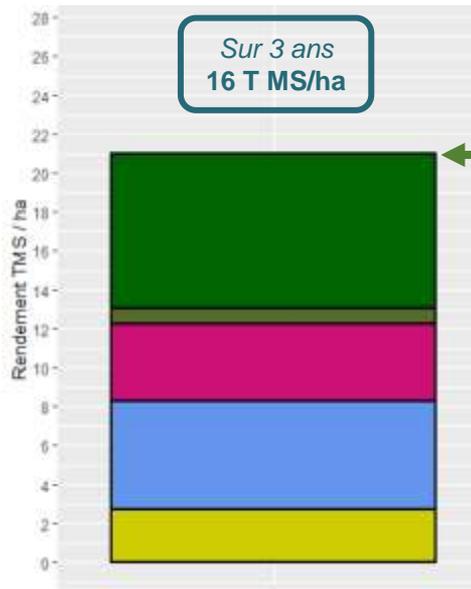
Moyenne de 2017 à 2019 par culture

*Témoin*

-2 TMS/ha exportées  
pour le scénario BP - 4 ans ramené  
sur une rotation de 3 ans



Cumul de biomasse



Cultures

- 1\_Blé hiver grains
- 1\_Blé hiver pailles de céréales
- 2\_ray-grass-trèfle
- 3\_Orge printemps grains
- 4\_Colza Associé Legumineuse grains

Moyenne de 2017 à 2019 par culture

*Biomasse prioritaire - 4 ans*

- ⊕ Blé & colza : même biomasse exportée entre le témoin et le système biomasse
- ⊕ Orge de printemps : même biomasse que l'orge d'hiver du témoin
- ⊕ Exportation de 4 TMS/ha pour le ray-grass
- ⊕ Chanvre non récoltable (exportation nulle) → biomasse restituée
- ⊕ Cive d'été non récoltable



# Les niveaux de rendements des cultures principales

- Objectifs de rendements et méthode -

Objectifs de rendement fixé par le pilote de la plateforme

|                   | Objectifs de rendement* fixés par le pilote de la plateforme | Moyenne pour le département de la Somme (2017-2019) (rendement machine) |
|-------------------|--|---|
| Blé               | 81 qx/ha   | 89 qx/ha  |
| Colza             | 36 qx/ha   | 40 qx/ha  |
| Orge d'hiver      | 77 qx/ha   | 82 qx/ha  |
| Orge de printemps | 68 qx/ha   | 72 qx/ha  |
| Triticale/pois    | 12 T MS/ha   | Pas de référence  |
| Sorgho            | 10 T MS/ha   |   |
| Chanvre (paille)  | 6 à 8 T MS/ha  |   |
| Ray-grass         | 8 T MS/ha  |   |

\* Rendements aux normes commerciales



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

## METHODOLOGIE

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

### ❶ 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 :

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

### ❷ 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 :

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

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

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

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



# Les niveaux de rendements des cultures principales

- Atteinte moyennes des objectifs de rendement -

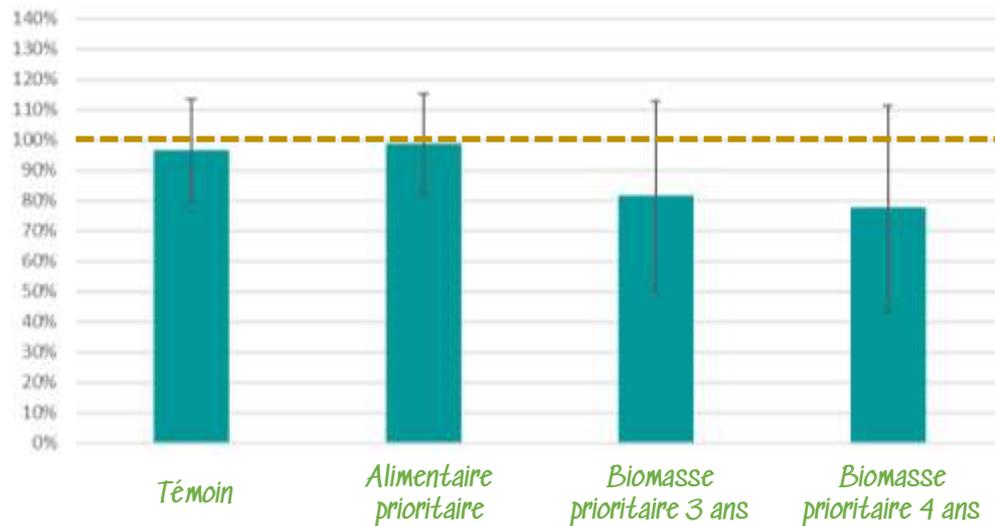
## Atteinte moyenne des objectifs et variabilité

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

Il met en évidence que **les objectifs de rendement ne sont pas atteints pour une bonne partie des cultures chaque année**. En effet, pour chaque scénario, en moyenne, on ne dépasse pas les 100%. Cela signifie que, en moyenne, les objectifs de rendements ne sont pas atteints. Ainsi les cumuls de biomasse par scénario montrés dans les diapositives précédentes sont plus faibles qu'escomptés.

L'analyse des écart-types (barres noires verticales) met bien en évidence qu'il y a des cultures et/ou des années où les rendements sont bien inférieurs aux objectifs (<100%). En revanche, les écarts-types mettent également en évidence que pour certaines cultures et/ou années, les rendements atteignent ou dépassent bien les objectifs (>100%). Par exemple, pour le scénario *biomasse prioritaire en 3 ans*, les valeurs varient de 50 % à 113 % d'atteinte des objectifs de rendement.

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



Atteinte  
objectifs  
du pilote



# Les niveaux de rendements des cultures principales

- Explication de l'écart aux objectifs -

## ❶ Rendements des cultures principales

Plus généralement, concernant les cultures principales de blé, de colza et d'orge (d'hiver comme de printemps) retrouvées dans tous les scénarios :

- Le rendement du blé atteint généralement l'objectif de rendement fixé par le pilote quelque soit le scénario et l'année, les rendements sont très satisfaisants voire même supérieurs à l'objectif.
- En revanche, les rendements du colza et de l'orge n'atteignent pas, pour la plupart, les objectifs de rendement fixés quelque soit le scénario et l'année. L'objectif de rendement du colza a peut-être été surestimé par le pilote. Cette culture a également connu de nombreuses attaques de ravageurs (cf. diapo suivante).
- De plus, dans les scénarios *alimentaire* et *biomasse prioritaires*, il s'agit d'un colza associé à des légumineuses. Aucune différence de rendement avec le colza du témoin n'a pu être observée. La part des légumineuses à la récolte reste très faible, ne venant pas augmenter le niveau d'exportation de biomasse.

## ❷ Analyse des scénarios *Biomasse prioritaire*

Dans ces scénarios, le niveau d'atteinte moyens des objectifs de rendement est éloigné que celui du *témoin* et du scénario *alimentaire prioritaire*. De plus, les variations sont accentuées.

Pour le scénario *biomasse prioritaire - 3 ans*, cela s'explique en partie par :

- Le rendement du sorgho de la double culture en 2017 et 2018 est bien plus faible que l'objectif fixé. Ce n'est pas le cas en 2019 où le rendement de cette culture atteint l'objectif ([cf. diapo sur le sorgho](#)).
- Le rendement du blé n'atteint pas l'objectif fixé en 2017 (sol tassé suite récolte du sorgho en 2016, semis tardif dû à un travail du sol plus important pour décompacter, semis réalisé dans des conditions non optimales, peuplement plus faible, sécheresse au printemps). Au contraire, il est atteint en 2018 et 2019.





# Les niveaux de rendements des cultures principales

- Zoom sur le colza et l'orge -

## RENDEMENTS DU COLZA ET DE L'ORGE

- ❶ Les rendements fixés par le pilote de la plateforme pour le colza et l'orge n'ont pas été surestimés si on les compare aux rendements moyens atteints dans le département de la Somme de 2017 à 2019.
- ❷ Cependant, pour ces deux cultures, les rendements atteints dans les essais sont, pour la plupart, plus faibles que l'objectif fixé et que la moyenne départementale, quelque soit le scénario et l'année.
- ❸ Cet écart peut en partie se justifier par le type de sol de la parcelle d'essai, une cranette, dont le potentiel de rendement reste faible. Ce type de sol est loin d'être le sol majoritaire de la Somme. Ainsi, en prenant ainsi en considération ce facteur, il se peut que les rendements est tout de même été surestimés par le pilote.
- ❹ L'évaluation agronomique de ces deux cultures donne également des éléments pour comprendre ces écarts aux objectifs.

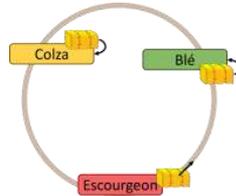
| COLZA   | ORGE  |
|---|---|
| <p>Les conditions climatiques expliquent ces rendements plus faibles qu'escomptés.<br/>           Les conditions sont non favorables lors des phases de croissance les plus critiques de ces deux cultures :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 2017 : Sécheresse (stress hydrique précoce des parcelles) couplée à des températures estivales très élevées</li> <li>✓ 2018 : Hiver pluvieux pénalisant les cultures, suivi de températures froides et de gel tardif en sortie d'hiver retardant la reprise de croissance + températures estivales très élevées qui raccourcissent la floraison et la pénalisent</li> </ul> |   |
| <p>Couplées à ...</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Dégâts de gibiers, pigeons, lapins pour les parcelles de l'essai</li> <li>✓ 2017 : levée non optimale, démarrage lent + tassement du sol observé</li> <li>✓ 2019 : dégâts de larves d'altise + développement non optimal au printemps (croissance ralentie)</li> </ul>   | <p>Couplées à ...</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 2017 : Apport azoté minéral mal valorisé par la culture, mauvaise valorisation due à des mauvaises conditions météorologiques lors des apports (manque de précipitations) + problème de phytotoxicité</li> </ul> |



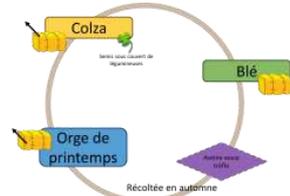
# Faisabilité technique des leviers de production de biomasse

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

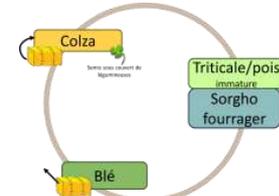
- ❶ L'exportation de paille de blé, d'orge et de colza
- ❷ Les CIVE
  - D'hiver à 2 récoltes
  - D'été courte
- ❸ La succession de cultures à cycle court récoltées en biomasse verte
- ❹ La culture dédiée (chanvre ou cameline)



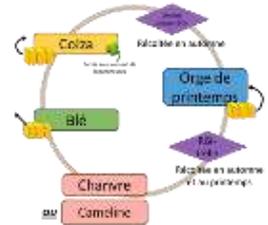
Témoin



Alimentaire prioritaire



Biomasse prioritaire  
3 ans

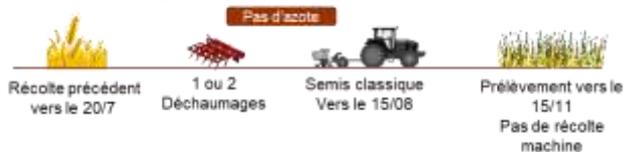


Biomasse prioritaire  
4 ans

L'évaluation agronomique de ces leviers de production de biomasse et de 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<br>[0,5-1,5 T]             | 1,7 T MS/ha<br>[1,5-1,9 T]             | 2,7 T MS/ha<br>[2,2-2,9 T]             |
| Production de méthane       | 360 m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /ha | 510 m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /ha | 820 m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /ha |

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

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

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



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

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



# Faisabilité technique de l'exportation des pailles

- ❶ Sur la plateforme, l'exportation des pailles ne dépasse pas les 1 TMS/ha, quelque soit la culture ou le scénario, ce qui est assez faible comparé aux rendements pailles estimés dans la région Hauts-de-France (tableau ci-contre).
- ❷ Il est probable que **les rendements en pailles soient sous-estimés dans les essais**, dû au fait :
  - Du matériel utilisé : presse à petits ballots induisant, en proportion, des pertes supérieures lors du pressage que pour la presse de grands ballots
  - De la méthode d'estimation : la pesée d'un échantillon de ballots engendre de nombreuses manipulations des ballots, induisant des pertes de paille.
- ❸ Ces problème de pertes sont accentuées avec les pailles de colza car celles-ci son plus petites, fragiles et cassantes. A noter que la même presse a été utilisée pour faire les ballots de paille de céréales ou de colza.

Avec l'exportation des pailles, les cumuls de biomasse pour les quatre scénarios devraient être légèrement supérieurs de quelques tonnes de matière sèche.

Exportation possible de 2 à 5 TMS / ha de pailles, toutes espèces de céréales



|  | Blé   | Orge hiver | Orge printemps | colza   |
|--|-------|------------|----------------|---|
| Potentiel de rendement des pailles (T MS / ha) | 4 à 5 | 4          | 2 à 3          | <b>50 % du rendement grains</b><br>ex : pour 40 qx/ha → 2 T MS/ha |

\* Sources bibliographiques : Arvalis, Inrae, LDAR, CA de Picardie, Agro-transfert, FRCA Picardie



Presse employé pour l'exportation des pailles sur la plateforme de la Ferme 3,0



# 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<sup>ème</sup> 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.



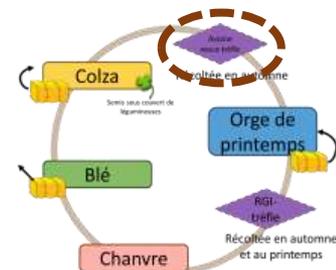
# Faisabilité technique des CIVE d'été

- Itinéraire technique -



Alimentaire Prioritaire

Deux CIVE d'été étaient présentes chaque année (une dans le scénario alimentaire prioritaire et une dans le biomasse prioritaire - 4 ans). Ainsi, au total, six années de données sur les CIVE courtes sont disponibles (trois campagnes culturales)

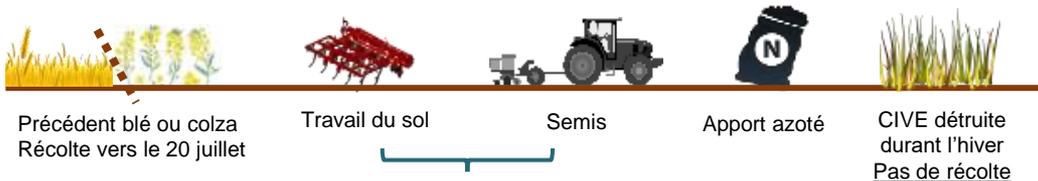


Biomasse Prioritaire - 4 ans

ITK moyen (AP et BP-4ans)

Deux mélanges d'espèces testés  
Avoine B. + vesce + trèfle A.  
Avoine B. + vesce

Aucune fertilisation azotée en 2017  
Apport de 40 U N en 2018 et 2019



Différentes techniques d'implantation ont été testées :

- Semis direct dans le précédent colza ou blé (début aout ou début septembre)
- Déchaumage suivi d'un semis TCS (début aout)
- Deux déchaumages suivis d'un semis TCS quelque soit le précédent (début aout)

Le **semis direct** peut permettre de gagner du temps et de semer plus précocement après la moisson. De plus, en semis direct, l'humidité résiduelle du sol est bien conservée, ce qui favorise l'implantation de la cive (le travail du sol accentue l'évapotranspiration), à condition de semer rapidement après la récolte du précédent. En effet, en retardant le semis direct, ce bénéfice diminue : l'humidité résiduelle diminue dans le temps.



# Faisabilité technique des CIVE d'été

- Evaluation agronomique -

|                                  | Avoine / Vesce / (Trèfle)                                     |
|----------------------------------|---|
| Rendement moyen (plante entière) | 1, 32 TMS / ha<br>[0,46 à 3,1 TMS / ha]                       |
| Production de méthane            | 655,6 m <sup>3</sup> Ch <sub>4</sub> /ha<br>[328,24 à 982,95] |



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



Aucune récolte des CIVE courtes

\*Les rendements présentés correspondent à des rendements placettes

- ❶ Aucun des itinéraires techniques culturaux testés ne semblent être plus performant que les autres...
- ❶ Le rendement de la Cive après blé est supérieur à celui derrière colza, avec respectivement 1,64 TMS / ha et 1 TMS / ha.

## Contexte climatique

- ❶ Conditions sèches au semis et à la levée (levée faible)

## Implantation de la CIVE

- ❶ La **date de semis trop tardive** derrière le blé ou le colza (moisson vers le 20 juillet avec une date de semis au plus tôt début août) a été particulièrement préjudiciable pour la production de biomasse. En effet, si, en moyenne, 1424 °C ont été cumulés sur les cycles culturaux, les ressources lumineuses ont été trop faibles pour permettre à la CIVE de produire de la biomasse, dû à un semis trop tardif.
- ❶ Le **semis direct n'a pas permis de semer plus précocement la cive**. Les dates de semis entre les modalités de semis direct et de semis TCS sont identiques. Les semis directs sont assez espacés de la moisson du précédent (en moyenne 12 jours après), limitant potentiellement l'avantage de l'humidité résiduelle du sol dont on peut bénéficier en semant en direct juste après la moisson.
- ❶ Quelque soit le mode d'implantation, les repousses du précédent (surtout après colza), les débris végétaux (pailles) et adventices très présentes ont fait obstacles à la levée de la CIVE (concurrence / étouffement).



# Faisabilité technique des CIVE d'été

- Evaluation agronomique -

## Gestion des adventices

- ❶ Les semis étant réalisés peu de temps après le(s) déchaumage(s), ils ont eu un **effet de « faux-semis »**. Pas conséquent, les adventices ont levées en même temps que la cive, accentuant les problèmes de concurrence.
- ❷ Le **salissement des parcelles est identique entre les différentes techniques d'implantation testées et il est important**. Même avec deux déchaumages, les repousses et les adventices sont importantes dès la levée. Toutefois, il est à noter que les deux déchaumages étaient très peu espacés dans le temps et que le semis les suit de très près également. Il est alors possible que les adventives aient levées en même temps que la CIVE et qu'elles n'ont donc pas pu être détruites par le déchaumage.

## Gestion de la fertilisation

- ❶ Les **apports azotés ont été mal valorisés**, à cause des précipitations trop faibles au cours des jours suivants.
- ❷ Les rendements de 2018 et de 2019 restent faibles, malgré un apport azoté, comparé à 2017 où il n'y a eu aucun apport. A noter que le rendement augmente tout de même en 2018 et 2019 par rapport à 2017.

## Mélange testé

- ❶ Le mélange avec trèfle n'a pas permis une production de biomasse supérieure par rapport au mélange sans trèfle. Il est toutefois à noter que le développement des légumineuses reste très faible pour chaque test, leur développement est lent et l'avoine prend rapidement le dessus.
- ❷ Il a donc pu être constaté une **forte dominance de l'avoine** dans la biomasse produite et des **légumineuses presque pas développées**.



Le semis de la CIVE après une céréale ou un colza est trop tardif. Il faut **semé 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

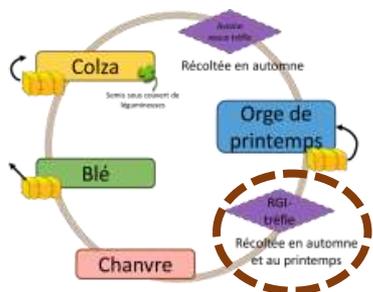
Découvrez notre guide technique et vidéos sur notre espace dédié à la production de CIVE

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



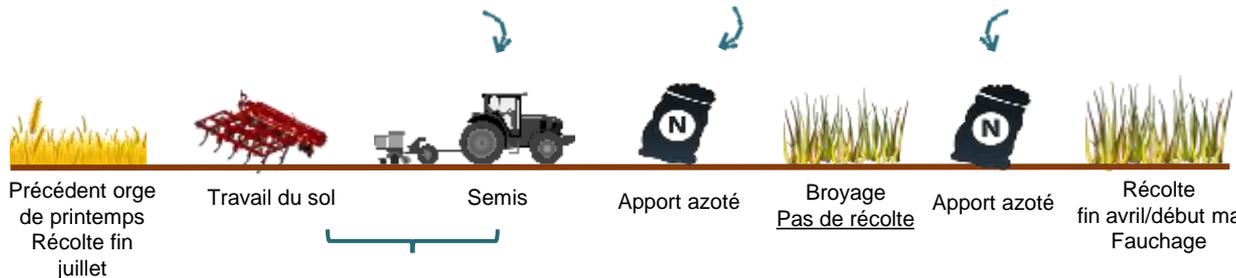
# Faisabilité technique des CIVE d'hiver à 2 récoltes

- Itinéraire technique -



Biomasse Prioritaire - 4 ans

ITK moyen



Espèces testées :

Ray-grass italien + trèfles \*  
 2017 : Trèfle violet (30 % du mélange au semis)  
 2018-2019 : Trèfle Micheli (10%) + Trèfle incarnat (40%)

En 2017, aucun apport azoté n'a eu lieu avant la récolte d'automne.  
 En revanche, suite au faible rendement de la CIVE avant l'hiver cette année-là, des apports azotés ont été réalisés en 2018 et 2019 juste après le semis (respectivement 40 et 78 U N).

2° apport sortie d'hiver :  
 2017 et 2019 : 110 U N  
 2018 : 120 U N

Différentes techniques d'implantation ont été testées :

- Semis direct (début aout) dans le précédent orge de printemps
- Déchaumage suivi d'un semis TCS (début aout ou début septembre)

Les caractéristiques agronomiques des trois trèfles testés sont différentes bien que, quelque soit la variété, le rendement en trèfle reste très faible les trois années.

Dans les essais, les trèfles Micheli et incarnat ont démarré plus rapidement que le trèfle violet dont la croissance au démarrage est lente. Cependant, le ray-grass, dont la croissance est plus rapide et favorisée par l'apport azoté d'automne, a pris le dessus sur les trèfles.



# Faisabilité technique des CIVE d'hiver à 2 récoltes

- Evaluation agronomique -

|                                | Automne   | Printemps                              | Part du trèfle dans le rendement final |
|--------------------------------|---|--|--|
| Rendement moyen plante entière | < 1 TMS / ha  | 5,7 TMS / ha<br>[3,64 à 7,04 TMS / ha] | 0 à 14 %                               |
| Production de méthane          | 1096,77 m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /ha<br>[617,63 à 1785,4] |  |  |

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



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

Aucune récolte

Récolte

## A l'automne

- ❶ Conditions sèches semis/levée (levée difficile et faible)
- ❷ Repousses d'orge, débris végétaux et adventices très présents du semis à l'hiver
- ❸ Semis peu de temps après le déchaumage (faisant office de faux-semis). Les adventices lèvent alors en même temps que la CIVE, favorisant la concurrence.
- ❹ Croissance lente du trèfle. Le RGI plus développé prend ensuite le dessus.

Malgré les différents modes d'implantation et de fertilisation azotée testés, **aucune différence de rendement à l'automne a été observé sur les trois années**. Le rendement est toujours resté **très faible** (inférieure à 1 TMS/ha).

Le rendement reste équivalent pour les trois années même en augmentant l'apport azoté d'automne, signifiant qu'il ne s'agit pas du facteur limitant.

## Au printemps

- 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. La sortie d'hiver très doux favorise la reprise de la végétation, qui est précoce et très satisfaisante.
- ❷ En revanche, ce n'est pas le cas de l'hiver 2018, pénalisant la biomasse produite qui est seulement de 3 TMS/ha : hiver très pluvieux de novembre à janvier (deux fois supérieur aux normales de saison), sortie d'hiver froid et gel tardif pénalisant la reprise de la végétation, entraînant une croissance plus tardive.
- ❸ Fertilisation azotée minérale : un seul apport précoce (mi-février) en sortie d'hiver de 110 U d'azote semble favoriser la cive, contrairement aux apports plus tardifs (jusque mi-mars).

Sur les trois années, **les rendements au printemps varient (faible à satisfaisant)**. Ces variations sont dues aux **conditions météorologiques** et à la **fertilisation azotée en sortie d'hiver** qui sont différentes selon les années d'essai.



### 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/>



### CE QU'IL FAUT RETENIR

#### ⊕ Le semis

- Pour les conditions météorologiques de l'essai, le semis était trop tardif pour une récolte à l'automne (biomasse < 3 TMS / ha). Les cumuls de températures et surtout de rayonnements ont été insuffisants pour produire assez de biomasse.
- La période de semis idéal est ici à la mi-juillet, voire avant.

⊕ La biomasse produite au printemps dépend des **conditions météorologiques** en sortie d'hiver (notamment thermiques : doux ou froid), qui impacte la reprise de croissance

⊕ **Fertilisation azotée** : apporter environ 100-120 U N en sortie d'hiver

#### ⊕ Mélange testé :

- 👍 Le Ray-grass présente un bon potentiel de production de biomasse (en moyenne 6 TMS)
- 👎 Il a un impact sur la culture suivante : difficulté de gestion des repousses de RGI & de préparation du sol /d' implantation (très sec, motteux, chevelu racinaire et mottes de RGI importants ...)



# Faisabilité technique de la double culture biomasse

- Définition -

Vous avez dit « *double culture dédiée* » ?

Dans le système de culture *biomasse prioritaire - 3 ans*, la double culture dédiée testée est une succession d'un triticale/pois suivi d'un sorgho.



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.



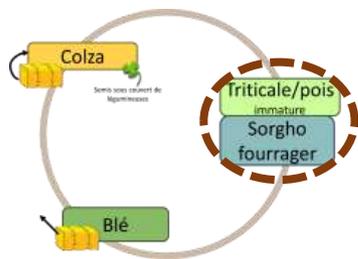
Exemples de double culture insérée dans une rotation

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



# Faisabilité technique de la double culture biomasse

- Première culture : céréale immature de triticale - pois -



*Biomasse Prioritaire - 3 ans*

ITK moyen



## Rendement et mélange

Bien que le contexte climatique et agronomique est été différent pour chacune des trois années, les rendements restent proches et satisfaisants pour le triticale - pois (8, 9 et 10 TMS / ha)

Le pois est très peu présent à la récolte et contribue très peu au rendement.

## Fertilisation azotée

Le moment de l'apport et la dose d'azote apportée en sortie d'hiver ont varié d'une année à l'autre, amenant à se demander si ce facteur joue sur le niveau de rendement atteint. A noter que la date de récolte, de plus de plus précoce, a également évolué au cours du temps.

Au vu des éléments disponibles dans le tableau ci-contre, il se peut que la fertilisation azotée soit à l'origine des écarts de rendement entre les trois années d'essai.

|                                      | Triticale - pois   | Stade et date de récolte |                        |                     |
|--------------------------------------|--|--------------------------|------------------------|---------------------|
|                                      |  | 2017                     | 2018                   | 2019                |
| <b>Rendement moyen</b>               | <b>8,7 T MS/ha</b> [de 8 à 10]<br><i>1 à 10 % de pois</i>        | Grain laiteux<br>18 juin | Grain aqueux<br>28 mai | Floraison<br>15 mai |
| <b>Production moyenne de méthane</b> | <b>2484, 46 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ha</b><br>[2202 à 2264] |                          |                        |                     |

|             | Fertilisation en sortie d'hiver                            | Rendement  |
|-------------|--|--|
| <b>2017</b> | 49 U N en un seul apport<br><i>Apport le plus faible</i>   | 8 T MS/ha<br>Date de récolte tardive<br><i>Le plus faible alors que la culture a eu plus de temps pour produire de la biomasse</i> |
| <b>2018</b> | 130 U N en deux apports<br><i>Apport le plus important</i> | 10 T MS/ha<br>Date de récolte intermédiaire<br><i>Le plus important</i>  |

*Récolte à un stade (et une date) de plus en plus précoce pour tester l'effet de la date de récolte sur le rendement et moins pénaliser l'implantation de la culture suivante (sorgho). Le rendement reste équivalent pour le triticale-pois sur les trois dates.*





# Faisabilité technique de la double culture biomasse

- Deuxième culture : le sorgho -

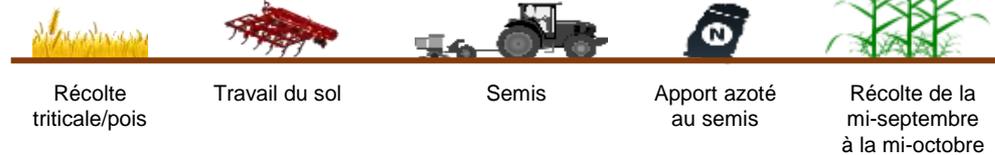
## VARIETES DE SORGHO

Deux variétés de sorgho ont été testées sur cette plateforme : un sorgho **mono-coupe biomasse** et un sorgho **multi-coupe hybride**.

- Ces deux types de sorgho ont un important potentiel de production de biomasse mais **celui du sorgho mono-coupe est le plus élevé** : 15 à 25 TMS/ha contre 12 à 15 TMS/ha pour le multi-coupe en réalisant plusieurs coupes.
- Les rendements du sorgho multi-coupe restent très faibles en 2017 et 2018, sachant qu'une seule coupe a été réalisée dans le délai imparti.
- Le sorgho multi-coupe a été testé malgré un potentiel de production de biomasse plus faible que le mono-coupe car **son cycle est plus court**, ce qui pouvait garantir **d'atteindre le taux de matière sèche souhaité** de 32 % à la récolte plus rapidement, notamment lors d'un semis assez tardif.

**L'effet variété n'est pas le seul facteur expliquant ces résultats** : les conditions et la période d'implantation, la levée, les conditions météorologiques, l'apport azoté... sont autant de facteurs à prendre en compte pour expliquer le faible rendement de ce sorgho.

ITK moyen



|             |  |  |             |  |  | Rendement TMS / ha |
|-------------|--|---|-------------|---|---|--------------------|
| <b>2016</b> | Aucun  | Semis direct<br>12/07   | Mono coupe  | 110 UN  | 20 % MS   | <b>5,6</b>         |
| <b>2017</b> | 1 travail du sol - herse rotative - roulage  | Semis TCS<br>18/06  | multi-coupe | 60 UN   | 18 % MS   | <b>0,7</b>         |
| <b>2018</b> | Aucun  | Semis direct<br>13/06   | multi-coupe | 110 UN  | 35 % MS   | <b>5,8</b>         |
| <b>2019</b> | Aucun  | Semis direct<br>28/05   | Mono coupe  | 120 UN  | 28 % MS   | <b>13,66</b>       |



Plusieurs conduites agronomiques ont été volontairement testées sur cette plateforme. La campagne 2015-2016 est introduite dans cette évaluation du sorgho afin d'étudier les différentes techniques testées.

2017 et 2018 : variété multi-coupe (Trudanheadless)  
2016 et 2019 : variété mono-coupe (Amiggo)



# Faisabilité technique de la double culture biomasse

- Deuxième culture : le sorgho -

## Cas particulier pour chaque année d'essai

|      |   |
|------|---|
| 2016 | Semis très tardif et maturité non atteinte à la récolte.<br>Cependant, le rendement sec reste correct pour cette date de semis très tardive   |
| 2017 | Un stress hydrique est présent dès le semis, amplifié avec le dessèchement du sol à cause du travail du sol.<br>La culture connaît un stress azoté : apport azoté trop faible cette année amplifié par une mauvaise valorisation de l'apport dues aux précipitations trop faibles les jours suivants l'apport |
| 2018 | Le rendement est plafonné par la variété multi coupe : le cycle de ce type de sorgho est plus court mais la maturité a été atteinte à la récolte (taux MS 35%), ce qui laisse supposer que le potentiel de production de biomasse est atteint.  |
| 2019 | Le semis est plus précoce et la variété testée est de type <i>biomasse</i> , induisant ainsi une meilleure combinaison et donc une meilleure production de biomasse   |

## Evaluation agronomique générale des 4 années d'essai

- ⊕ **Repousses de triticale et présence de débris végétaux importants** dès le semis (concurrence/compétition pour les ressources en eau et pour l'azote notamment)  
→ *Levée faible, lente et assez hétérogène*
- ⊕ **Conditions sèches** au semis et à la levée
- ⊕ **Lit de semence non optimal** (sol avec une structure motteuse, beaucoup de débris végétaux du précédent, mottes racinaires ...) que ce soit en semis direct ou en TCS  
→ *Accentué ici par le sol très argileux des parcelles d'essai et un sol assez sec derrière un triticale*
- ⊕ **Précipitations très faibles** en juin et juillet principalement et également en août, mois pour lequel les précipitations qui restent faibles mais bien réparties dans le temps. La parcelle entre en stress hydrique dès juin, entraînant un arrêt de la croissance du sorgho, qui reprend dès les premières pluies mais trop tardivement pour une récolte à l'automne.
- ⊕ **Dates de semis trop tardives** pour les trois premières campagnes culturales (2016, 2017 et 2018) pour permettre d'optimiser la production de biomasse avec date butoir de récolte en octobre. Avec un semis plus précoce en 2019 (mai), l'implantation est plus réussie et cela se voit sur le rendement obtenu qui est bien supérieur.



La culture de sorgho nécessite des **apports d'azote d'au moins 100 unités** pendant son cycle de culture.





### CE QU'IL FAUT RETENIR DE L'ESSAI

#### Première culture : le triticale - pois

- ☛ Bonne production de biomasse en immature quelque soit le contexte climatique (8 à 10 TMS/ha)
- ☛ Bon potentiel de production avec peu d'intrants (pas de produits phytosanitaires)
- ☛ Développement trop tardif de la légumineuse par rapport à la céréale

#### Deuxième culture : le sorgho

- ☛ Semis trop tardif certaines années, amplifié par une implantation compliquée de la culture (sol très argileux, motteux, sec, avec des repousses) induisant une levée difficile et hétérogène, accentuée par des conditions climatiques non favorables

#### La double culture

- ☛ La production de biomasse qui reste peu élevée sur cette plateforme : en moyenne de 15 TMS/ha en cumulant le rendement moyen du triticale - pois et du sorgho.

### CE QUE L'ON APPREND DES AUTRES ESSAIS DU RESEAU

#### Le sorgho

- ☛ Un sorgho mono-coupe permet d'obtenir un bon potentiel de production sur les autres plateformes d'essai du réseau (15 tMS/ha en moyenne) même en condition de stress hydrique, avec une date de semis idéale autour de la mi-mai (date de semis la plus précoce possible après la récolte de la céréale immature)
- ☛ La réussite de la phase d'implantation du sorgho conditionne la réussite de la culture. La technique de semis est à adapter au contexte pédoclimatique :
  - Le semis direct permet de préserver l'humidité résiduelle
  - Le semis après labour permet de mieux gérer les repousses
  - Le TCS assèche le sol. Cette technique n'est pas particulièrement conseillé pour concilier préservation de l'humidité du sol et rapidité de semis après la récolte du triticale

*Il est également possible de semer au strip-till, bien que cela n'est pas été testé sur le sorgho dans le projet.*

#### La double culture

- ☛ Dans les autres systèmes de culture et sur les autres plateformes, le potentiel de production de biomasse de la double culture est en moyenne de 26 tMS/ha, avec une date de récolte de la première culture vers le 15/05 et une implantation de la deuxième culture dans la foulée.
- ☛ Attention, certains essais ont montré un impact sur le rendement de la culture suivante, dû à cette production de biomasse importante.

#### 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 des cultures dédiées

- Le chanvre et la cameline -

Dans le système de culture *biomasse prioritaire – 4 ans*, les cultures dédiées de chanvre et de cameline ont été testées.

Les résultats obtenus sont présentés ci-après.



La rotation initiale *biomasse prioritaire en 4 ans* comportait un ray-grass/trèfle suivi d'un chanvre. Cependant après deux années d'échec pour cette culture de chanvre, il a été décidé, en 2019, par les pilotes de la plateforme de la remplacer par de la cameline, par ailleurs testée dans d'autres systèmes de culture du projet, et ainsi d'évaluer sa faisabilité dans ce contexte.



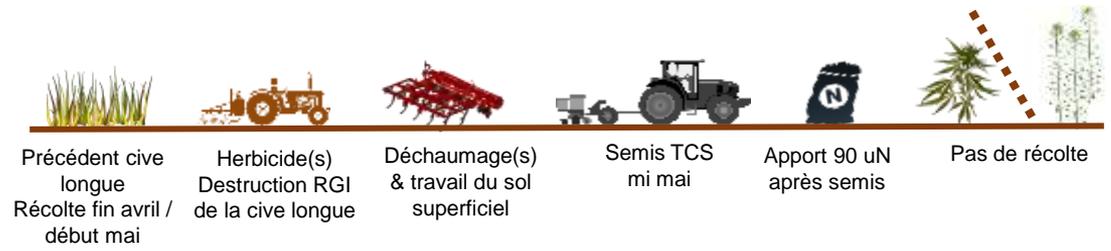


# Faisabilité technique du chanvre et de la caméline après une cive longue



Biomasse prioritaire - 4 ans

ITK moyen



*Biomasse plus importante mais parcelle très hétérogène et maturité du chanvre non atteinte au moment de la récolte*

| Rendement placette<br><i>Estimation de la biomasse plante entière sans rouissage de la paille</i> |              |                      |
|---|--------------|----------------------|
|   | Chanvre      | Caméline             |
| 2017  | 6,6 TMS /ha  |                      |
| 2018  | 2,2 TMS / ha |                      |
| 2019  |              | Biomasse non estimée |



**Aucune récolte machine des cultures dédiées**

- ❶ Broyage de la culture : biomasse trop peu développée, maturité non atteinte et salissement trop important. Les adventices ont pris le dessus.
- ❷ Broyage précoce en juillet en 2018 et 2019 pour limiter le stock semencier en adventices de la parcelle.



# Faisabilité technique du chanvre et de la caméline après une cive longue

Les conditions de non réussite étaient identiques pour les deux cultures de chanvre et de caméline.

- ❶ **Implantation dans des conditions non optimales derrière un ray-grass** : préparation et travail du sol difficiles (sol très sec), structure du sol motteuse et compacte, quantité importante de débris et de chevelu racinaire de RGI.
- ❷ **Sol très sec après ray-grass** (humidité résiduelle du sol très faible) et déficit de précipitations induisant des conditions sèches au semis et à la levée
- ❸ **Levée longue et faible**, perte de pieds importante, peuplement hétérogène (en distribution sur la parcelle et en stades).
- ❹ **Repousses de RGI importantes** dès la levée malgré l'intervention herbicide après la fauche du ray-grass.  
La levée longue et la couverture faible du sol par la culture (chanvre ou caméline) ont favorisé le **développement des adventices** : concurrence forte pour l'eau et l'azote.
- ❺ De plus avec les précipitations de certaines années, certains **apports azoté ont été mal valorisés**.

*Le chanvre est connu pour être une culture très sensible à la levée (pertes de pieds importantes) et qui nécessite un lit de semencé affiné*



## CE QU'IL FAUT RETENIR DE CET ESSAI

- ❶ Les cultures de chanvre et de caméline n'ont pas pu être menées à bien dans cette rotation à cause du précédent ray-grass italien.  
En effet, ce sont des cultures très sensibles à la levée, qui requièrent une implantation de qualité (sinon fortes pertes à la levée). Elles nécessitent une préparation de sol optimale : lit de semence très fin, frais et propre.  
Or ces conditions sont difficiles à obtenir après un ray-grass (chevelu racinaire dense, sol sec) notamment dans un sol argileux où les évènements sont accentués.
- ❷ De plus, le semis est trop tardif derrière une cive d'hiver. La maturité n'était pas atteinte, ni pour le chanvre ni la caméline, à la date de la récolte.

**Ces deux cultures sont inappropriées derrière un ray-grass italien.**

**Il est préférable de les conduire derrière une culture intermédiaire classique.**

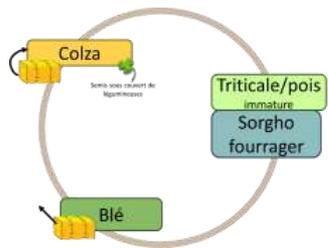


Le chanvre est une culture connue et pour laquelle des références techniques existent en Hauts-de-France. A l'inverse, la caméline est beaucoup moins connue en région et des travaux expérimentaux sont encore à mener.



# 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 céréalier-oléagineux, les niveaux de biomasse exportés sur les autres plateformes pour les scénarios *biomasse prioritaires* sont donnés à titre indicatif.



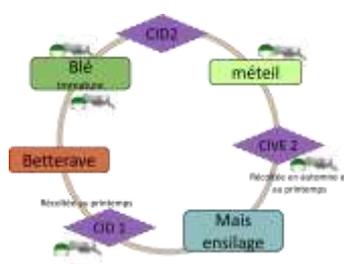
**Système céréalier oléo-protéagineux (80)**



**Système betteravier (80)**



**Système betteravier (02)**



**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 plateformes

| Biomasse prioritaire  | Cumul tMS/ha                    | Cumul annualisé tMS/ha.an |
|---|---------------------------------|---------------------------|
| Système SCOP (80)<br><i>argilo-limoneux calcaire</i>                | 26<br><i>Rotation sur 3 ans</i> | 8,6                       |
| Système betterave (80)<br><i>Limons argileux</i>                    | 58<br><i>Rotation sur 5 ans</i> | 11,6                      |
| Système betterave (02)<br><i>Limons profonds</i>                    | 66<br><i>Rotation sur 4 ans</i> | 18,25                     |
| Système polyculture-élevage (60)<br><i>Limons argileux profonds</i> | 63<br><i>Rotation sur 4 ans</i> | 15,75                     |

- ❖ Les systèmes avec de la betterave exportent beaucoup car la betterave sucrière permet d'exporter 25-30 T MS/ha.
- ❖ Système betterave (02) : le rendement de la double culture est plus important par rapport aux systèmes SCOP et betteravier de la Somme (80) (potentiel de 26 TMS/ha - très satisfaisant). Les rendements étaient équivalents pour les trois années d'essai, sachant que la parcelle a un potentiel supérieur et très bonne réserve hydrique.
- ❖ Système betterave (80) : 1 seule récolte du ray-grass (de 4 T MS/ha) et pas d'exportation de caméline (implantation derrière RGI compliquée), tout comme pour le système SCOP
- ❖ Système polyculture-élevage (60) : succession de cultures biomasses/fourragères permettant d'exporter des quantités de biomasse importantes.

Nb : la betterave fourragère a un rendement moindre que la betterave sucrière en TMS (14-17 T MS/ha)

### 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 indicateurs environnementaux

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).

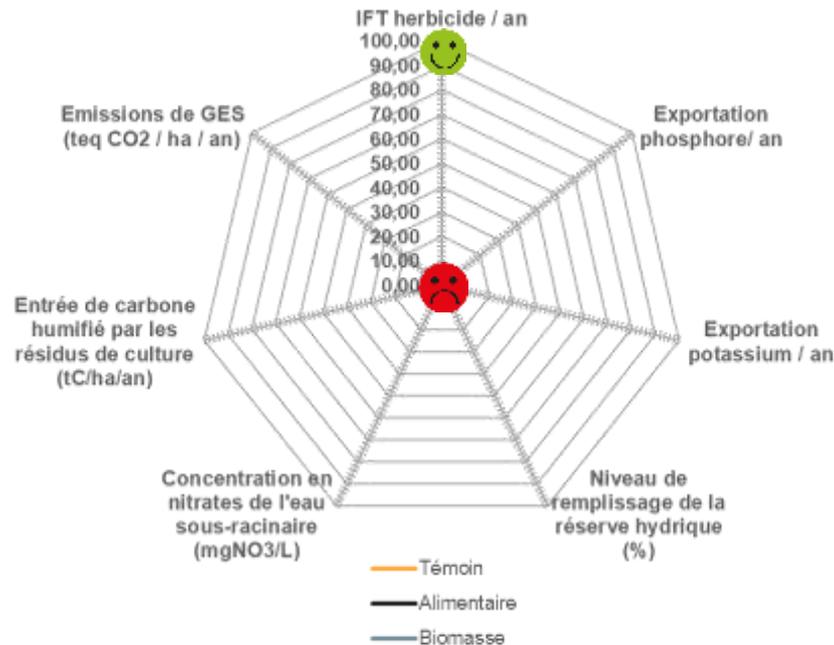
En fonction des indicateurs, la meilleure performance est atteinte avec une forte valeur (cas du niveau de remplissage de la réserve) ou à l'inverse avec une faible valeur (cas de l'IFT)

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

- l'IFT H maxi / année des PF = 2,65 → 0% (moins bonne performance)
- l'IFT H mini / année 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 = 1,75 → 55%



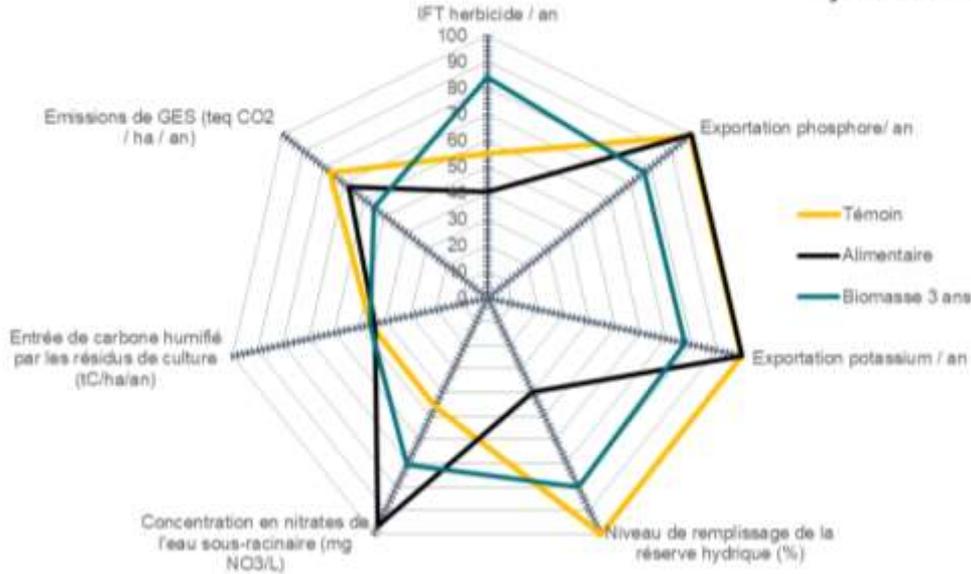
Les bornes sont issues des résultats des 18 systèmes, avec de systèmes très différents et donc difficilement comparables entre eux.

**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

Ferme 3.0  
Système SCOP



|  | Borne valant 100 %                            | Borne valant 0 %                             |
|--|---|--|
| IFT herbicide  | 1,02 / an                                     | 2,65 / an                                    |
| Exportation phosphore  | 35,83 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha/an | 82,5 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha/an |
| Exportation potassium  | 39,58 kg K <sub>2</sub> O/ha/an               | 337,5 kg K <sub>2</sub> O/ha/an              |
| Niveau de remplissage de la réserve hydrique en entrée hiver | 97 %  | 82 %   |
| Concentration en nitrates de l'eau sous-racinaire            | 14,37 mgNO <sub>3</sub> /L                    | 55,76 mgNO <sub>3</sub> /L                   |
| Entrée de carbone humifié par les résidus de culture         | 2,49 TC/ha/an                                 | 1,3 TC/ha/an                                 |
| Emissions de GES   | 3,03 TCO <sub>2</sub> /ha/an                  | 5,14 TCO <sub>2</sub> /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.



Seuls trois des quatre systèmes de culture sont représentés (*témoin*, *alimentaire prioritaire* et *biomasse prioritaire en 3 ans*) car les objectifs de production et la faisabilité technique du système *biomasse en 4 ans* ne sont pas atteints, remettant en cause l'intérêt du système pour approvisionner en biomasse agricole les filières de la bioéconomie.



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

- ① 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.
- ① Une deuxième diapo expliquant la méthode utilisée pour calculer l'indicateur et ce que l'indicateur peut traduire en terme de performances environnementales.
- ① Une ou des diapos avec l'analyse des résultats.

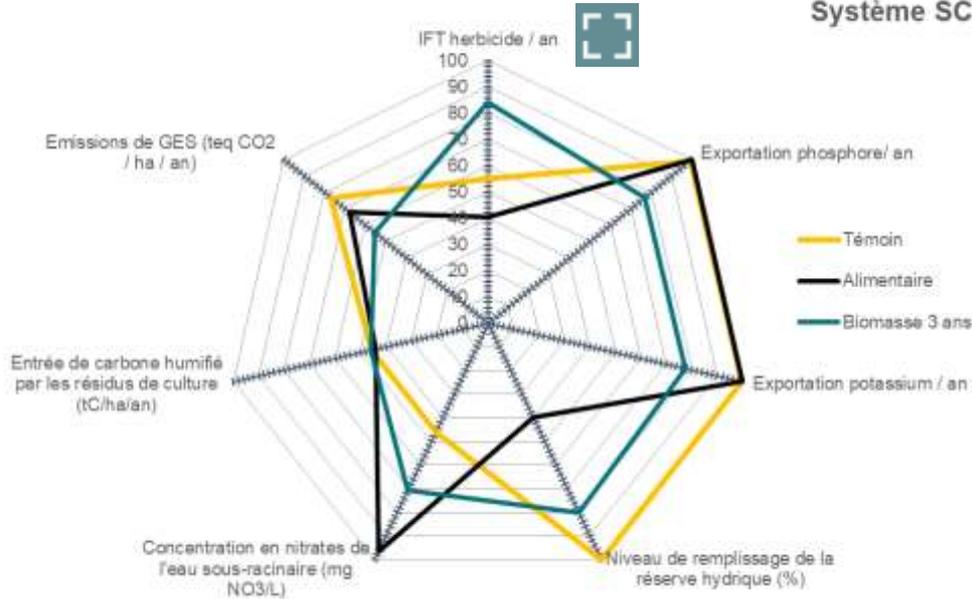


*Zoom indicateur*

# Les résultats environnementaux

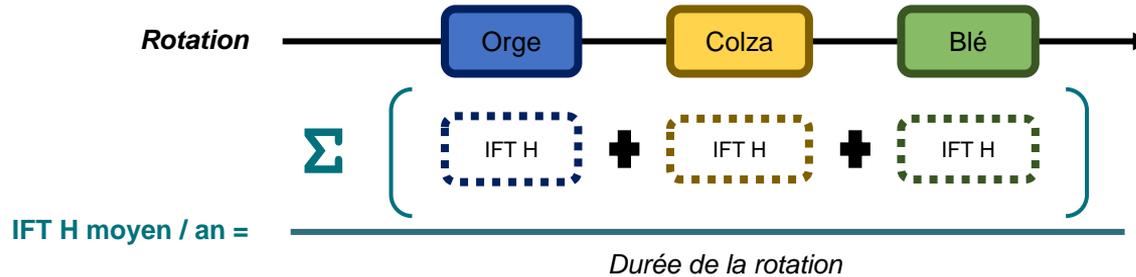
- Niveau de protection herbicide des systèmes -

Ferme 3.0  
Système SCOP



|               | Borne valant<br>100 % | Borne valant<br>0 % |
|---------------|-----------------------|---------------------|
| IFT herbicide | 1,02 /an              | 2,65/an             |

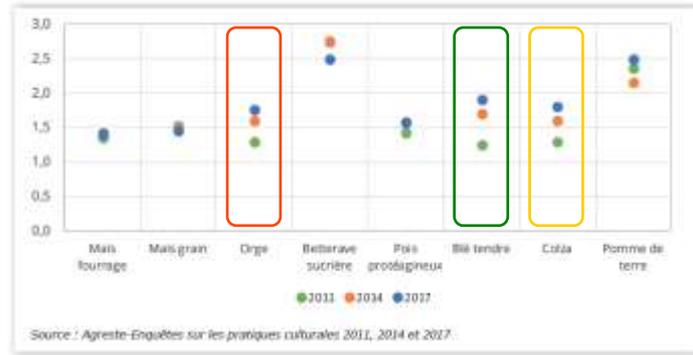
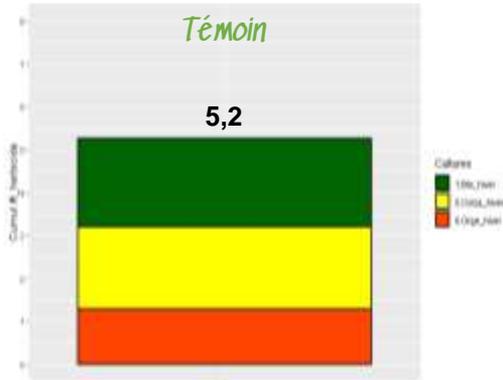
- ① L'Indice de Fréquence de Traitement (IFT) herbicide caractérise les pratiques de protection des cultures vis-à-vis **des adventices** (intensité d'utilisation des produits phytosanitaires à l'échelle de la rotation)
- ① Il correspond aux nombres de doses homologuées de produits phyto appliquées à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



### L'IFT Herbicide peut traduire :

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

# Résultats IFT herbicide de la rotation



|                                     | IFT H | Références régionales 2017 |
|-------------------------------------|-------|----------------------------|
| Bh                                  | 2,0   | 1,9                        |
| Ch                                  | 1,9   | 1,8                        |
| OH                                  | 1,3   | 1,7                        |
| <i>Cumul pour une même rotation</i> | 5,2   | 5,4                        |

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



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



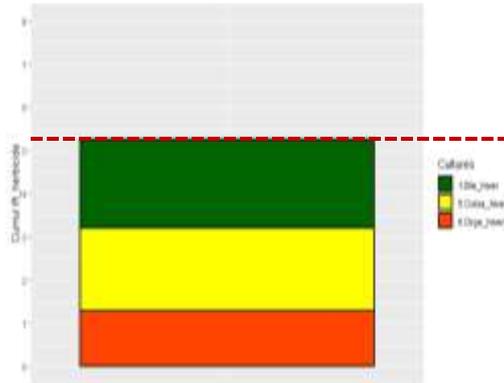
Comparaison des IFT H obtenus en moyenne pour les cultures de la rotation **témoin** aux IFT H de « référence » pour la région

En cumul, pour la même rotation et en réalisant un cumul des références, **l'IFT H du système Témoin est similaire à celui calculé à partir des références régionales.**

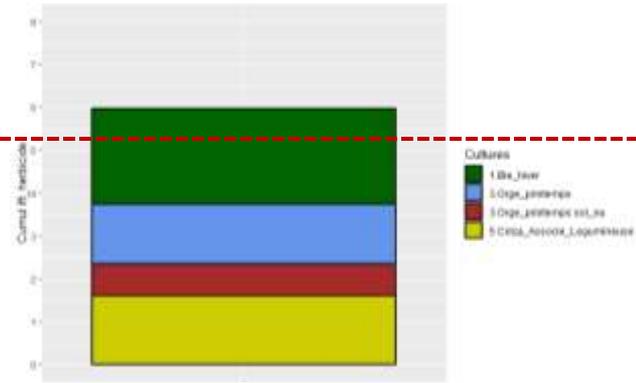
La conduite raisonnée des cultures par les pilotes de la plateforme a permis d'obtenir ce résultat. Néanmoins, ce dernier ne traduit pas ici un faible salissement des parcelles. En effet, le salissement des parcelles de colza est assez important et contribue au stock semencier d'adventices annuelles (chardon et liseron).

# Résultats IFT herbicide de la rotation

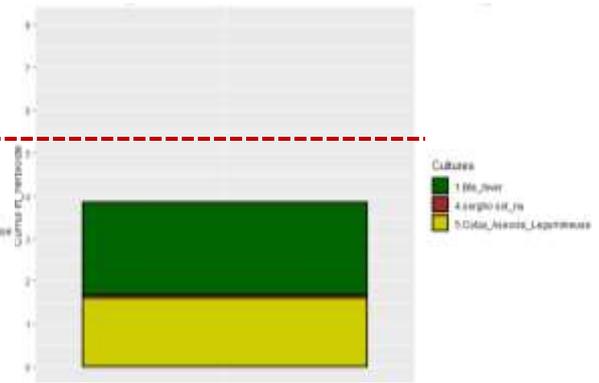
Témoin



Alimentaire prioritaire



Biomasse prioritaire



## « RETOUR D'EXPERIENCE DU PILOTE »

L'introduction de la double culture dans le système *biomasse prioritaire* est intéressante pour la gestion des adventices. Elle permet de casser la rotation du témoin exclusivement composée de cultures d'hiver (colza-blé-orge) qui induit une spécialisation d'une flore adventice hivernale. La diversification des dates de semis permet de casser les cycles des adventices.

- ① Usage d'un herbicide pour détruire la CIVE d'été → IFT H supplémentaire de 0,75 par rapport au *témoin*.

D'où un cumul d'IFT légèrement supérieur pour le scénario *alimentaire* par rapport au scénario *témoin*

- ① L'IFT H du colza, associé à des légumineuses, est inférieur dans ce scénario par rapport au témoin : les doses d'herbicide ont été raisonnées afin de bien prendre en compte la légumineuse et de ne pas la détruire.

- ① Le scénario *biomasse prioritaire en 3 ans* présente le cumul d'IFT herbicide le plus faible des trois scénarios. Sa performance est meilleure que celle du *témoin*.

- ① Cela s'explique par moins d'interventions herbicide dans le système :
  - Pas d'intervention sur l'orge d'hiver par rapport au témoin car il n'est plus dans la rotation
  - Aucune intervention herbicide sur la double culture : pas d'intrants chimiques sur le triticale - pois et le sorgho hormis un herbicide appliqué pour détruire les repousses de triticale - pois avant l'implantation du sorgho
  - De même que pour le scénario *AP*, l'IFT H du colza associé est inférieur à celui du témoin