

La biomasse agricole pour la bioéconomie peut être produite dans les systèmes de culture via différents leviers, dont :

- La valorisation des co-produits (pailles),
- L'utilisation des périodes d'interculture pour produire des CIVE courtes ou longues,
- Une modification de la rotation pour intégrer une/des cultures dédiées de type double culture biomasse : CIVE longue de type céréale immature suivie d'une culture de printemps à production de biomasse élevée (maïs ou sorgho par exemple).

L'un des objectifs des systèmes pour la bioéconomie est de chercher à atteindre un niveau de production et d'exportation de biomasse plus élevé à l'hectare que dans les systèmes actuels, pour limiter la concurrence sur les terres agricoles avec les productions alimentaires. Il est donc important d'évaluer les effets de l'augmentation des niveaux d'exportation de biomasse sur le stock de carbone organique du sol.

Vous avez dit « **CIVE** » ?

Il s'agit d'une Culture Intermédiaire à Vocation Énergétique, implantée spécifiquement pour produire de l'énergie (ADEME, 2013). Les CIVE courtes sont implantées en été et récoltées à l'automne, et les CIVE longues sont implantées à l'automne et récoltées au printemps.

Vous avez dit « **Bioéconomie** » ?

La bioéconomie englobe l'ensemble des activités économiques, dont la méthanisation, utilisant les bioressources (biomasse agricole, forestière,...) comme matières premières (MAAF, 2016).

Les systèmes de culture pour la bioéconomie peuvent-ils contribuer à stocker du carbone dans les sols ?

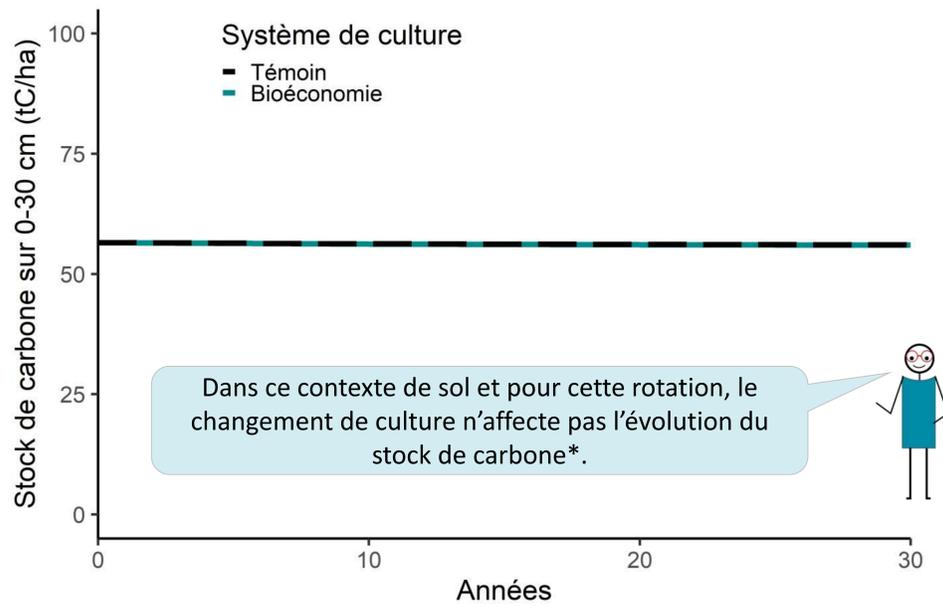


Système céréaliers – oléagineux



Dans mon système céréalier-oléagineux, je souhaiterais remplacer l'escourgeon dont la paille est exportée, par une double culture triticale+pois suivi d'un sorgho, et un export de paille de blé. Est-ce que ce changement aura des conséquences sur le stock de carbone de mon sol à long terme ?

Rotation témoin	Colza	Blé	Escourgeon paille exportée
Rotation bioéconomie		Blé paille exportée	Double culture : triticale+pois suivi sorgho
Sol	Crannette sur craie (stock C initial : 38 tC/ha)		

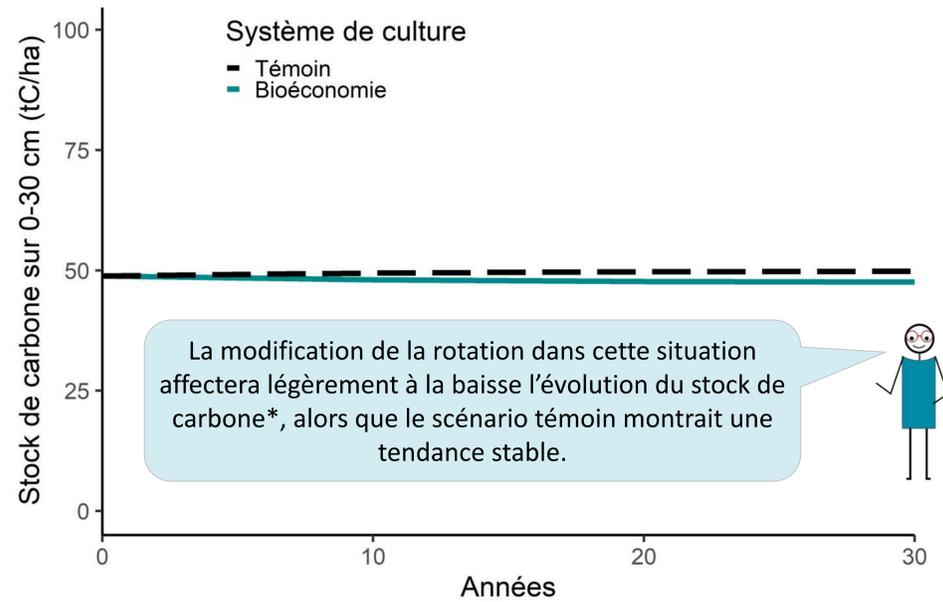


Système betteravier

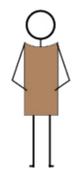


Dans mon système betteravier, je souhaiterais remplacer le colza par une double culture seigle immature suivi d'un sorgho. Quelles pourront être les conséquences sur le stock de carbone de mon sol à long terme ?

Rotation témoin	Betterave	Blé	Colza	Blé
Rotation bioéconomie			Double culture : seigle suivi sorgho	
Sol	Limon moyen profond (stock C initial : 49 tC/ha)			

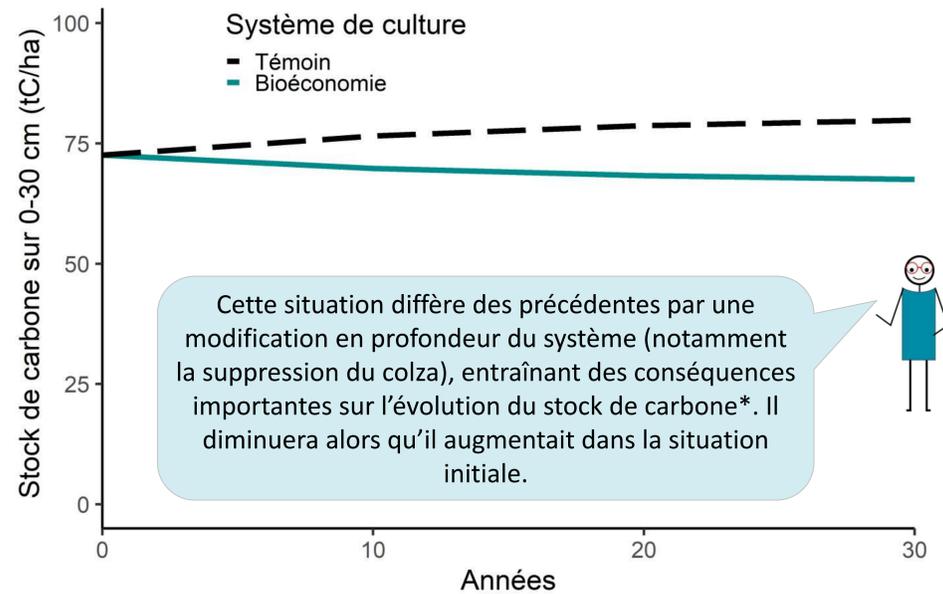


Système polyculture-élevage



Dans mon système polyculture-élevage, je cherche à maximiser les exportations de biomasse « verte », tout en conservant une production de fourrage. Ainsi, j'ai fait le choix de supprimer le colza et les céréales à pailles, et d'introduire à la place un méteil, une betterave fourragère et un blé immature, tout en conservant la double culture (dérobée + maïs). De plus, j'ai remplacé les effluents d'élevage par du digestat brut. Quelle modification de l'évolution du stock de carbone attendre ?

Rotation témoin	Colza	Blé	Maïs ensilage	Blé paille exportée
Rotation bioéconomie	Méteil	Dérobée + maïs ensilage	Dérobée + betterave fourragère	Blé immature
Sol	Argile à silex (stock C initial : 51 tC/ha)			



*Résultats issus de simulations réalisées avec l'outil SIMEOS-AMG

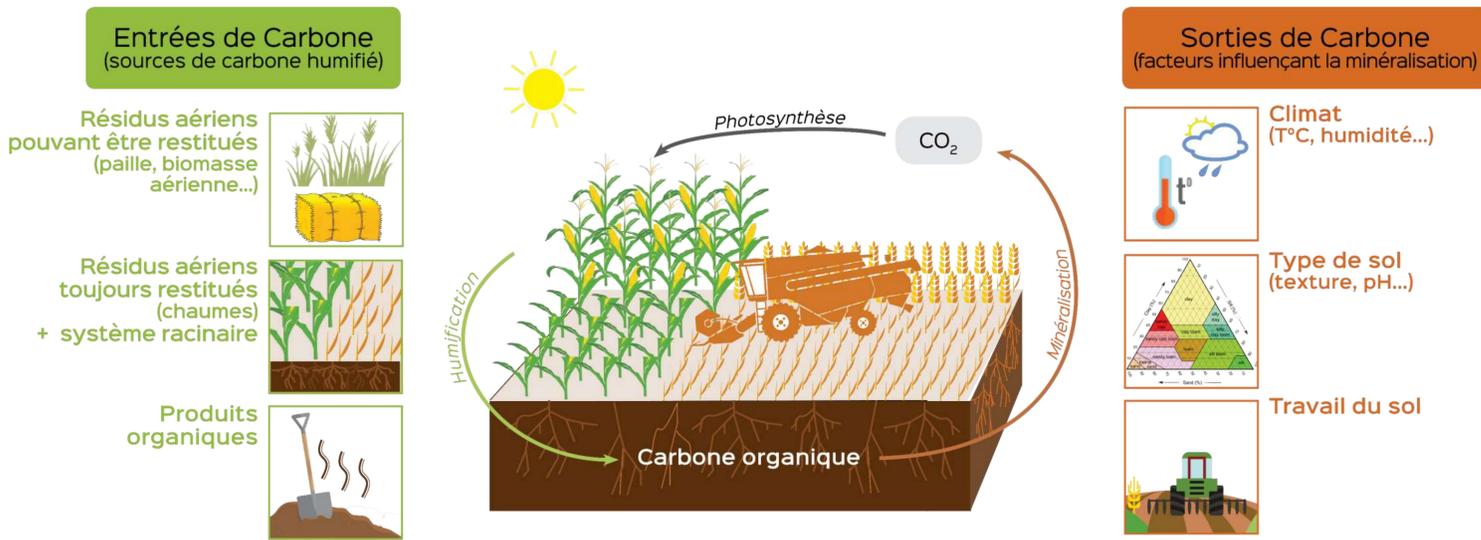
Projet soutenu financièrement de 2015 à 2020 par le FEDER, le FNADT au titre de l'initiative « Territoires Catalyseurs d'innovation » et la région Hauts-de-France



La démarche FILABIOM a été construite dans le cadre du projet Réseau de sites démonstrateurs
Projet coordonné par Agro-Transfert Ressources et Territoires, avec comme partenaires :



Principe du bilan humique



Selon le principe du bilan humique, si les entrées de carbone sont supérieures aux sorties, il y a un stockage de carbone. À l'inverse, des sorties de carbone supérieures aux entrées entraînent un déstockage.

Les entrées de carbone humifié dans les systèmes de culture sont l'élément que l'on peut influencer par les choix de rotation et de pratiques. Les sorties de carbone par minéralisation sont surtout liées au type de sol et donc peu influençables. Des travaux récents ont montré que le faible impact du travail du sol sur la minéralisation permettait de comparer les systèmes sur la base des entrées de carbone humifié (Clivot et al., 2019).

Les entrées de carbone humifié, c'est-à-dire du carbone qui sera réellement incorporé à la matière organique du sol via le processus d'humification, sont apportées car par les résidus de cultures (aériens, racinaires, cultures intermédiaires) et les produits organiques.

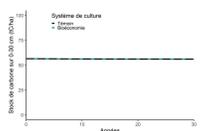
Les sorties de carbone se font sous forme de CO_2 via la minéralisation de la matière organique, elle-même due à l'activité biologique du sol. Cette dernière est influencée par le climat, le type de sol et le travail du sol.

Dans les systèmes de culture pour la bioéconomie, comment les modifications de rotation influencent-elles les entrées et sorties de carbone du sol ?

Au sein d'un même système de culture, le type de sol, et donc le taux de minéralisation annuelle, pour les deux scénarii est identique. Ainsi, la différence d'évolution du stock de carbone s'explique par la différence d'entrée de carbone humifié dans le sol. Dans nos exemples, les entrées de carbone sont toujours supérieures aux sorties, garantissant une évolution positive du stock de carbone du sol. Dans le cas où les sorties seraient supérieures aux entrées, on observerait un déstockage.

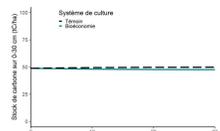
Système céréaliers – oléagineux

Dans ce système, le changement de culture dans la rotation n'entraîne pas de modification d'entrées de carbone, et c'est pour cette raison que l'évolution du stock de carbone ne change pas.



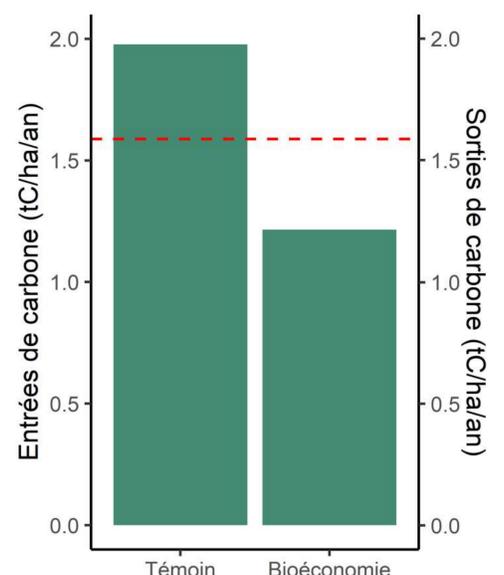
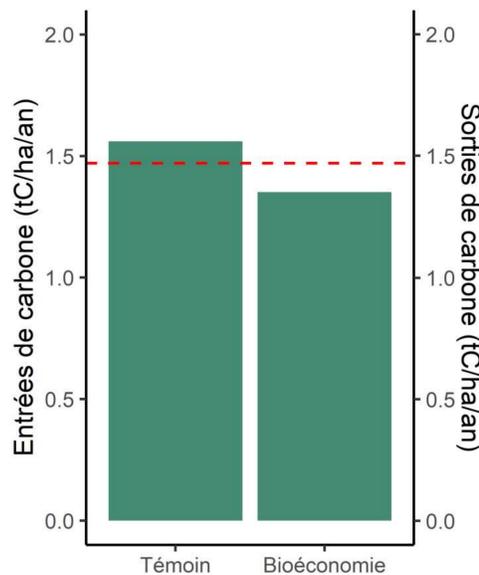
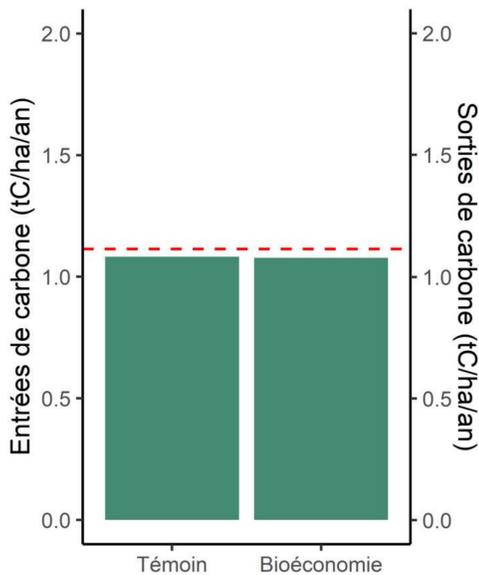
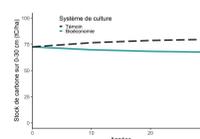
Système betteravier

La modification de la rotation dans cette situation entraîne une légère baisse des entrées de carbone, en dessous des sorties, et donc également une légère baisse de l'évolution du stock de carbone.



Système polyculture-élevage

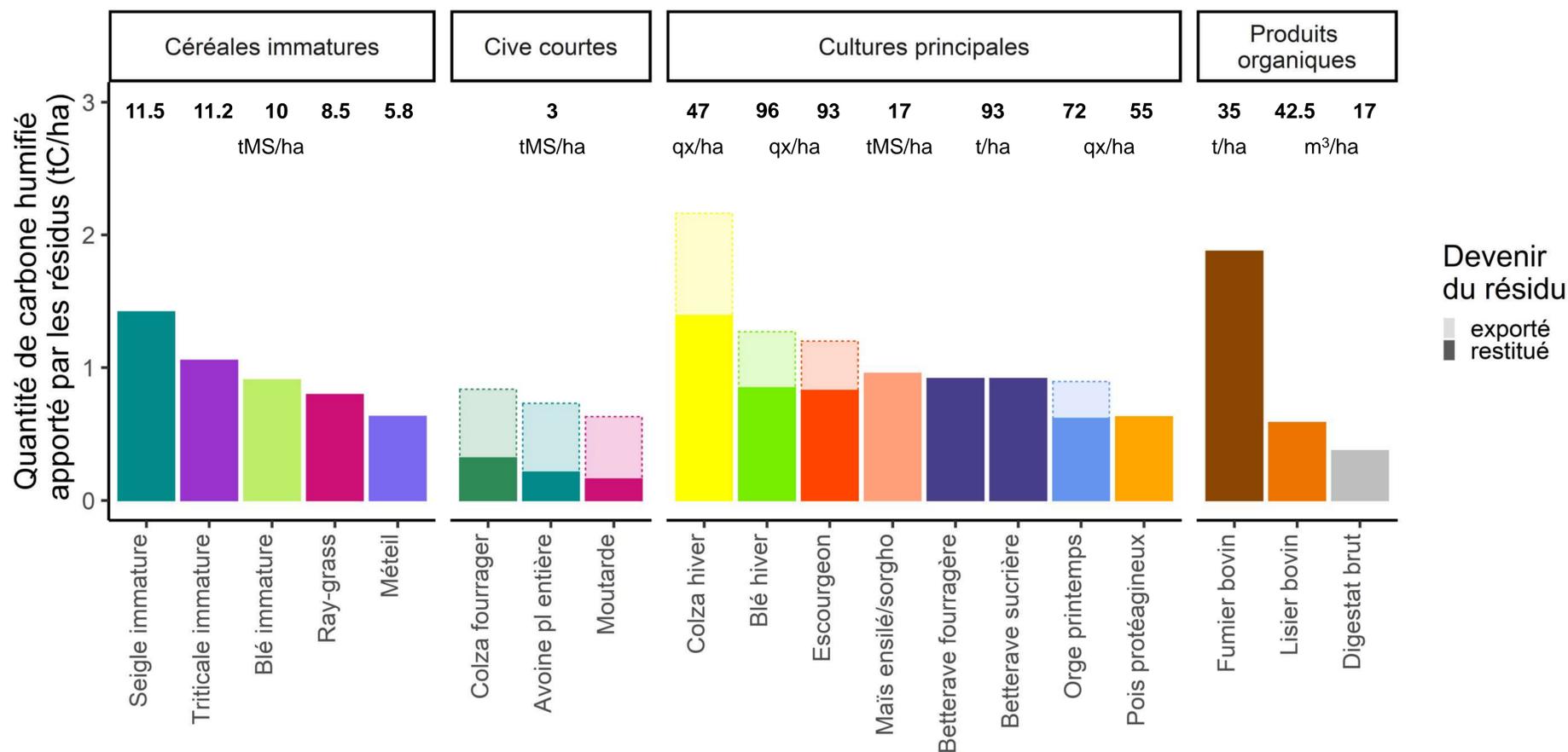
Cette situation diffère des précédentes car le système a été modifié en profondeur : le colza et les effluents bovins, permettant de rapporter beaucoup de carbone humifié ont été remplacés par des sources moins riches (notamment la betterave). Les entrées de carbone humifiées totales sont donc plus faibles, avec pour conséquence une évolution du stock de carbone qui diminuera.



Quelles quantités de carbone humifié peut-on obtenir pour différentes cultures ?



Les entrées de carbone humifié sont fonction de la quantité de biomasse et de sa teneur en carbone, ainsi que de la nature de la biomasse et notamment de son ratio carbone/azote (C/N). La quantité de racines restituée joue également un rôle important car ces dernières présentent un taux d'humification plus élevé. En effet, les microorganismes ont besoin d'azote pour dégrader la matière et que celle-ci s'incorpore à la matière organique. Ainsi, malgré une biomasse moins importante, mais riche en azote, la biomasse aérienne des cive courtes ou des cultures intermédiaires peuvent rapporter au sol presque autant de carbone humifié que les pailles.



A retenir

Pour favoriser le stockage du carbone, il faut s'assurer que les entrées de carbone humifié sont assez importantes pour compenser les sorties via la minéralisation.

Les leviers suivants peuvent être utilisés pour maximiser les entrées de carbone :

- ⊕ Dans le cas d'une introduction de double culture, chercher à maximiser la biomasse des deux cultures et éviter de remplacer les cultures qui peuvent apporter beaucoup de carbone humifié, telles que le colza.
- ⊕ Si possible, favoriser les exports de pailles de céréales aux pailles de colza qui apportent plus de carbone humifié.
- ⊕ Si le choix se présente, préférer les cive longues aux cive courtes car elles produisent une biomasse racinaire plus importante, d'autant plus si elles sont suivies d'une culture biomasse tel que le maïs ou le sorgho.
- ⊕ Le digestat brut apporte du carbone humifié supplémentaire au système de culture mais moins que le fumier.
- ⊕ On peut compenser la quantité de carbone exportée par les cive courtes par la restitution d'une paille de céréales supplémentaire dans la rotation, étant donné que ces deux types de biomasse peuvent rapporter au sol presque autant de carbone. Cependant, restituer un couvert bien développé permet de rapporter une quantité d'azote non négligeable, utile pour les cultures suivantes.

Pour plus d'informations, rendez-vous sur : <http://www.agro-transfert-rt.org/filabiom/outils/production/carbone/>

Hugues Clivot, Jean Christophe Mouny, Annie Duparque, Jean Louis Dinh, Pascal Denoroy, Sabine Houot, Françoise Vertès, Robert Trochard, Alain Bouthier, Stéphanie Sagot, and Bruno Mary. 2019. "Modeling Soil Organic Carbon Evolution in Long-Term Arable Experiments with AMG Model." *Environmental Modelling and Software* 118:99–113.



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

La démarche FILABIOM a été construite dans le cadre du projet Réseau de sites démonstrateurs
Projet coordonné par Agro-Transfert Ressources et Territoires, avec comme partenaires :

