LE CAHIER TECHNIQUE

L'EXPERTISE DE L'ITB AU SERVICE DE LA PERFORMANCE DE LA FILIÈRE

BF Nº 1168 - 29/08/2023

RECHERCHE EN COURS

Vers une meilleure connaissance de la cercosporiose

Depuis 2021, l'ITB collabore avec l'Inrae et l'Anses pour caractériser l'agressivité des souches du champignon responsable de la cercosporiose. Leur diversité au sein du territoire a été analysée et les premiers résultats de pathogénicité sont disponibles.

L'ITB a démarré un projet, nommé Sugar, pour caractériser la diversité génétique de *Cercospora beticola* et appréhender les capacités adaptatives du champignon. Une collection de souches de référence permet désormais d'évaluer la sensibilité des variétés ou l'effet de conditions culturales.

Diversité génétique des populations de *C.beticola*

Au total, 269 souches prélevées en 2019 et 2020 sur l'ensemble des départements betteraviers français ont fait l'objet d'analyses moléculaires. La diversité génotypique observée est forte, il n'existe pas de souche dominante, ni de structuration géographique des souches présentes sur le territoire. Une même souche peut se retrouver partout en France. Une collection de 100 souches est conservée, représentant la diversité génétique et maximisant les origines géographiques (*figure 1*) et les sensibilités aux substances actives fongicides, mesurées dans le cadre d'un précédent projet de recherche avec les mêmes partenaires. Ce projet visait à comprendre l'origine de la perte d'efficacité des produits conventionnels contre la cercosporiose.

Sensibilité de *C.beticola* aux matières actives fongicides

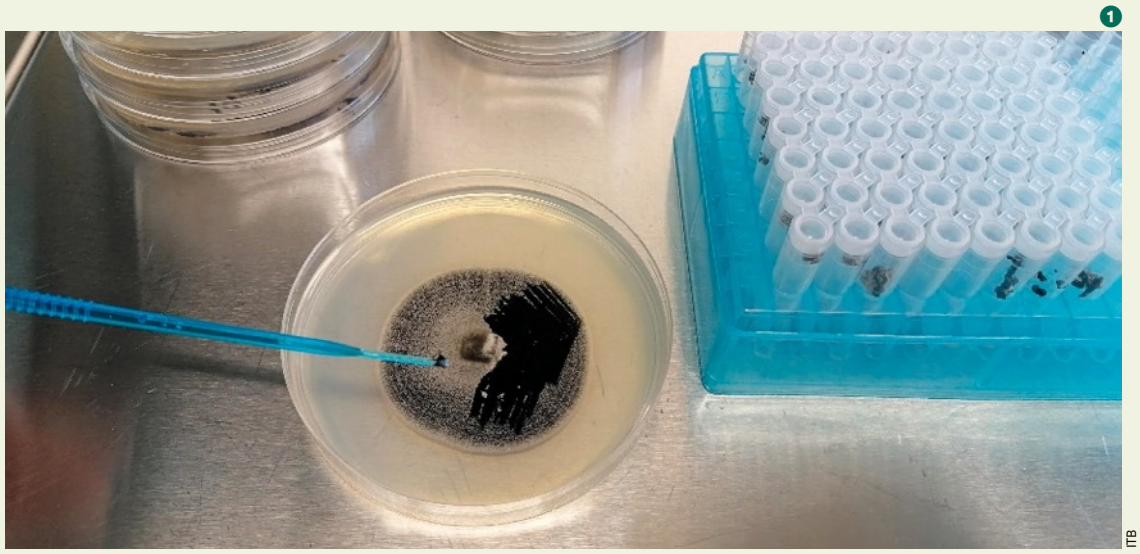
La résistance aux strobilurines est présente dans la totalité des échantillons testés, ce qui explique les faibles performances des produits à base de ces matières actives depuis déjà quelques années. Les triazoles sont aujourd'hui les plus utilisées pour lutter contre la cercosporiose. En l'absence de marqueurs moléculaires de résistance pour cette famille de molécules, des tests biologiques de croissance mycélienne ont permis de calculer pour chaque substance active la concentration qui inhibe la croissance du champignon en comparaison à un témoin sans fongicide. Au sein des prélèvements réalisés, certaines souches du champignon sont très résistantes à une ou plusieurs triazoles. Les résultats montrent également que la majorité des souches présentent une résistance croisée entre les différentes triazoles (une souche résistante à un fongicide a de grandes chances d'être résistante à un autre fongicide de la même famille). Au sein d'une même parcelle de betteraves, il existe différentes spores qui ont des signatures génétiques différentes et donc un niveau de résistance différent aux matières actives fongicides. C'est donc la proportion de spores résistantes dans chaque parcelle qui est analysée. Cela signifie que la performance des produits peut varier d'une parcelle à une autre, selon la structure des populations de *C. beticola* présentes. Concernant la molécule difénoconazole qui est la triazole la plus utilisée en fongicide betterave, 26,7 % des spores testées présentent un niveau de résistance élevé. Quant à la matière active tétraconazole, 46,1 % des spores testées ont un niveau de résistance élevée. Il existe une forte variabilité de résultats selon les sites échantillonnés et la pression de sélection exercée sur la parcelle. Lorsqu'un mode d'action est utilisé chaque année et plusieurs fois dans la même parcelle, le risque d'augmenter la

Suite en page suivante →

CHIFFRES CLÉS

269 souches analysées.

100 souches constituent la collection de référence.



1 Culture de souche de *C. beticola* sur milieu gélosé, en vue d'une extraction d'ADN.

ITB

2 Origines géographiques des 100 souches de référence.

ITB

proportion d'individus résistants est fort. L'arrivée de variétés très tolérantes à la cercosporiose facilite dans ces situations la protection de la culture.

Pouvoir pathogène des souches

Différents indicateurs ont été mesurés et corrélés entre eux. Le premier est la production de cercosporine, toxine produite par le champignon et responsable de la formation des nécroses sur les feuilles. Le test a l'avantage d'être rapide. La concentration en cercosporine des 100 souches de la collection de référence est représentée en *figure 3*. La corrélation avec les symptômes sur plantes a ensuite été analysée.

Pour cela, les betteraves sont cultivées sous serre et les champignons sont placés dans une chambre de culture. Des souches avec des concentrations variables en cercosporine ont été sélectionnées. L'inoculation est réalisée par pulvérisation de spores et de fragments de mycélium et les symptômes sont observés 3 semaines après inoculation. Le nombre de lésions et la surface des lésions sont évalués automatiquement par analyse d'images, à l'aide d'un algorithme développé dans le cadre du projet. Les résultats montrent une corrélation positive entre la production de cercosporine et la quantité de symptômes observés sur feuilles.

Il existe une forte variabilité de pouvoir pathogène parmi les souches de *C. beticola*. La *figure 5* montre les symptômes 3 semaines après inoculation pour 2 souches différentes.

Perspectives

Une évaluation de la sensibilité de différentes variétés va être conduite prochainement en présence d'un panel de souches plus ou moins agressives. Elle enrichira le système d'évaluation au champ. Des produits de biocontrôle vont également être testés. En complément, une analyse de l'expression de gènes de défense de la plante est en cours sur une variété sensible et sur une variété tolérante afin d'identifier des marqueurs moléculaires de tolérance. Le profil des métabolites produits par les plantes est aussi étudié pour mieux comprendre les mécanismes impliqués dans le processus infectieux et les réactions de défense de la plante. Les résultats de ces analyses seront disponibles dans un an.

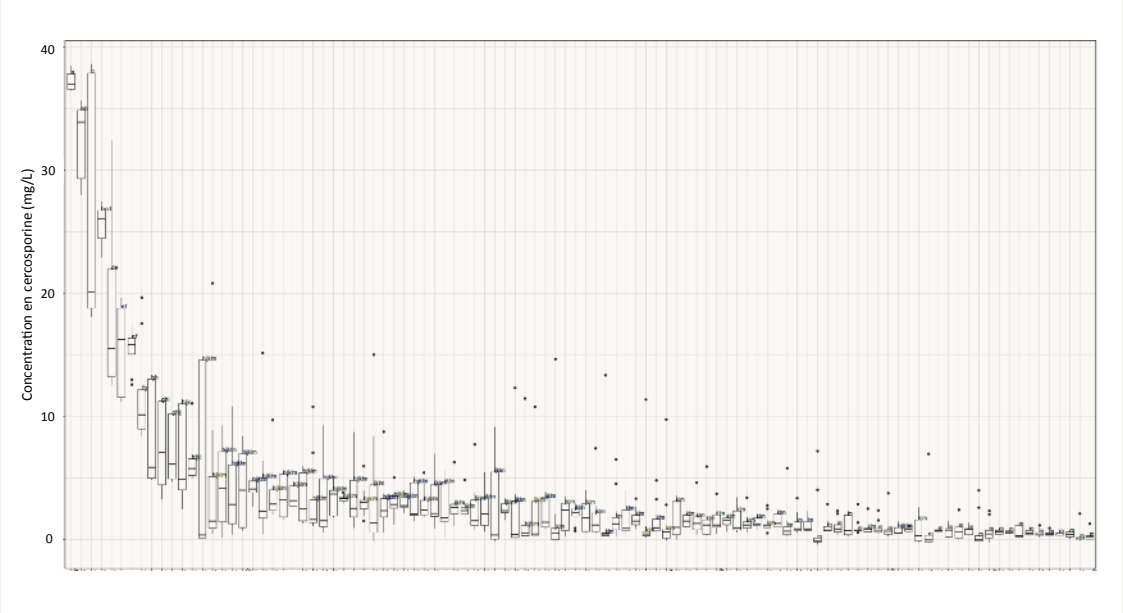
Le projet SUGAR est coordonné par l'ITB. Il bénéficie de la contribution financière du compte d'affectation spéciale de développement agricole et rural CasDar du ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation.

CHIFFRE CLÉ

- 0 à 37 mg/L

Variabilité des teneurs en cercosporine produites par les souches de référence.

Concentration en cercosporine (mg/L) des souches de *C. beticola* *(figure 3)*



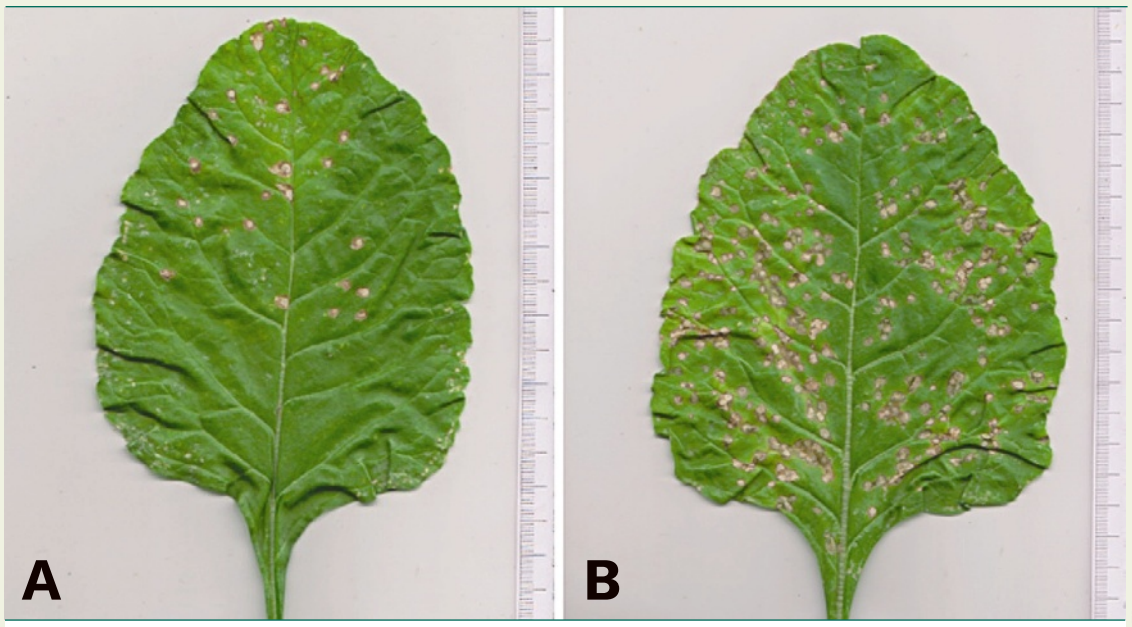
100 souches de C. beticola de référence (mg/L).

Inoculation réalisée dans la serre du Griffon de l'ITB *(figure 4)*

Après inoculation, chaque plante est ensachée pour maintenir des conditions d'humidité optimales au développement du champignon. 5 betteraves inoculées par une même souche sont placées dans un caisson pendant 3 semaines avant l'observation des symptômes.

Photos : ITB

Feuilles de betteraves 3 semaines après inoculation *(figure 5)*



A et B représentent 2 souches différentes.

Photos : ITB

CE QU'IL FAUT RETENIR

- **Une collection de souches** de référence de *C. beticola* a été constituée.
- **La variabilité génétique des souches** est forte au sein du territoire.
- **Un protocole d'évaluation** du pouvoir pathogène des souches en conditions contrôlées a été mis au point.
- **L'évaluation de variétés** et de produits de biocontrôle va bientôt démarrer.

RECHERCHE EN COURS

Comment améliorer l'empreinte carbone de la betterave à sucre ?

Cette année, l'ARTB et l'ITB ont mené une étude basée sur des cas types qui vise à préciser l'impact des leviers disponibles pour réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES) et/ou stocker davantage de carbone dans le sol.

Force des leviers

Parmi les leviers testés, l'apport d'engrais organique et la substitution de son équivalent en apport d'azote minéral (entre 14 et 22 unités N) ressort comme la pratique qui contribue le plus efficacement à l'amélioration du bilan carbone betteravier avec un gain moyen, toutes régions betteravières confondues, de l'ordre de 1,5 tonne équivalent CO_2 (teqCO_2) par hectare de betterave et par an. C'est principalement l'apport de carbone de ce produit organique qui permet d'augmenter le stock de carbone dans le sol. L'utilisation, en tant que couvert d'interculture avant l'implantation des betteraves, d'un mélange contenant une légumineuse permet d'économiser 20 u/N d'engrais minéral apporté à la culture, entraînant une réduction des émissions liées à ce produit. L'introduction de ce mélange permet en outre d'augmenter la biomasse à hauteur de 0,5 t de matière sèche (MS)/ha, ce qui favorise l'apport supplémentaire de carbone dans le sol. Par conséquent, ce levier permet, en moyenne, d'améliorer le bilan carbone de 0,8 teqCO_2/ha de betterave/an. Quant à la substitution de la solution azotée par de l'ammonitrate (engrais minéral moins émetteur de GES), il s'accompagne, en moyenne, d'un gain carbone de 0,2 teqCO_2/ha de betterave/an. Au final et en moyenne, la combinaison de ces 3 leviers peut ainsi contribuer à une amélioration du bilan carbone de l'ordre de 2,3 teqCO_2/ha de betterave/an.

A partir d'une méthodologie approuvée qui valorise les modifications de pratiques agricoles

Afin de quantifier la marge de progrès du bilan carbone (en tonnes de CO_2 équivalent évitées ou bien séquestrées dans le sol) pour la betterave, l'étude s'est basée sur des fermes types d'Arvalis représentatives de certaines régions betteravières à savoir la Picardie, le Centre-Val de Loire, la Marne, l'Île-de-France et l'Yonne. Ces fermes types Arvalis ont été reprises dans le cadre du projet « *DEFT (Durabilité Économique et Fermes Types)* » rattaché au Plan National de Recherche et d'Innovation (PNRI) pour la lutte contre la jaunisse. Leurs systèmes de culture, pratiques agricoles, et les prix considérés (2022), ont fait l'objet d'un important travail de calibrage en recoupant plusieurs sources de données dont celles provenant du registre parcellaire graphique.

Les calculs de gain carbone ont été réalisés sur la base de la méthode Label Bas Carbone Grandes Cultures (LBC -GC*), l'application de cette méthode permettant d'obtenir un bilan carbone net de référence (émissions GES directes, indirectes et stockage de carbone) pour les cas types considérés. Pour ce faire, les systèmes de culture prédominants de la région (exemple Picardie - *figure 1-A*) et les pratiques associées ont été utilisés. Afin d'améliorer l'empreinte carbone de base (exemple Picardie - *figure 1-B*), le choix des leviers appropriés pour la betterave a été effectué sur la base de l'évolution des pratiques tout au long de sa campagne culturale.

Leviers retenus

Couverts d'interculture : la moutarde blanche correspond au couvert de référence dans l'itinéraire technique betteravier des cas types. La possibilité de le mélanger avec des légumineuses (la vesce commune en l'occurrence) permet de valoriser l'apport d'azote atmosphérique. Cette fourniture d'azote vient ainsi se substituer (et donc réduire) l'apport d'azote minéral nécessaire à la betterave à hauteur de 20 unités.

Suite en page suivante →

CHIFFRE CLÉ

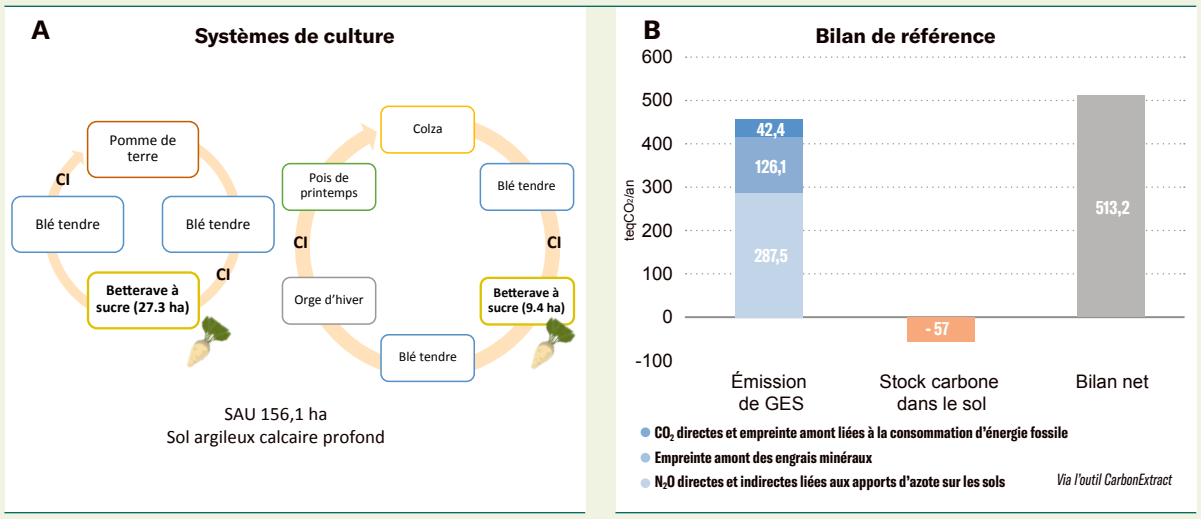
0,8 teqCO_2/ha betterave/an

Amélioration moyenne du bilan carbone grâce à la mise en place du levier mélange de couverts.

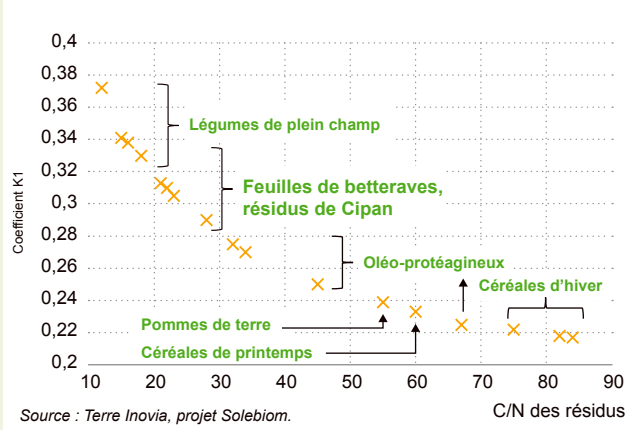
UNE MÉTHODOLOGIE RIGOUREUSE POUR ÉVALUER LES PRATIQUES

La méthode LB-GC a été élaborée par les instituts techniques de grande culture et Agrosolutions. Elle propose un cadre complet et rigoureux pour le montage et la conduite de projets visant à améliorer le bilan carbone de tout ou partie de l'exploitation, projets qui pourront être financés par des tiers privés engagés dans des démarches volontaires. Elle quantifie les émissions de Gaz à effet de serre (GES), dont l'essentiel se produit sous forme de protoxyde d'azote (N_2O), soit en amont (phase de production d'engrais minéraux ou d'élaboration d'engrais organiques), soit au champ (émissions directes ou pertes par volatilisation et lessivage de l'azote, émissions par les résidus de cultures et de couverts). Elle quantifie également l'effet des pratiques sur le stock de carbone stable du sol. Un gain de stockage sera quantifié positivement, mais les pratiques peuvent être « *destockantes* » et jouer négativement. C'est l'addition de ces deux composantes, émissions et stockage, positives ou négatives, qui établit le bilan global carbone des pratiques. Il est exprimé en « *tonnes d'équivalent CO_2* » : l'effet GES d'une molécule de N_2O équivaut à celui de 298 molécules de CO_2.

Cas-type Picardie *(figure 1)*



Coefficient K1 d'humidification des résidus de culture



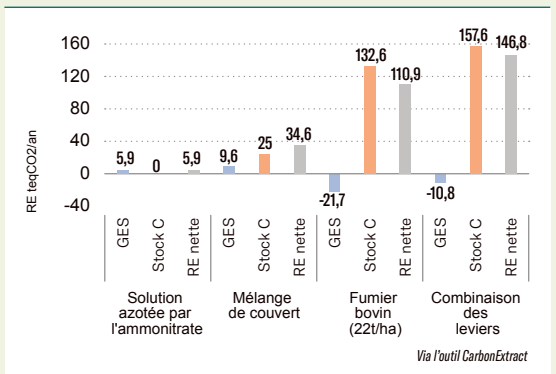
Le coefficient isohumique des résidus de culture représente la proportion de carbone qui sera stockée durablement sous forme d'humus, il est relativement élevé pour les feuilles de betterave.

Ce mélange d'espèces peut être par ailleurs plus exigeant vis-à-vis de la qualité et de la période d'implantation, surtout en conditions stressantes au semis ou en végétation mais permet une amélioration de la production de biomasse du couvert (+ 0,5 t MS/ha dans le cadre de cette étude). Cette productivité doit être assurée par des semis relativement précoces, et une bonne mise en terre.

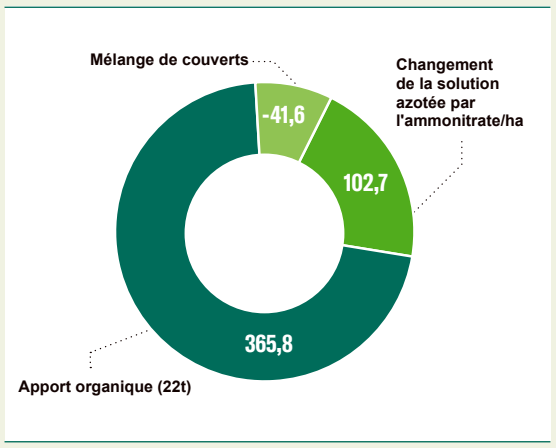
Apport de fertilisants organiques : globalement, son intérêt est son potentiel de stockage de carbone dans le sol. Bien qu'il contribue aux émissions de GES, c'est à un degré globalement moindre que celui des fertilisants minéraux. Ce bénéfice doit cependant être nuancé car il est très dépendant des produits organiques utilisés. Le choix du produit organique utilisé pour la betterave se base sur les données d'enquêtes du Service de la statistique et de la prospective (SSP), 2017. À ce titre, la pratique la plus fréquente dans les exploitations betteravières – toutes régions confondues – concerne l'apport de vinasses. Toutefois et afin d'obtenir plusieurs résultats à partir de différents produits organiques, l'apport de 3,4 tonnes/ha de vinasses n'a été testé que dans le cas de la ferme type Marne - Aube. En Picardie, c'est l'utilisation de 22 t/ha de fumier de bovin qui a été retenue. En Centre-Val de Loire, un apport de 4 t/ha de fumier de volailles a été considéré tandis que pour l'Île de-France et l'Yonne, l'apport a consisté en l'ajout de 5 t/ha de fientes de poule sèches. Tous ces apports correspondent par ailleurs à une réduction de la dose d'engrais minéral azoté de 19 unités en moyenne.

Changement de la forme d'engrais minéral azoté : le gain carbone calculé provient de la différence d'émissions de GES « *amont* » lors du process de fabrication de ces différentes formes d'engrais, ainsi que de la différence observée lors de la volatilisation ammoniacale de ces produits au champ. L'ammonitrate est un engrais azoté qui émet ainsi moins de GES en amont par rapport à la solution azotée. De fait, la dose totale de solution azotée apportée à la betterave a été remplacée par de l'ammonitrate. Chaque levier a été évalué séparément pour mesurer son potentiel d'amélioration de l'empreinte carbone betteravière. La combinaison des trois leviers a également été testée. (Exemple Picardie - *figure 2)*. L'application de la méthode LBC-GC vise à améliorer le bilan carbone au niveau du système, c'est-à-dire pour la plupart ou idéalement pour toutes les cultures présentes dans l'exploitation. Cette étude vise à obtenir un ordre de grandeur du gain carbone des leviers applicables sur la betterave à sucre uniquement, tout en estimant le coût économique des leviers appliqués.

Réduction d'émissions de GES ou augmentation de stockage de C pour la sole betterave par l'activation des leviers, cas type Picardie *(figure 2)*



Coût de la mise en œuvre des leviers dans le cas type Picardie en €/ha *(figure 3)*



Amélioration de l'empreinte carbone des cas-types betteraviers retenus *(figure 4)*

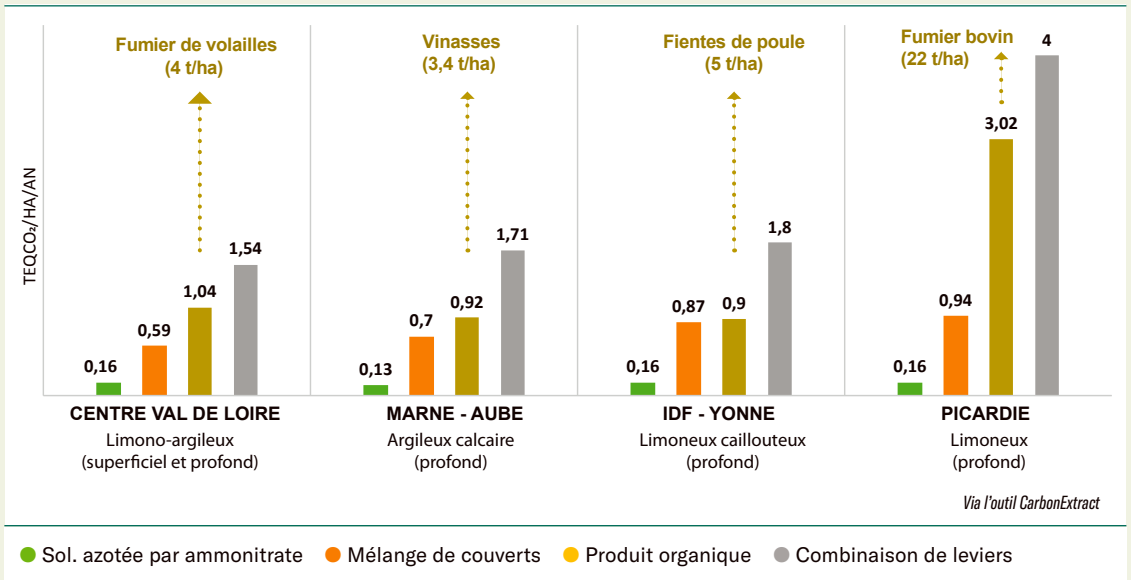


Figure 4 Réduction d'émissions GES ou augmentation du stockage de carbone grâce à l'activation des leviers dans l'ensemble des cas types régionaux (ramené à l'hectare : $teqCO_2$/ha de betterave/an).

Coûts des leviers/ha de betterave

Le coût de l'évolution des pratiques culturales (prix 2022) qui permettent d'améliorer le bilan carbone de la betterave à sucre a été évalué comme suit :

Mélange de couverts : la dose moyenne de semis du couvert d'interculture (moutarde blanche) est de 6,2 kg/ha. Dans tous les cas, le levier consiste à remplacer la moitié du couvert de moutarde par de la vesce commune. Ce mélange de couvert contenant des légumineuses est, dans nos estimations, moins coûteux que la moutarde et permet une réduction des charges d'engrais minéraux grâce à une diminution de l'apport de solution azotée pour la betterave de 20 unités N. Par conséquent, ce levier permet une économie moyenne de 37,4 €/ha de betterave (la variation autour de cette valeur moyenne allant de 35 à 41,6 €/ha – cf. exemple Picardie *figure 3*).

Changement de la forme d'engrais minéral azoté : la solution azotée à 39 % est l'engrais minéral utilisé dans tous les itinéraires techniques betteraviers de référence des cas types. À ce titre, la totalité de ce produit a été remplacée par de l'ammonitrate à 33,5 %. Ce dernier étant plus coûteux, ce levier engendre un surcoût moyen de 98 €/ha de betteraves (variation comprise entre 84,8 et 102,7 €/ha).

Produits organiques fertilisants : le coût de l'application de produits organiques fertilisants dépend de la nature du produit considéré sur chacun des cas types ainsi que du prix de l'épandage et du transport du produit en question. Dans tous les cas, l'apport organique sur betterave remplace son équivalent en apport d'azote minéral (l'économie d'azote minéral varie entre 14 et 24 kg/ha). En moyenne, la quantité épandue pour les 4 types de produits considérés est de 8,6 t/ha avec une variation d'entre 3,4 à 22 t du produit. Le coût moyen de ces amendements organiques est de 242,6 €/ha (le coût tient compte du prix de chaque produit, l'épandage et l'économie d'azote) et varie entre 48,8 €/ha et 397,4 €/ha.

* Voir le cahier technique du *Betteravier français* n° 1150.

CE QU'IL FAUT RETENIR

Il est possible d'améliorer l'empreinte carbone de la betterave à sucre en adaptant *a minima* ses pratiques culturales. Si certains leviers d'amélioration comme le mélange des couverts ne représentent pas un coût supplémentaire, d'autres pratiques engendrent un surcoût qui doit pouvoir être financé par la valorisation des réductions de GES associées ($teqCO_2$/ha) sous forme de crédits carbone (et dont le prix moyen est actuellement de l'ordre de 35 €/$teqCO_2$/ha/an pour l'agriculteur). Si le coût de la mise en œuvre de ces pratiques n'est que partiellement couvert par un projet labellisé bas carbone, un autre type de financement comme une prime filière ou autre pourrait être nécessaire.