

ÉDITION 2024

RAPPORT AGRONOMIQUE

Résultats des expérimentations de la ferme Terrasolis



TERRASOLIS 



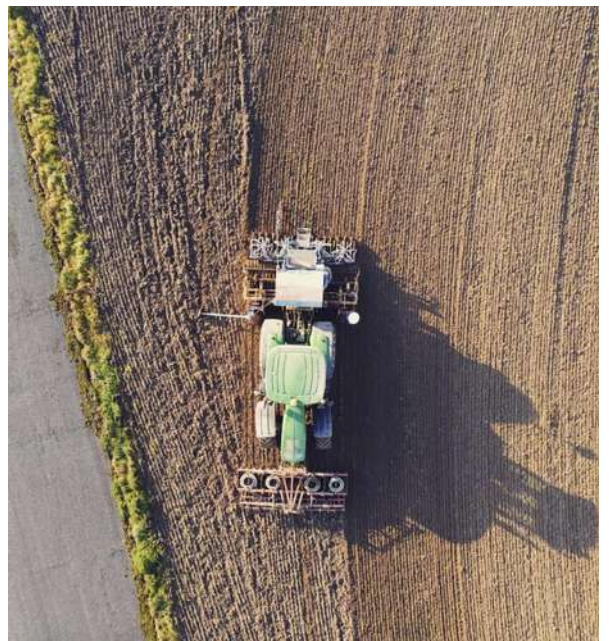
Introduction

2024 est une année charnière pour Terrasolis.

C'est le moment de tirer les enseignements de **8 années d'expérimentations** et de transformer la ferme expérimentale pour accueillir prochainement un **méthaniseur** comme **principal levier de décarbonation d'une ferme en champagne crayeuse**. Un travail important de **refonte** complète a été réalisé **avec nos adhérents** pour fixer de **nouveaux objectifs**, plus ambitieux, tout en incluant le levier de la méthanisation.

Nous avons également **accueilli plusieurs expérimentations en 2024**, car notre formidable outil qu'est la ferme expérimentale, située sur l'ancienne base aérienne 112, **permet à nos adhérents et partenaires de déployer des essais à grande échelle dans un environnement pratique, sécurisé et accessible**.

Ce rapport agronomique **synthétise les conclusions des anciens essais systèmes** et **expose en détail la nouvelle stratégie** de la ferme expérimentale collaborative de Terrasolis. Vous trouverez également un résumé des expérimentations réalisées avec nos adhérents ou partenaires.



Sommaire



✓ Revenez au sommaire via cette icône

1

- **PRÉSENTATION DE TERRASOLIS** 3
- **LA FERME EXPÉRIMENTALE** 4
 - Objectifs 4
 - Axes de travail 4
 - Carte des cultures de la ferme 5
 - Implantation 6
 - Cadre physique 7

2

- **CARNET DE CAMPAGNE 2024** 8
 - Bilan campagne 2024 8
 - Rendements des systèmes de culture 9
 - Faits marquants de la campagne 10
 - Couverts végétaux 12

3

- **NOUVELLE DÉMARCHE EXPÉRIMENTALE** 14
 - Historique de la ferme 14
 - Essais systèmes 15
 - Conception de nouveaux essais systèmes 19
 - Les nouvelles rotations 20
 - Évaluation du potentiel de réduction des gaz à effet de serre 23
 - Évaluation de la pertinence des nouveaux systèmes d'un point de vue du stockage de Carbone dans les sols par la méthode SIMEOS AMG 26
 - Parcellaire de la ferme expérimentale 27
 - Essais plateforme 29
 - Indicateurs et mesures 30
 - Perspectives 2025 33

4

- **SYNTHÈSE ESSAIS CIVE** 34
 - Introduction 34
 - CIVE d'hiver 36
 - CIVE d'été 37
 - CIVE d'hiver dans luzerne 40

5

- **STATION DE MESURE DE FLUX** 41
 - Contexte 41
 - Objectifs 42
 - Résultats 43



AEROLAB
Ateliers de Recherche en
Environnement Atmosphérique

6

- **ESSAIS ROBOTIQUE CYCLAIR** 46
 - Objectifs 46
 - Contexte 47
 - Réalisations 2024 48
 - Plan d'action 2025 48

CYCLAIR

cérèsia

7

- **LES PLUVIOLIXIVIATS** 49
 - Contexte 49
 - Méthode 50
 - Résultats 50



Dans le cadre de la réaffectation de l'ancienne base aérienne 112, un projet d'envergure axé sur la recherche, le développement et l'innovation (RD&I) dans la région du Grand-Est a vu le jour. Ce projet vise à élaborer des recherches finalisées afin de fournir des solutions intégrant l'utilisateur final, à savoir l'agriculteur. Pour superviser cette initiative, le secteur agricole s'est mobilisé en créant un écosystème d'acteurs incarné par l'association TERRASOLIS.

En quelques mots, TERRASOLIS représente le pôle d'innovation dédié aux ressources bas-Carbone. Notre objectif principal est d'accompagner la transition vers une agriculture et des territoires à faible empreinte Carbone, en réponse aux objectifs de neutralité Carbone d'ici à 2050. Dans le cadre de nos activités, nous œuvrons à la mise en synergie des acteurs pour favoriser l'émergence d'un modèle d'économie circulaire durable, créateur de valeur ajoutée sur les territoires.



COLLECTIF

Initiateur de relations et d'échanges entre les acteurs du territoire pour l'émergence de projets collaboratifs innovants, par le prisme du partage d'expérience et de l'intelligence collective.



FERME

Démonstrateur à taille réelle d'une exploitation de grandes cultures bas Carbone performante et durable dans un objectif d'augmentation de la production de Carbone renouvelable (+25%) associée à une réduction d'émissions de gaz à effet de serre issus de Carbone fossile (-50%).



BASE

Terre d'accueil d'activités, de sociétés et start-up innovantes en lien avec l'agriculture, les énergies renouvelables et la bioéconomie, proposant une offre originale d'énergies bas-Carbone.

La ferme expérimentale

Objectifs :

- Être le démonstrateur à taille réelle pour innover, développer, construire le modèle d'une agriculture « bas- Carbone » afin de répondre aux objectifs suivants : mutation des systèmes de production, mise en œuvre de l'agroécologie, transition énergétique, multifonctionnalité, réponse aux enjeux de la bioéconomie...
- Être un outil au service de la recherche, du développement et du transfert

Les axes de travail mis en oeuvre :



Les travaux de la ferme se sont d'abord concentrés sur l'axe agronomique. Dans ce cadre, sa mission est de concevoir, de mettre en œuvre et d'évaluer des systèmes de culture innovants, à l'échelle d'une ferme, répondant ainsi aux **3 enjeux suivants :**

- **Assurer la fourniture de la ressource agricole** (Carbone renouvelable) aux industries de l'aval de la région, en qualité et quantité.
- **Assurer la productivité économique** des systèmes dans une moindre dépendance aux énergies fossiles.
- **Prendre en compte les valeurs de durabilité** attendues par la société (concept de l'agroécologie).

CULTURES DE LA FERME EXPÉRIMENTALE 2024



Œdicnème criard



BETTERAVES



COLZA



BLÉ TENDRE D'HIVER



TOURNESOL



PLATEFORME SYPPRE



ORGE DE PRINTEMPS



ORGE D'HIVER



CHANVRE



LUZERNE

LUZERNE DANS CIVE D'HIVER

La ferme expérimentale

Implantation



La ferme expérimentale, installée sur une ancienne friche militaire, est une vitrine de l'agriculture bas-Carbone.

TERRASOLIS y développe des solutions innovantes pour une agriculture durable, créatrice de valeur pour les agriculteurs et les territoires.

Cet outil contribue à la neutralité Carbone d'ici à 2050, notamment en réduisant les émissions de GES et en produisant du Carbone renouvelable.

Photo aérienne de l'ancienne base militaire 112

Le cadre physique

Relief et hydrographie

Le site, conçu pour l'aviation, est naturellement plat, avec une altitude de 90 à 95 mètres. Il est bordé par deux reliefs : au nord-ouest, la butte de Brimont (170 m) et au sud-est, le mont de Berru (270 m), près du fort de Witry-lès-Reims. La zone nord est parfaitement plane, tandis que le sud présente une légère inclinaison vers Bétheny.



Photo des parcelles sud

Aucun cours d'eau naturelle ne traverse le site, mais le canal de la Marne à l'Aisne est proche de son extrémité ouest. Son bassin versant appartient à la Vesle, situé à une dizaine de kilomètres au sud-ouest.

La ferme expérimentale

Géologie – hydrogéologie

La géologie locale est dominée par une craie blanche fine, sans silex, du Campanien inférieur (fin du Crétacé).

Les cycles de gel et dégel du Quaternaire ont provoqué des mouvements dans le substrat, formant des “cheminées” de craie fragmentée et des “poches” mêlant gravillons et limons calcaires. Ce phénomène de cryoturbation est à l'origine de la « craie à poches », typique de la crayeuse champenoise.



La craie à poches est recouverte d'un matériau limono-crayeux, mêlant petits gravillons de craie et limon calcaire, appelé « grèze » ou « groize ».

Photo de poches de cryoturbation



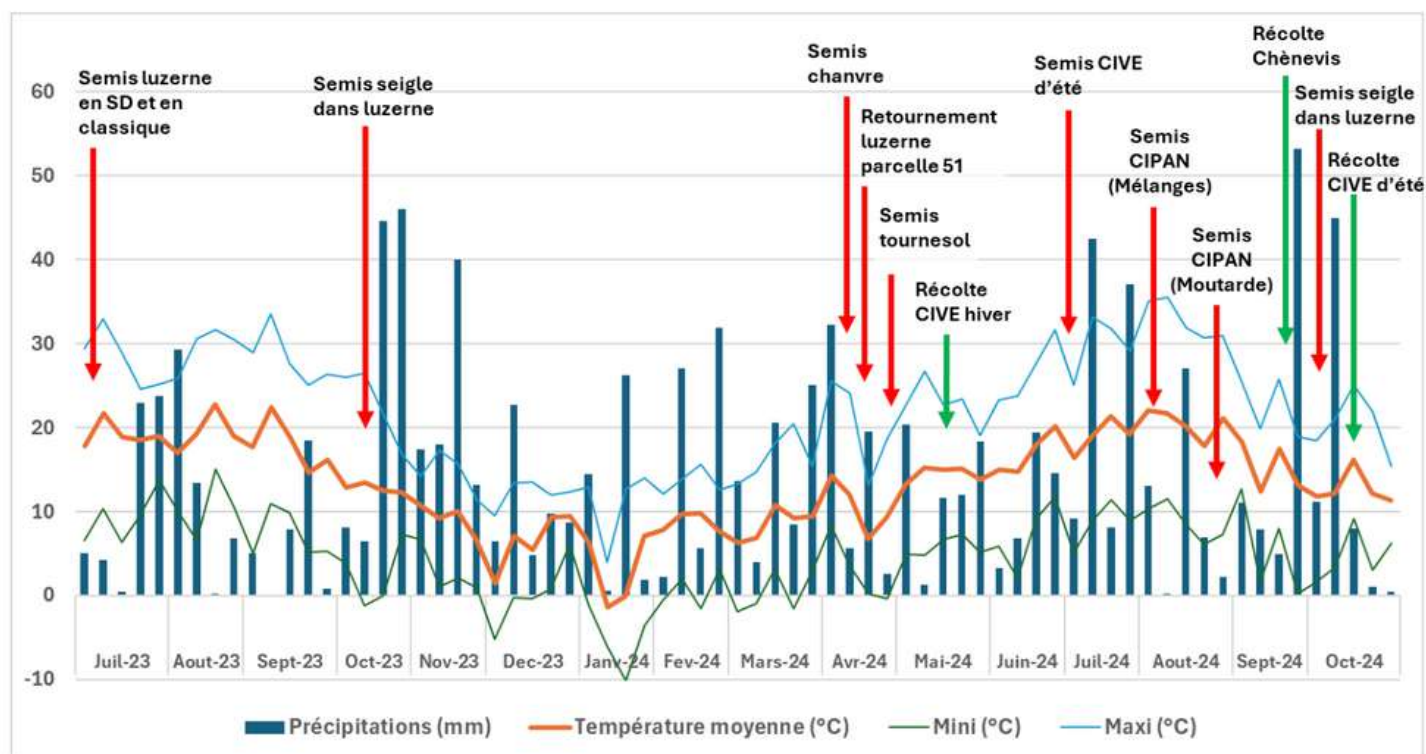
Photo vue du ciel de la ferme expérimentale Terrasolis

Carnet de campagne 2024

Rédaction : Clément WARNIER

Bilan campagne 2024

La campagne 2024 a été particulièrement difficile à l'instar de l'ensemble du territoire. Les fortes pluviométries et le manque d'ensoleillement ont pénalisé bon nombre de cultures.



Pluie et température moyenne campagne 2023-2024 – Principaux évènements

2024 est également la dernière campagne des systèmes de culture de la période 2016-2024. De manière générale, les rendements en céréales sont bien meilleurs que la moyenne locale, mais restent en dessous des objectifs.

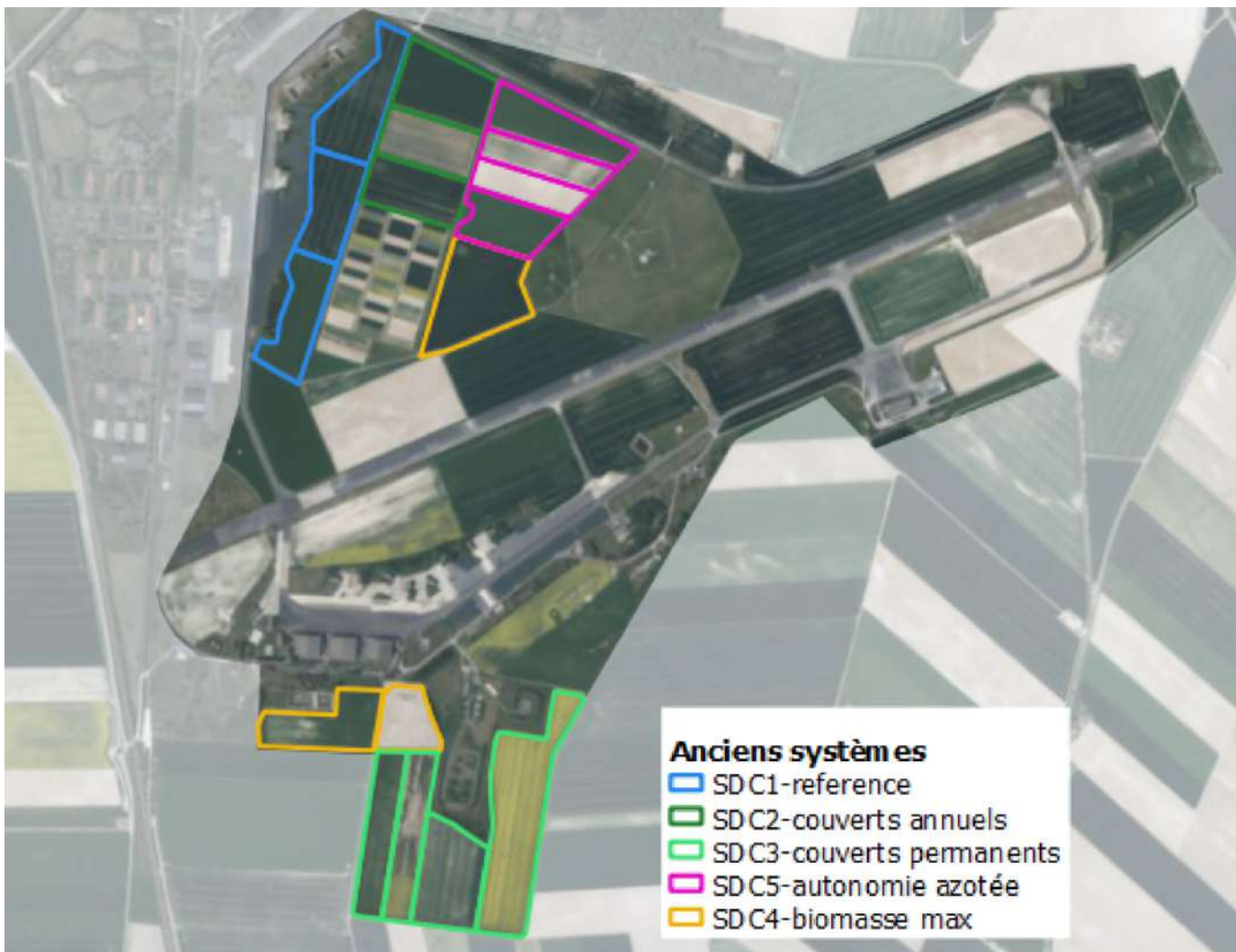
En revanche, les résultats sont décevants en betterave et en colza. Il n'y a pas de différences significatives entre les systèmes de culture. Les couverts d'interculture ont produit des biomasses entre 2 et 4t/ha.

Carnet de campagne 2024

Rendements des systèmes de culture

2024 (Rendements en T/ha)									
	Blé tendre		Orge d'hiver		Orge de printemps		Colza		Betterave
Moyenne locale	5,8		6		5,4		3,3		89
FERME 112	7,2	▲ 24%	6,5	▲ 8%	6,0	▲ 11%	2,7	▼ -18%	76
SDC1-reference	8,2	▲ 42%							
SDC2-couverts annuels	7,6	▲ 31%							
SDC3-couverts permanents	8,3	▲ 43%			7,0	▲ 30%			60
SDC4-biomasse max			7,6	▲ 27%					75
SDC5-autonomie azotée	8,5	▲ 47%			5,9	▲ 9%			

Tableau des rendements par système de culture comparé à la moyenne locale (Source OGEA)



Systèmes de culture 2016-2024

Carnet de campagne 2024

Faits marquants de la campagne :



Luzerne :

Les rendements sont très bons hormis une seule parcelle. Les bons rendements ont été obtenus grâce à un semis direct avec le semoir Gaspardo à disque. La parcelle dont le rendement est significativement plus faible a été semée à la suite d'un labour.

Une parcelle de luzerne a été détruite, car son implantation n'a pas réussi dû à un retour trop rapide de la luzerne dans la rotation. En effet, la luzerne précédente a été détruite en 2022. Ce retour après un an est lié à la refonte des rotations de la ferme. La luzerne a été remplacée par du tournesol. La fréquence élevée de la luzerne dans la rotation est un défi majeur pour les systèmes cherchant à minimiser les apports d'azote.



Rendement luzernes 2024

Carnet de campagne 2024

Faits marquants de la campagne :



Betteraves :

La moyenne des betteraves est de 76T. À noter qu'une parcelle dépasse largement les 100T. Plusieurs facteurs peuvent expliquer ces différences: Des dégâts d'oiseaux ainsi que l'usage de variétés CONVISO sur des parcelles très infestées. En effet, lorsque la base aérienne était en fonctionnement, la fréquence élevée de la betterave dans les rotations a favorisé l'enherbement .



Rendement betteraves 2024

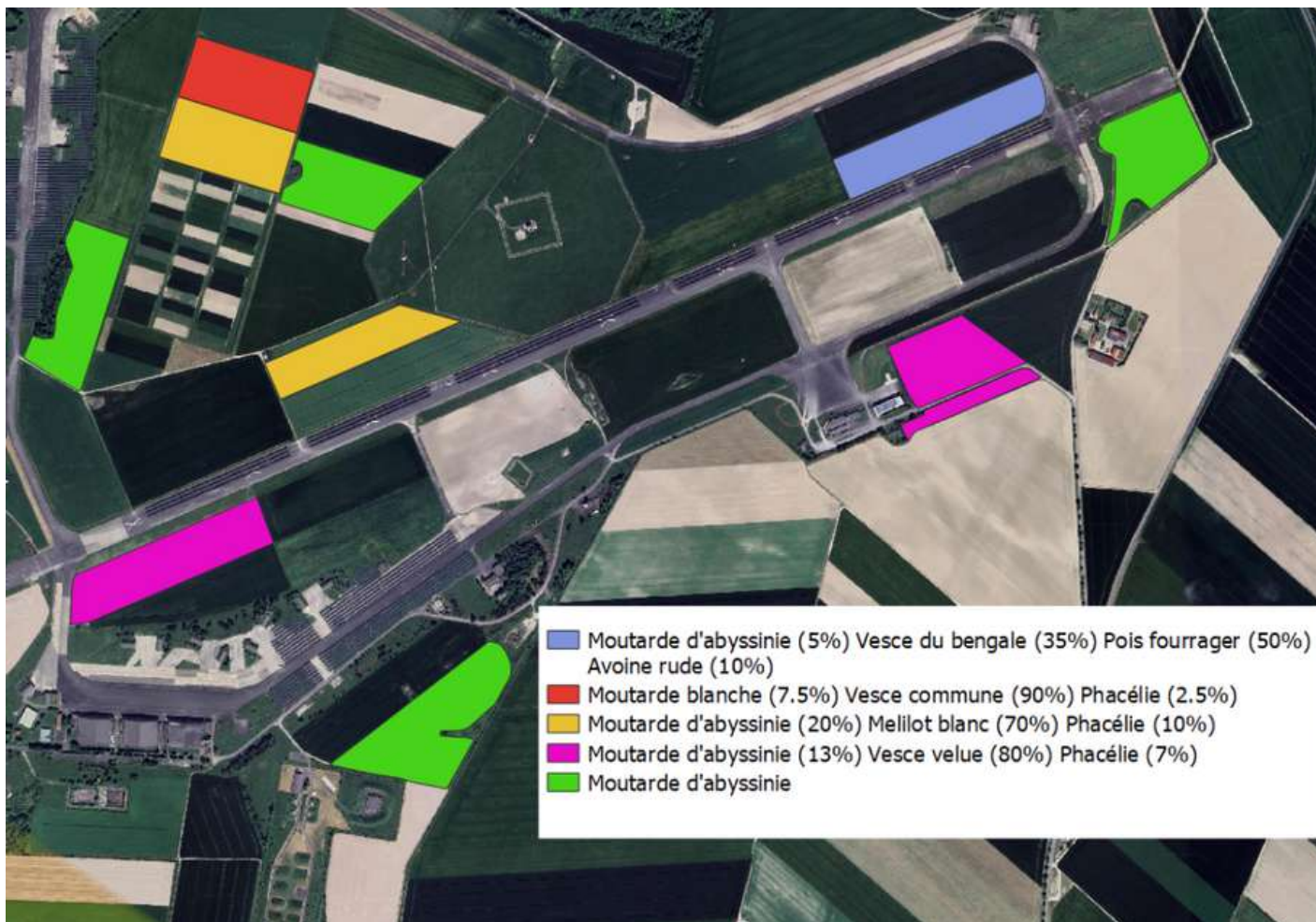


Tournesol

Malgré les conditions difficiles, le tournesol a donné un rendement de 3.1T/ha contre 2.9T/ha pour la moyenne locale.

Carnet de campagne 2024

Couverts végétaux



Assolement couverts végétaux 2024

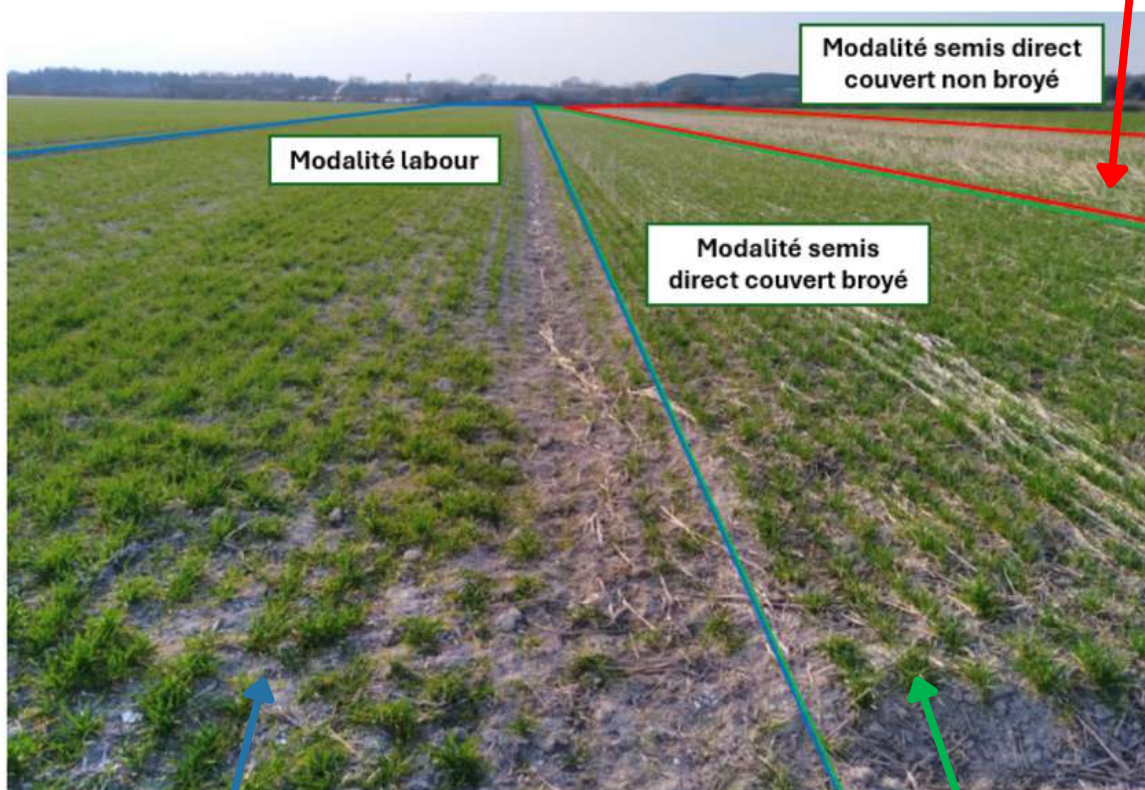
Choix variétaux et résultats:

- La moutarde d'Abyssinie est une variété très tardive, mais non nématicide. Elle a donné de très bons résultats.
- La moutarde blanche est une variété tardive et nématicide et a également donné de bons résultats.
- En revanche, le mélilot s'est montré peu performant.

Carnet de campagne 2024

Semis blé dans le couvert d'interculture

Un semis direct de blé a été réalisé dans le mélange moutarde blanche, vesce commune et phacélie. Le résultat est très satisfaisant.



Nouvelle démarche expérimentale FERME 112

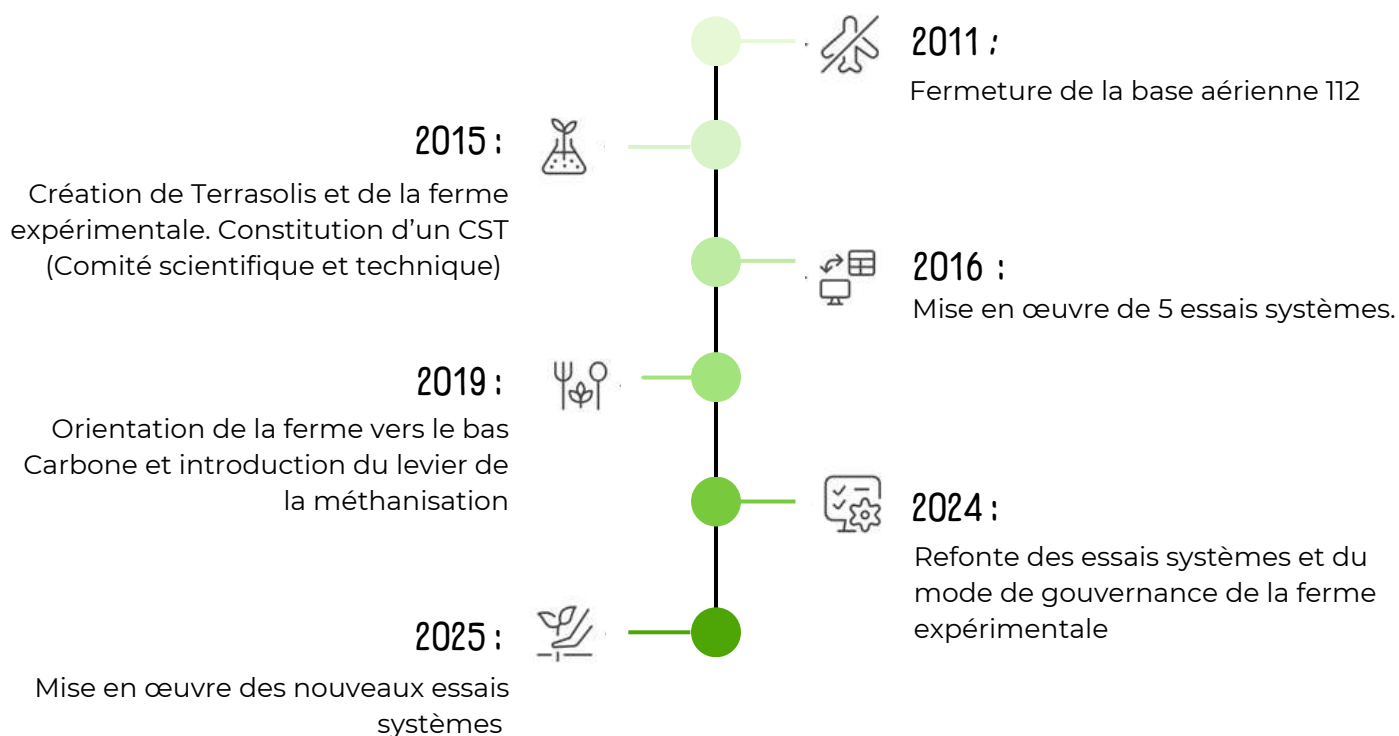
Rédaction : Clément WARNIER

Historique de la ferme expérimentale

Les premiers systèmes de culture ont permis d'évaluer les forces et les faiblesses de différentes pratiques selon une analyse multicritère. La plupart des systèmes répondent à des problématiques spécifiques, mais ne permettent pas d'atteindre un équilibre entre la rentabilité économique et la durabilité. Ces essais ont néanmoins permis de tirer de nombreux enseignements.



Photo vue du ciel de la ferme Terrasolis



Nouvelle démarche expérimentale FERME 112

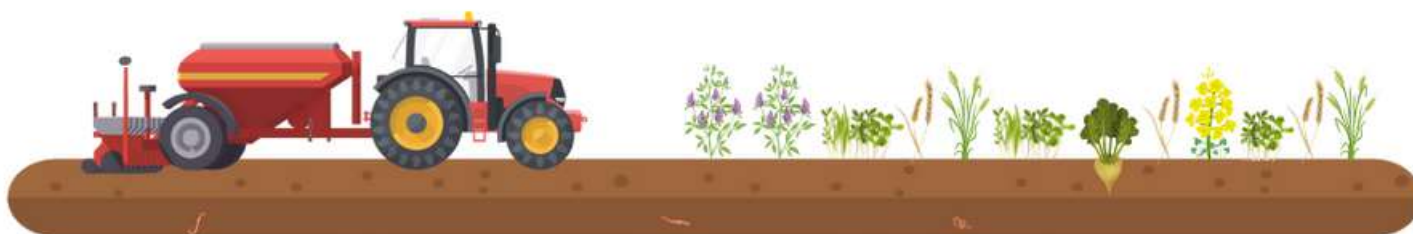
Premiers systèmes de culture et enseignements

Système de référence (SDC1) :



Ce système est adapté au contexte champenois d'un point de vue économique, mais fortement émetteur de gaz à effet de serre et dépendant de l'azote minéral. De plus, il est déstocké du Carbone par rapport à son état initial. Il a donc servi de référence pour mesurer la performance des autres systèmes.

Système TCS et couverts (SDC2) :



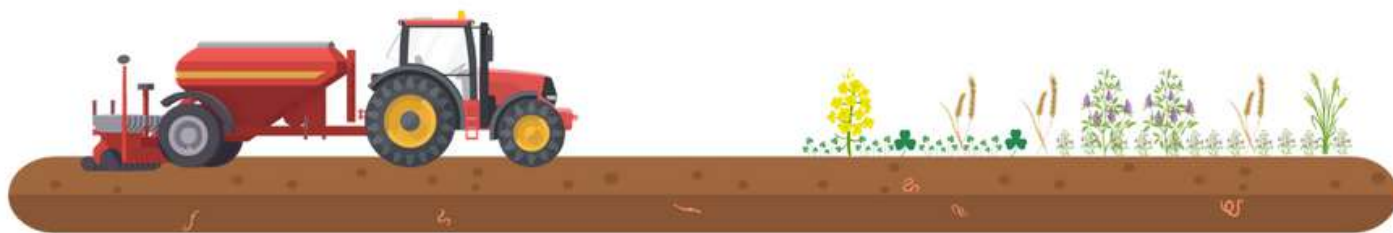
Ce système est adapté aux terres de craie et améliore le système de référence par la réduction du travail du sol et des couverts d'interculture. Il est également fortement émetteur de gaz à effet de serre et dépendant de l'azote minéral. Il permet cependant un léger stockage de Carbone dans les sols et améliore ainsi significativement son bilan Carbone.



Principales innovations: Semis de betterave en striptill pour diminuer les charges de mécanisation et colza associé avec une légumineuse pour baisser l'IFT tout en apportant de l'azote pour la culture suivante.

Nouvelle démarche expérimentale FERME 112

Système couvert permanent (SDC3) :



Le système sous couvert permanent obtient la meilleure performance en termes de stockage de Carbone dans les sols. Il présente par ailleurs une forte activité biologique. Bien qu'il réduise de 40% les charges de mécanisation par rapport au système de référence il s'est révélé peu rentable économiquement sur notre ferme. En effet, ce système demande une grande technicité et un temps de transition important. Il présente un niveau de risque élevé.



Principales innovations: Semis de colza et de blé sous couvert semi-permanent de trèfle pour apporter de l'azote au blé et minimiser les charges de mécanisation. Semis direct de blé ou d'orge de printemps sous couvert de luzerne.

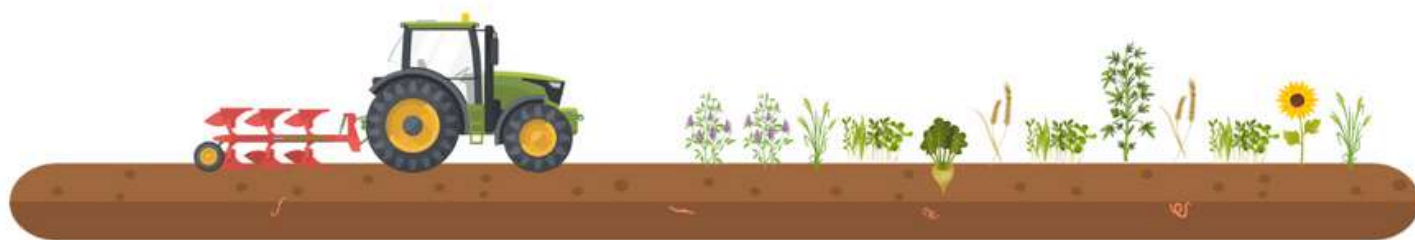
Système biomasse maximum (SDC4) :



Ce système est très consommateur d'énergie et émetteur de gaz à effet de serre. La compensation des exportations n'est viable qu'avec une biomasse de couvert de 4 tonnes/ha minimum.

Nouvelle démarche expérimentale FERME 112

Système autonomie azotée (SDC5) :



Ce système présente les meilleurs résultats en termes d'émissions de gaz à effet de serre. Ce résultat est contrebalancé par un déstockage de Carbone dans le sol.



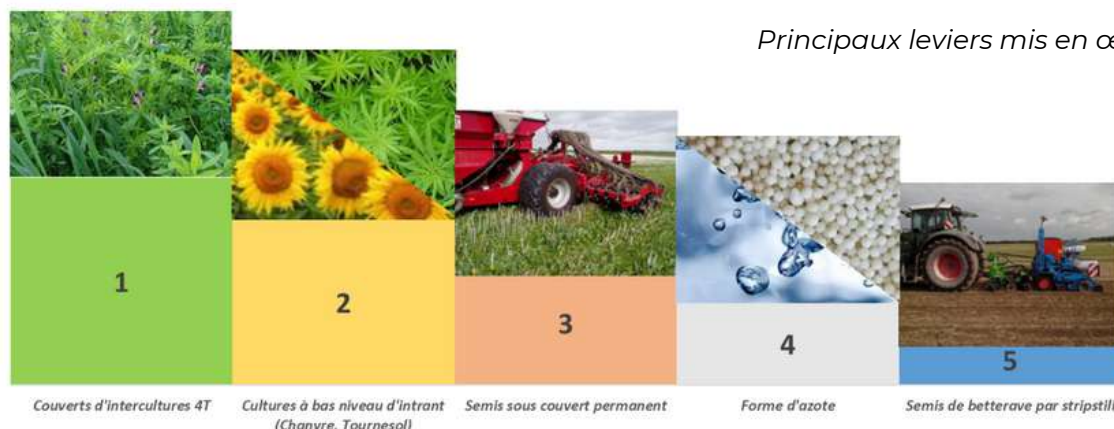
Principales innovations: Orge de printemps avec précédent luzerne pour optimiser la restitution d'azote. Introduction du chanvre en tant que culture à bas niveau d'intrant.

Pour plus de détails, référez-vous au **rapport agronomique 2023**



Les résultats de ces premiers essais ont permis de mettre en évidence des leviers techniquement accessibles et économiquement viables qui pourront être utilisés dans les nouveaux essais systèmes.

Principaux enseignements



Certains leviers n'ont pas été retenus, car les résultats n'ont pas été satisfaisants. Ils pourraient néanmoins faire l'objet de nouvelles expérimentations à l'avenir: Relay cropping, Double culture

Pour plus de détails, référez-vous au **rapport agronomique 2021**



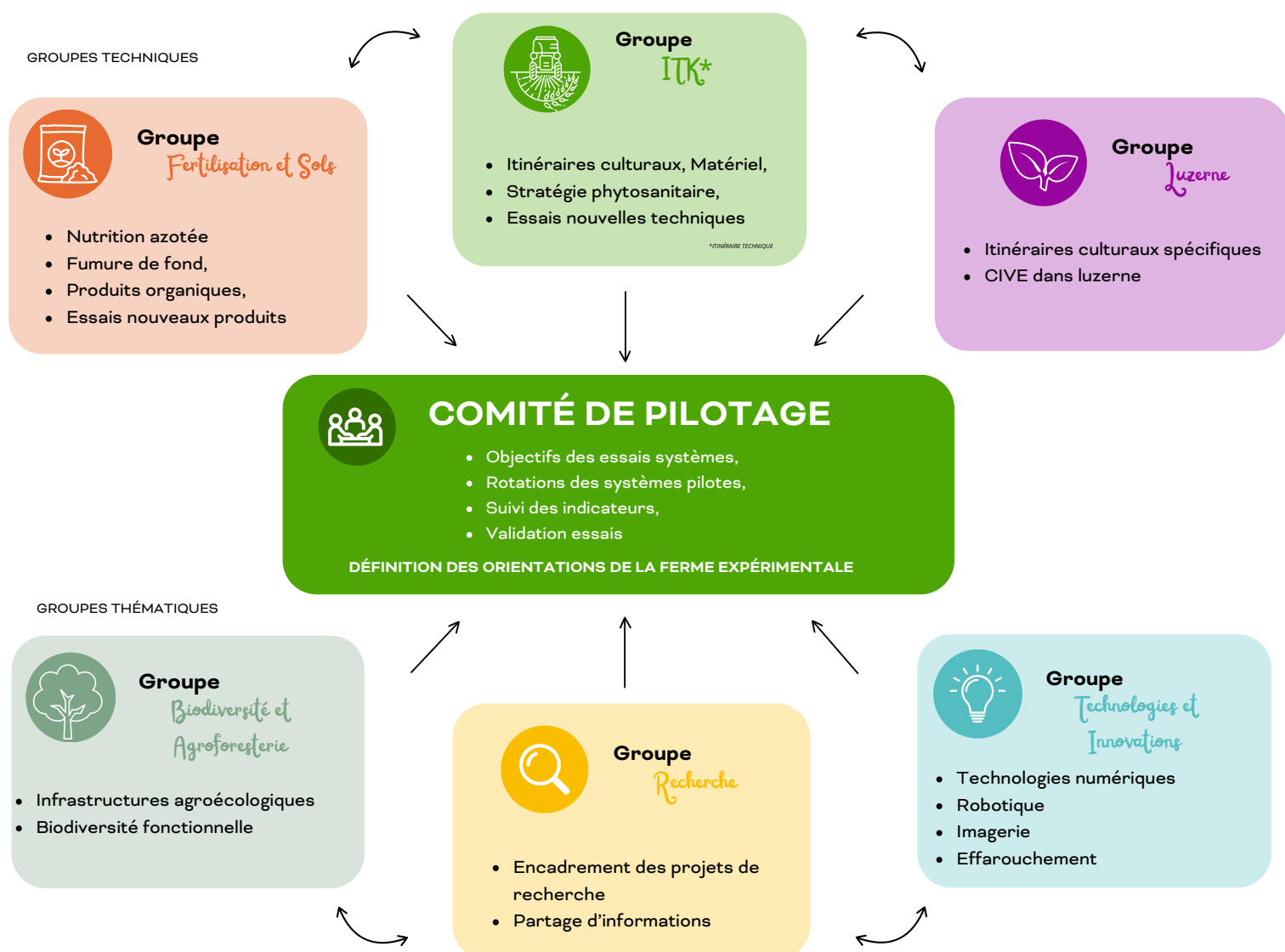
Nouvelle démarche expérimentale FERME 112

Conception des nouveaux essais systèmes :

Après avoir exploré des systèmes répondant à des objectifs très spécifiques lors de la première phase du projet, Terrasolis a souhaité prendre du recul et revoir les objectifs de la ferme afin d'apporter des réponses concrètes à l'agriculture du territoire. La stratégie bas-Carbone définit des objectifs pour l'agriculture à l'horizon 2030 et 2050 :

- Diminution des émissions de -20% en 2030 et 50% en 2050. (Objectifs de la SNBC)
- Répondre à un besoin croissant de biomasse pour répondre aux enjeux de souveraineté alimentaire, de production d'énergie, de biomatériaux et de stockage de Carbone dans les sols.

Pour répondre à ces deux objectifs, Terrasolis a mis en place une nouvelle gouvernance dynamique impliquant plus fortement ses adhérents. La ferme expérimentale Terrasolis a pour ambition de devenir un outil encore plus collaboratif destiné à produire des enseignements pour ses adhérents en les impliquant dans la prise de décision et le pilotage de la ferme.



Nouvelle démarche expérimentale FERME 112

En 2024, le comité de pilotage s'est réuni à trois reprises pour proposer des rotations répondant aux objectifs et pour choisir les indicateurs de performance.

Le comité de pilotage a retenu trois principaux leviers:

1. *Tendre vers l'autonomie azotée à l'aide des légumineuses.*
2. *Boucler le cycle de l'azote par le retour des digestats de méthanisation.*
3. *Maximiser la photosynthèse pour séquestrer du Carbone.*

Le comité de pilotage a décliné ces leviers sous forme de trois systèmes de cultures:

1. *Un système pilote basé sur une trajectoire d'autonomie azotée.*
2. *Un système pilote basé sur la méthanisation.*
3. *Un système de démonstration. Ce système aura pour objectif de tirer le meilleur parti des deux systèmes pilotes. Ce système en amélioration continue est une démarche pas à pas qui vise à mettre au point le système le plus optimisé par rapport à des objectifs de rentabilité économique et de bilan Carbone. Il servira de démonstrateur.*

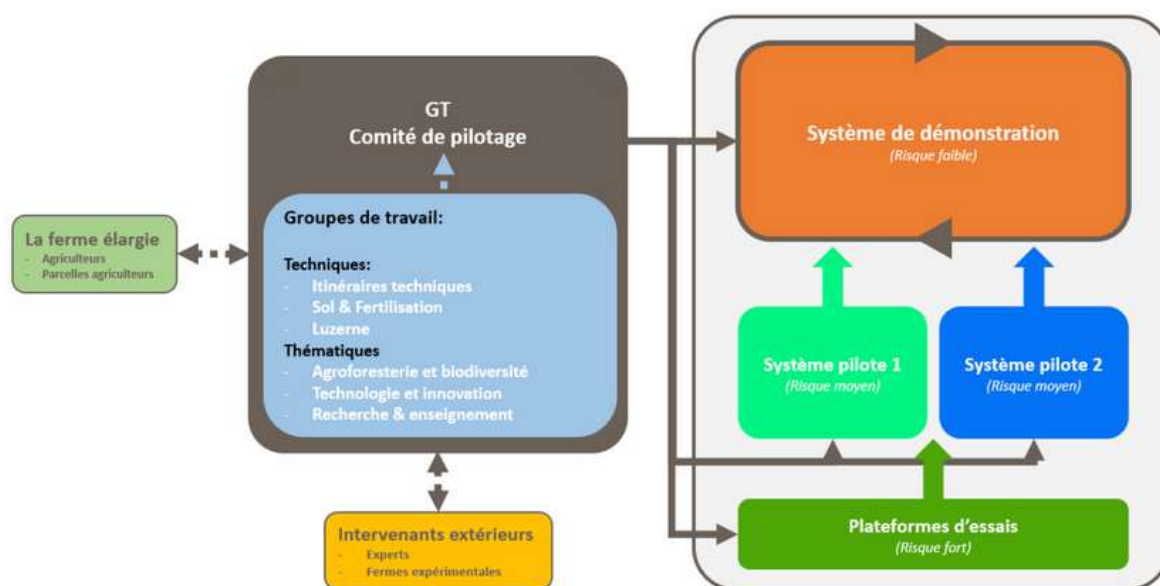


Schéma de fonctionnement de la nouvelle ferme expérimentale collaborative

Les rotations des systèmes pilotes proposées par le comité de pilotage suivent les recommandations émises par l'IDDRI et AGROSOLUTION dans le cadre de la phase de maturation du projet CarbonThink 2. Ces rotations présentent un niveau de risque modéré dans la mesure où ils mettent œuvre des techniques innovantes déjà éprouvées et s'inscrivent dans des filières locales.

Rapport IDDRI

IDDRI

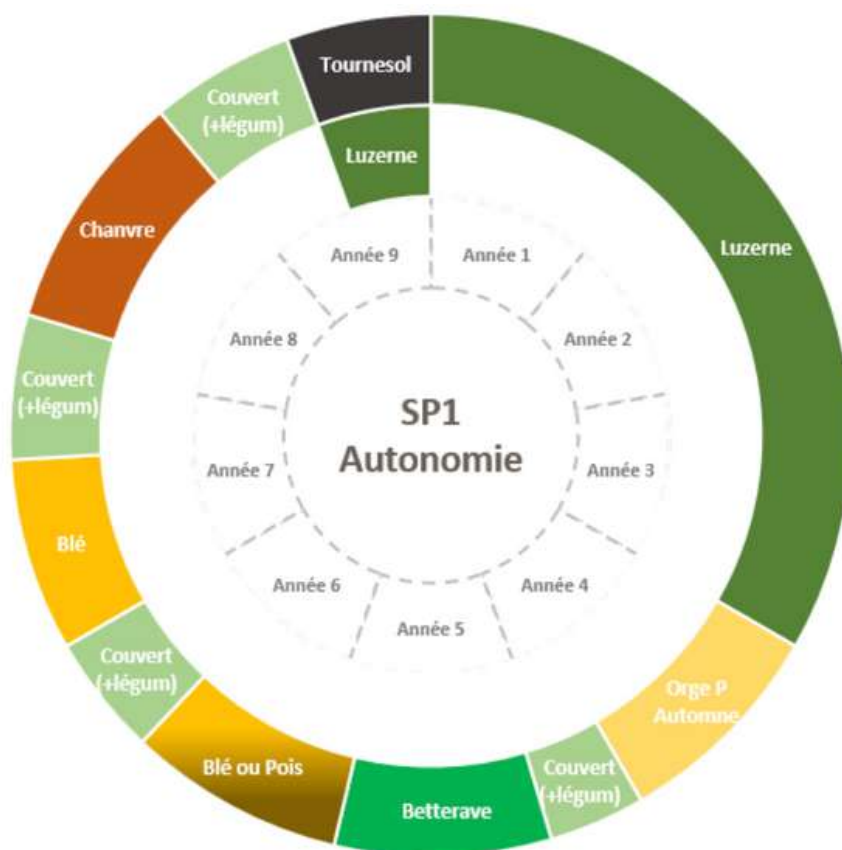
agrosolutions

Le système de démonstration en amélioration continue présente un niveau de risque faible, car il est basé sur une rotation classique du territoire et bénéficiera des résultats des systèmes pilotes.

Nouvelle démarche expérimentale FERME 112

Les nouvelles rotations

Système pilote N°1: Autonomie azotée

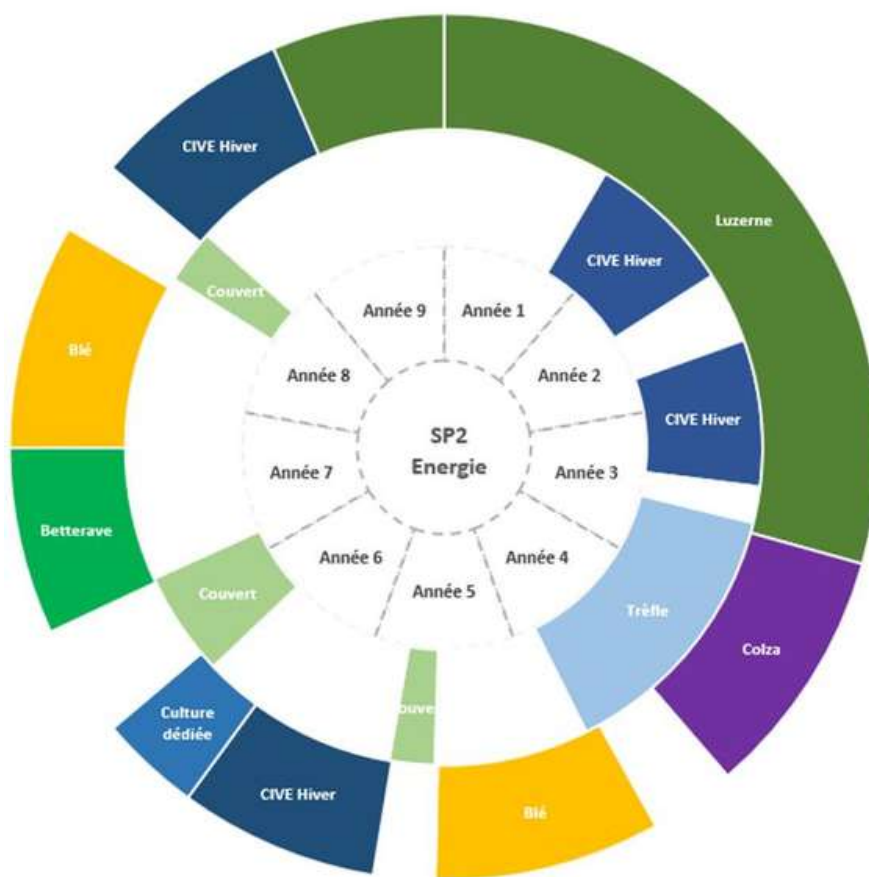


Le 1er système pilote vise l'autonomie azotée pour répondre à l'objectif bas-Carbone. Sa rotation consiste à maximiser la présence de légumineuses et d'intercultures pour réduire les émissions de GES par la réduction de l'usage d'azote minéral et un retour au sol direct. Elle a aussi, en conséquence de la forte présence de légumineuses, pour objectif de limiter la perte d'azote produite par la rotation. Cette rotation de 9 ans est constituée des cultures suivantes :

- 2 cultures de légumineuses constituées d'une luzerne de trois ans et d'un pois opportuniste qui pourra être remplacé par un blé selon les conditions d'arrachage de la betterave précédente.
- 2 cultures à faible besoin en azote que sont le chanvre et le tournesol.
- L'orge de printemps semée en automne sélectionnée comme culture d'adaptation au changement climatique.
- Les cultures de blé, d'orge et de betterave conservées comme culture représentatives de l'agro-industrie locale.

Nouvelle démarche expérimentale FERME 112

Système pilote n°2: Energie

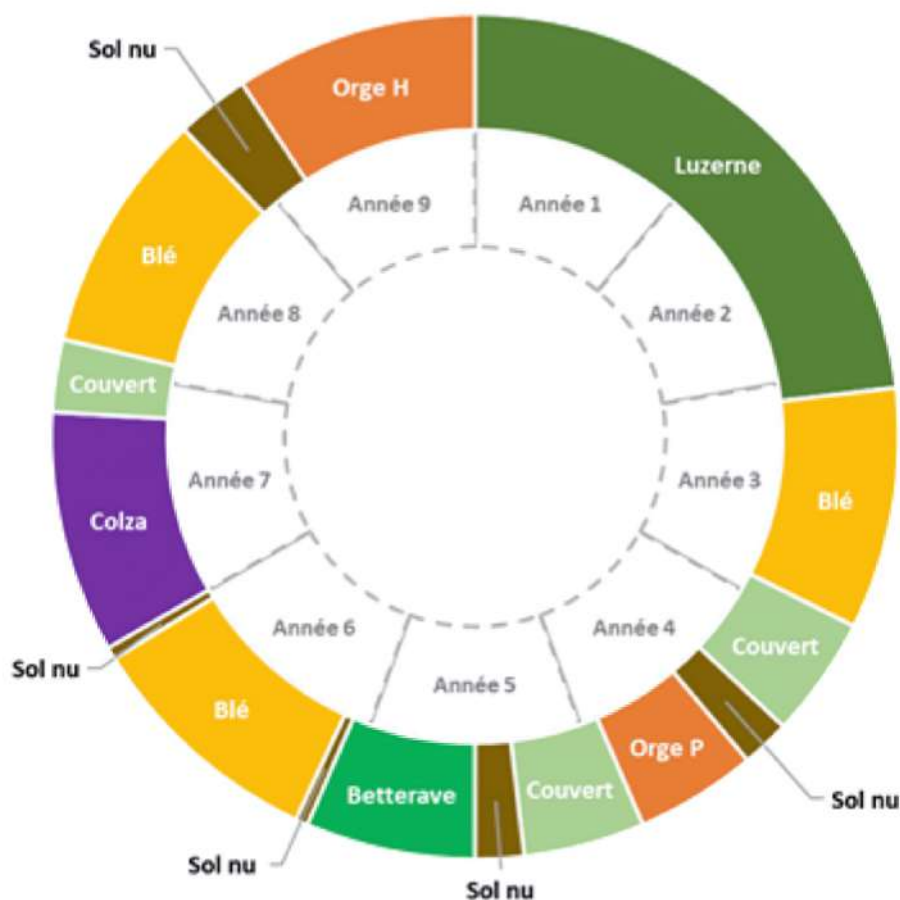


Le 2^e système pilote utilise le levier de la méthanisation pour répondre à l'objectif bas-Carbone. Sa rotation a pour but de maximiser la production de biomasse pour la production d'énergie afin d'alimenter le levier de la méthanisation. Elle a pour conséquence la production de digestats permettant la réduction de l'usage d'azote minéral par son épandage au champ. Cette rotation de 9 ans est constituée des cultures suivantes :

- 4 CIVE d'hiver dont 2 implantées dans la luzerne. Cela implique que les premières coupes de luzerne ne sont pas valorisées en déshydratation, mais en méthanisation. Elle comprend aussi une culture dédiée à la méthanisation derrière une CIVE d'hiver.
- 1 luzerne de 3 ans pour limiter l'usage d'azote minéral.
- 1 colza associé avec du trèfle afin de capter l'azote libéré au moment de la destruction de la luzerne. Le trèfle semé en automne deviendra un couvert au moment de la moisson du colza.
- Les cultures de blé, d'orge, de colza et de betterave conservées comme culture représentatives de l'agro-industrie locale.
- Des couverts d'interculture maximisés

Nouvelle démarche expérimentale FERME 112

Système de démonstration : Bas-Carbone



Ce système a pour objectif de montrer la transition d'un système courant de champagne crayeuse vers un système plus performant et plus durable en termes d'émissions de GES et de production de biomasse tout en conservant la rentabilité initiale. Cette rotation en amélioration continue sera révisée chaque année par le comité de pilotage et bénéficiera des enseignements des deux systèmes pilotes.

Cette rotation de 9 ans est constituée des cultures suivantes :



2 cultures d'industrie : betterave, colza



1 luzerne de 2 ans destinée à la déshydratation



2 cultures de céréales : blé, orge



Des couverts d'interculture réglementaires (CIPAN)

Nouvelle démarche expérimentale FERME 112

Evaluation du potentiel de réduction des gaz à effet de serre

Les nouveaux systèmes ont fait l'objet d'une évaluation à priori de leur bilan Carbone pour s'assurer qu'ils répondent bien aux objectifs fixés. Pour ce faire, nous avons utilisé une calculatrice simplifiée. Plusieurs postulats ont été pris pour réaliser ces évaluations :

- Rendements objectifs légèrement supérieurs à la moyenne locale
- Biomasse des couverts végétaux basés sur les moyennes de production de la ferme 112
- Apports exogènes de fiente pour le système autonomie azotée

Année	Culture	Rendement (T/ha)	Résidus	Interculture	Biomasse (T/ha)	Produit organique	Quantité (T/ha)
1	Luzerne	9,5	Exportés				
2	Luzerne	11,5	Exportés				
3	Luzerne	10,5	Exportés				
4	Orge de printemps	7,5	Enfouis				
5	Betterave	90	Enfouis	Mélange + leg	2,5	Fiente	3
6	Pois d'hiver	4,5	Enfouis				
7	Blé d'hiver	9	Enfouis	Mélange + leg	1,5		
8	Chanvre paille	10	Exportés	Mélange + leg	2,5		
	Chanvre chenevi	1,5				Fiente	3
9	Tournesol	3	Enfouis	Mélange + leg	2,5	Fiente	3

Paramètres d'entrée de la simulation du système autonomie azotée

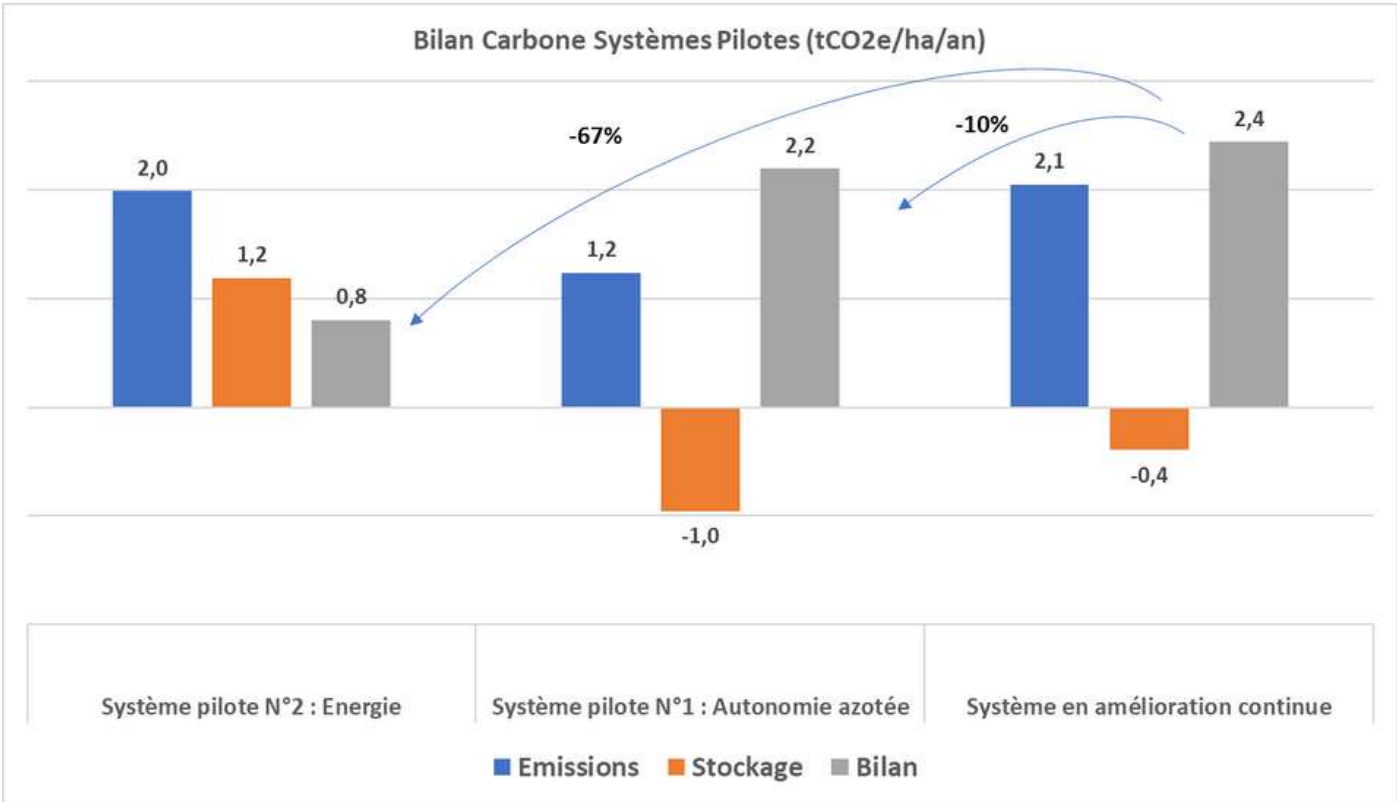
Année	Culture	Rendement (T/ha)	Résidus	Interculture	Biomasse (T/ha)	Produit organique	Quantité (T/ha)
1	Luzerne	9,5	Exportés				
2	Luzerne	7	Exportés			Digestat	25
	Luzerne + CIVE d'hiver	10					
3	Luzerne	7	Exportés			Digestat	25
	Luzerne + CIVE d'hiver	10					
4	Colza	3,5	Enfouis			Digestat	25
5	Blé d'hiver	9	Enfouis	Trèfle	1,5		
6	CIVE d'hiver + CIVE d'été	16,5	Exportés	Mélange + leg	1,5	Digestat	30
7	Betterave	90	Enfouis	Sorgho	1,5		
8	Blé d'hiver	9	Enfouis			Digestat	30
9	CIVE d'hiver	7,5	Exportés	Mélange + leg	1,5		

Paramètres d'entrée de la simulation du système énergie

Nouvelle démarche expérimentale FERME 112

Année	Culture	Rendement (T/ha)	Résidus	CIPAN	Biomasse (T/ha)	Produit organique	Quantité (T/ha)
1	Luzerne	9,5	Exportés				
2	Luzerne	11,5	Exportés				
3	Blé d'hiver	9	Enfouis				
4	Orge de printemps	7,5	Enfouis	Moutarde	1,5		
5	Betterave	90	Enfouis	Moutarde	1,5	Vinasse	3,5
6	Blé d'hiver	9	Enfouis				
7	Colza	3,5	Enfouis	Repousses	1,5		
8	Blé d'hiver	9	Enfouis				
9	Orge d'hiver	9	Enfouis				

Paramètres d'entrée de la simulation du système de référence

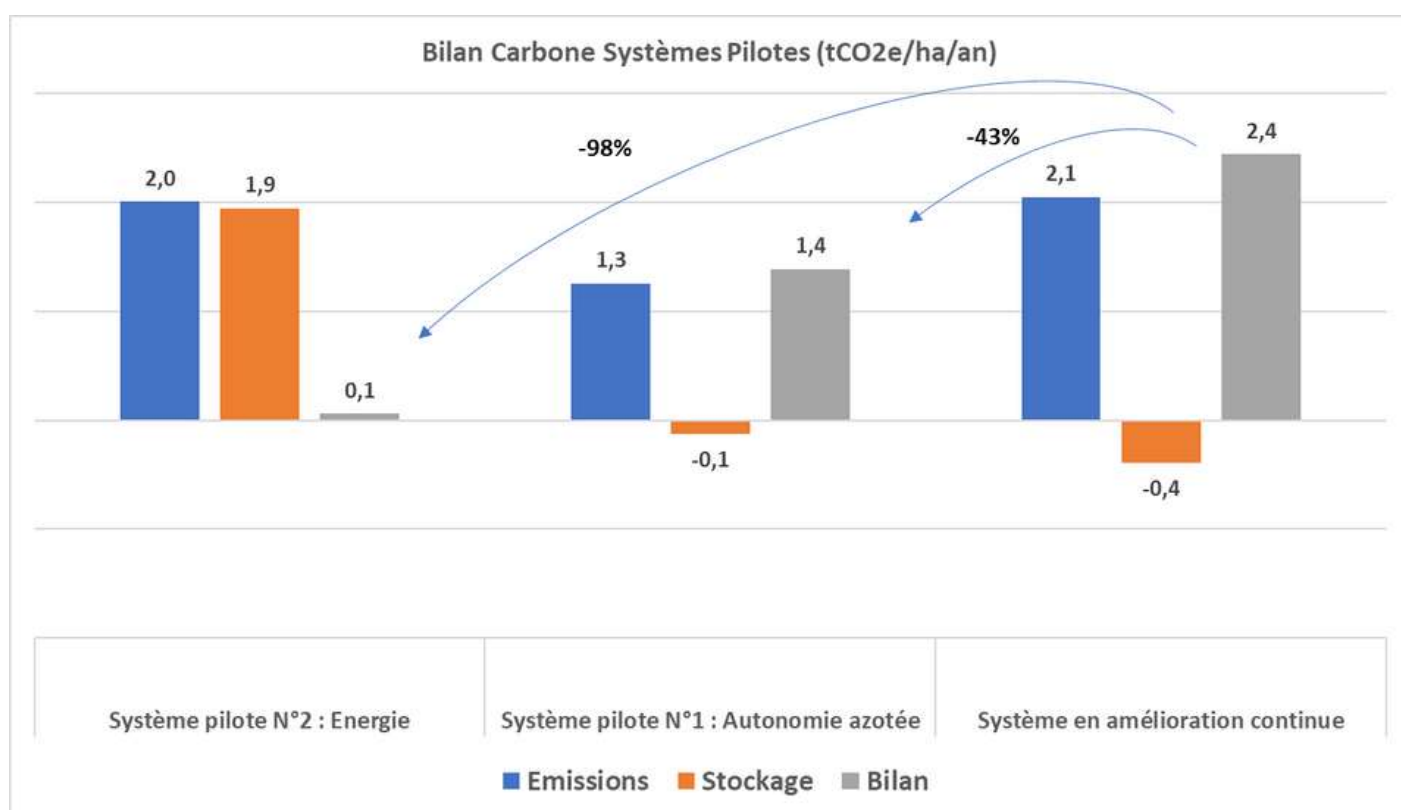


Bilans Carbone simplifiés des nouveaux systèmes

Nouvelle démarche expérimentale FERME 112

- Le bilan Carbone du système en démonstration continue, basé sur un système courant de champagne crayeuse, est de l'ordre de 2.4TeqCO₂/ha/an.
- Le système pilote autonomie azoté permet de réduire drastiquement les émissions. Cependant, il déstocke légèrement du Carbone des sols. Son bilan est de l'ordre de 2.2TeqCO₂/ha/an soit 10% inférieur au système de référence.
- Le système pilote N°2 ne réduit pas significativement les émissions, mais permet de stocker jusqu'à 1TeqCO₂/ha/an. En résulte un bilan Carbone de 0.8TeqCO₂/ha/an. Son bilan est de 63% inférieur au système de référence.

Pour des couverts d'interculture passant à 4T/ha, il y a une nette amélioration du bilan des systèmes pilotes.



Bilans Carbones simplifiés a priori des nouveaux systèmes

Ces chiffres seront étudiés plus finement en 2025 avec des calculateurs de bilan Carbone plus élaborés.

Nouvelle démarche expérimentale FERME 112

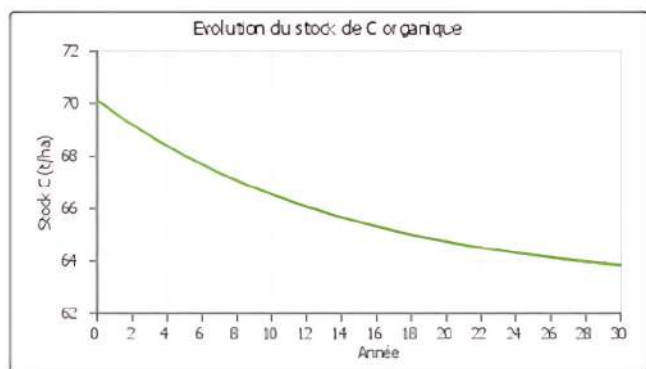
Evaluation de la pertinence des nouveaux systèmes d'un point de vue du stockage de Carbone dans les sols par la méthode SIMEOS AMG:

SIMEOS-AMG est un outil de simulation de l'évolution de l'état organique des sols (Teneurs et stocks de Carbone organique) fondé sur le modèle de bilan humique AMG et mis en ligne pour la 1ère fois en 2012. Publié en 1999 par INRAE, le modèle AMG est maintenu et amélioré depuis 2012 dans le cadre du Consortium AMG qui associe Inrae, Agro-Transfert-RT, Avalis, le LDAR et collabore depuis 2016 avec Terres Inovia.



Simulation du stock de Carbone organique sur 30 ans

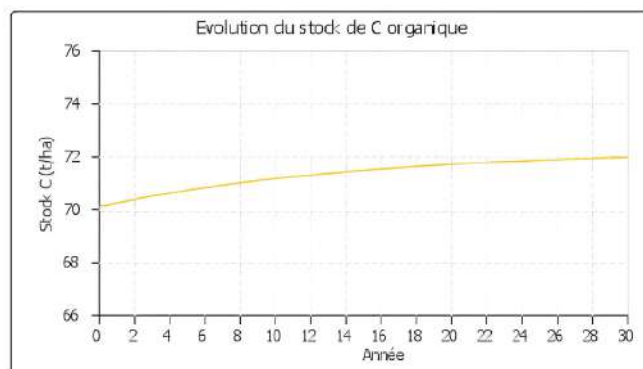
Système pilote N°1 : Autonomie azotée



Le système autonomie azoté tel que proposé entraîne un déstockage de Carbone dans les sols. (Potentiellement moindre que le scénario de référence). Les tonnages d'intercultures sont assez faibles et doivent être augmentés pour que ce système soit pertinent. À noter que cette simulation fait appel à des produits exogènes au système (fientes) en quantité limitée. Les objectifs de rendement sont réalistes, mais représentent un potentiel élevé et non la moyenne olympique.

Le principal défi de ce système pilote va être de produire un maximum de biomasse avec moins d'engrais minéraux.

Système pilote n°2 : Énergie



Le système permet une augmentation du stockage de Carbone dans les sols.

Ce système est donc pertinent d'un point de vue stockage de Carbone, mais comme vu précédemment, le principal va être d'optimiser au mieux les apports d'azote minéral et organique (digestats).

Nouvelle démarche expérimentale FERME 112

Parcellaire de la ferme expérimentale

Le parcellaire de la ferme expérimentale a doublé par rapport aux premiers systèmes de culture, passant de **75 ha à 151 ha**.



Anciens systèmes

Nouveaux systèmes

Deux biais importants ont été corrigés grâce à la refonte du parcellaire des essais systèmes : les aléas météorologiques et les variations pédologiques. En effet, les anciens systèmes pouvaient présenter des résultats biaisés en cas d'année exceptionnelle (sécheresse, tempête, ravageurs...). Certains systèmes ont été défavorisés, d'autres avantagés. Dorénavant, les trois systèmes ont au moins autant de parcelles que de cultures dans la rotation.

Les systèmes de culture pilotes 1 et 2 sont chacun constitués de 9 parcelles, correspondant aux 9 cultures de la rotation.

Ces parcelles sont équitablement réparties sur les différents secteurs de la ferme afin de gommer les différences pédologiques. Les profils de sol réalisés en 2015 et la carte de la résistivité des parcelles réalisée en 2024 témoignent d'une certaine hétérogénéité de la ferme dont il faut tenir compte.

NB: La résistivité consiste à faire passer un courant électrique dans le sol pour mesurer la résistance. La résistance au passage du courant résulte de la texture du sol et de sa profondeur. On peut en déduire le potentiel agronomique et la réserve utile. Une faible résistivité témoigne d'un sol homogène et profond, favorable à un bon enracinement et présentant une réserve utile importante. À l'inverse, une forte résistivité est caractéristique d'un sol plus perturbé, moins profond et présentant une réserve utile plus faible.

Nouvelle démarche expérimentale FERME 112



Mesure de la résistivité par Geocarta en 2024



Carte de résistivité de 2024 et profils de sols effectués en 2015

Nouvelle démarche expérimentale FERME 112

Essais plateforme:

En parallèle des essais systèmes qui visent à valider une rotation sur le long terme, il sera possible de réaliser des essais plateforme en bande (largeur de pulvérisateur) afin de tester différentes itinéraires techniques, intrants ou cultures innovants en minimisant la prise de risque. La largeur des essais en bande permet néanmoins de travailler en conditions «agriculteur» sans avoir recours à du matériel d'essai spécifique.

Ces essais plateforme sont réalisés en partenariat avec au moins un adhérent Terrasolis et sont situés sur la ferme expérimentale ou à l'extérieur si cette plateforme est réalisée avec un agriculteur partenaire. Chaque essai fait l'objet d'un protocole rigoureux établi conjointement avec le ou les adhérents partenaires et mis en œuvre par les agriculteurs de la ferme expérimentale.

Plusieurs essais plateforme sont déjà mis en œuvre et seront détaillés dans les prochains chapitres:

- Essais CIVE d'hiver dans la luzerne
- Observatoire de la nutrition azotée du blé par la méthode Appi-N
- Essais diminution de la fertilisation par l'apport de phosphore sur blé
- Mesure de l'impact de la fertilisation du colza à l'automne
- Essai semis-direct de blé dans une CIPAN



Plateformes d'essai de la ferme expérimentale en 2025

La ferme expérimentale dispose de moyens pour réaliser la plupart des mesures nécessaires: préleveuse 4 horizons, balances de précision, étuves, mini batteuse. À terme ces installations seront accessibles à tous nos adhérents pour faciliter leurs travaux de recherche.

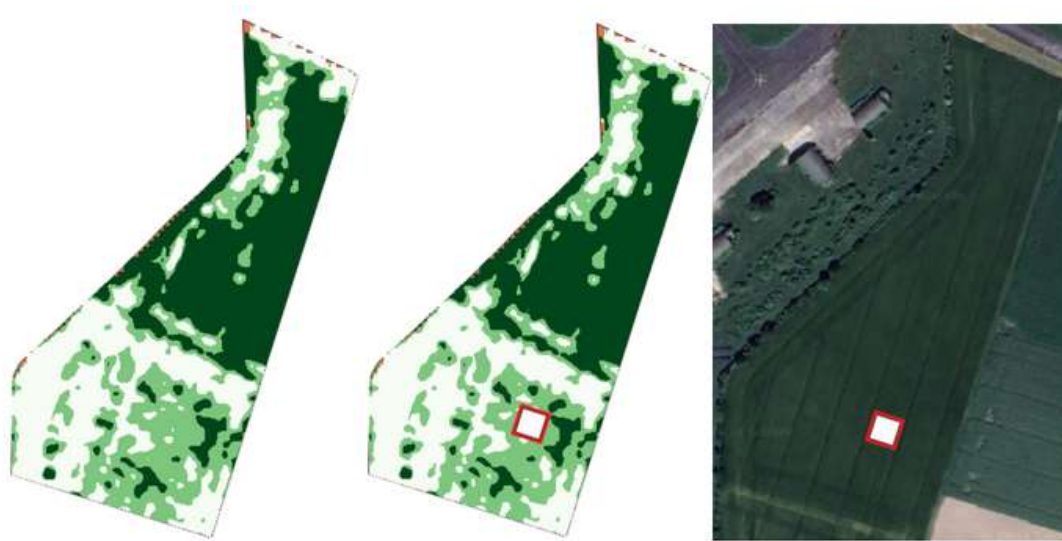
Nouvelle démarche expérimentale FERME 112

Indicateurs et mesures:

Zones de mesures :

Afin de suivre dans le temps l'évolution des paramètres physiques, chimiques et biologiques des parcelles des différents essais systèmes, le comité de pilotage a validé le principe des carrés de mesures. L'ensemble des indicateurs seront issus des analyses effectuées dans un carré de 20 mètres de côté (soit 400 m²) idéalement situés dans chaque parcelle des systèmes pilotes N°1 et N°2 ainsi que sur quelques parcelles de l'essai système N°3. La méthode pour positionner un carré de mesure consiste à identifier une zone où la résistivité médiane de la parcelle est la plus représentative. Cette zone doit être située entre deux passages de pulvérisateur et à une distance suffisante des bords de la parcelle pour permettre au tracteur d'être à sa vitesse de travail réel.

Dans les images ci-dessous, la résistivité moyenne est représentée par les zones vert clair:



Positionnement d'une zone de mesure d'un essai système

Cette zone géolocalisée permet de s'affranchir de l'hétérogénéité des parcelles et de faciliter les nombreux prélèvements nécessaires pour un suivi rigoureux des indicateurs.

Remarque: le principe de carré de mesure permet également d'utiliser les parcelles des essais systèmes pour réaliser des essais plateformes sans impacter la zone de mesure. Pour cela, il faut éviter de superposer la plateforme au carré de mesure. Le schéma suivant montre 3 exemples différents.

Nouvelle démarche expérimentale FERME 112

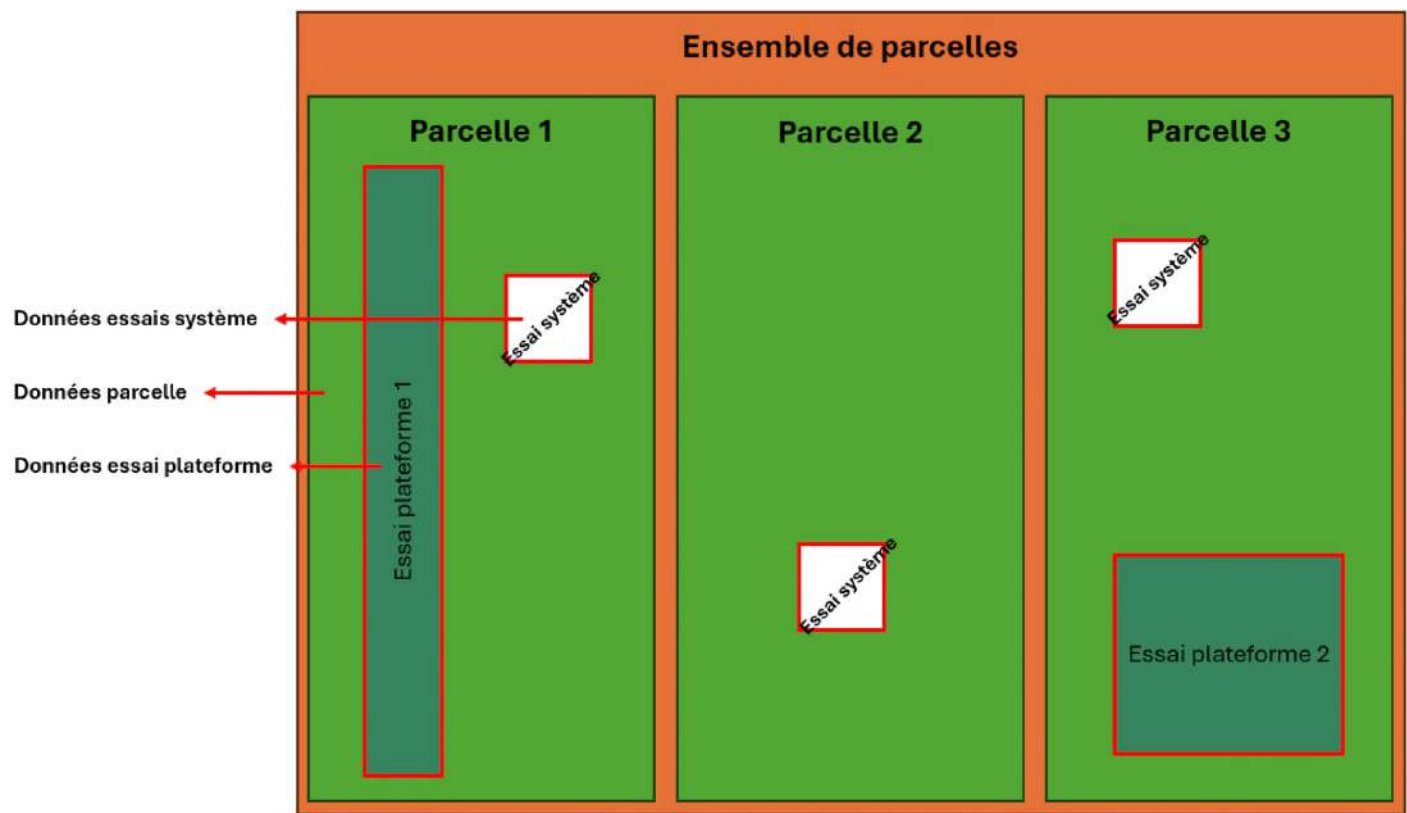


Schéma représentant un ensemble de parcelles avec des zones de mesures

Différentes mesures seront réalisées durant les 9 années des essais systèmes :

	VÉGÉTALE 	SOL 
HEBDOMADAIRE	- Pressions insectes, maladies, adventices - Stade des cultures	
ANNUEL	- Rendement - Qualité - Biomasse	- Reliquats post récolte, entrée hiver et sortie hiver - Comptage vers de terre
TRIENAL		- Phosphore Olsen et Joret-Hébert - Analyses chimiques N,K,Mg,Cao,B,Mn,Fe... - CEC Metson & Cobaltihexamine - Taux de MO et fractionnement de la MO - Biomasse microbienne moléculaire - Ratio champignons/bactéries - Analyse biodiversité nématode
ÉTAT INITIAL		Granulométrie décarbonatée

Nouvelle démarche expérimentale FERME 112

Indicateurs

Les données recueillies au cours d'un essai système ont pour but d'alimenter des indicateurs permettant d'évaluer le système étudié. Les indicateurs sont au nombre de quatre, indicateur de performance économique, indicateur de performance agronomique, indicateur de performance énergétique, indicateur de performance environnementale.

Performances Agronomiques

Indicateurs	Évaluation
Evolution du sol de craie	→ Evolutions chimiques et MO Evolutions physiques du sol
Santé Végétale	→ Observation terrain et tours de plaine
Qualité produit	→ Mesure des critères commerciaux de collecte

Performance Economique

Indicateurs	Évaluation
Analyse de la rentabilité	→ Comptabilité, Outil Systerre, Outil de traçabilité



Performances environnementales

Indicateurs	Évaluation
Adaptation au changement climatique	→ Analyse météo, Mesures des rendements, des biomasses produites, et de l'eau disponible
Pollution	→ Émissions de GES, IFT, Pertes Azotées, Balance globale azotée
Biodiversité	→ Analyse biologique de sol, Observation et comptage, Pléage

Performances énergétiques

Indicateurs	Évaluation
Consommation d'Énergie	→ Quantité de fertilisants utilisés, Carburant total consommé
Production d'Énergie	→ Mesures de rendements et des biomasses produits, Mesures de calories et protéines alimentaire

L'ensemble de ces indicateurs serviront au comité de pilotage ainsi qu'aux différents groupes de travail pour évaluer la performance des systèmes et pour pouvoir les améliorer. À terme, cette base de données sera accessible à nos adhérents.

Nouvelle démarche expérimentale FERME 112

Perspectives 2025

2024 a été l'année de conception de la nouvelle méthodologie. 2025 sera l'année de sa mise en œuvre. Terrasolis a proposé à l'ensemble de ses adhérents et partenaires de s'inscrire aux différents groupes de travail. Les premières réunions sont prévues pour avril et vont permettre de déployer les différentes rotations ainsi que proposer de nouveaux essais plateformes.

Vous êtes **adhérents Terrasolis** ?

Vous souhaitez **vous investir davantage** dans les orientations de la ferme expérimentale ?

Rejoignez les groupes de travail

CONTACTEZ NOTRE RESPONSABLE DE LA FERME EXPÉRIMENTALE !



Clément
WARNIER

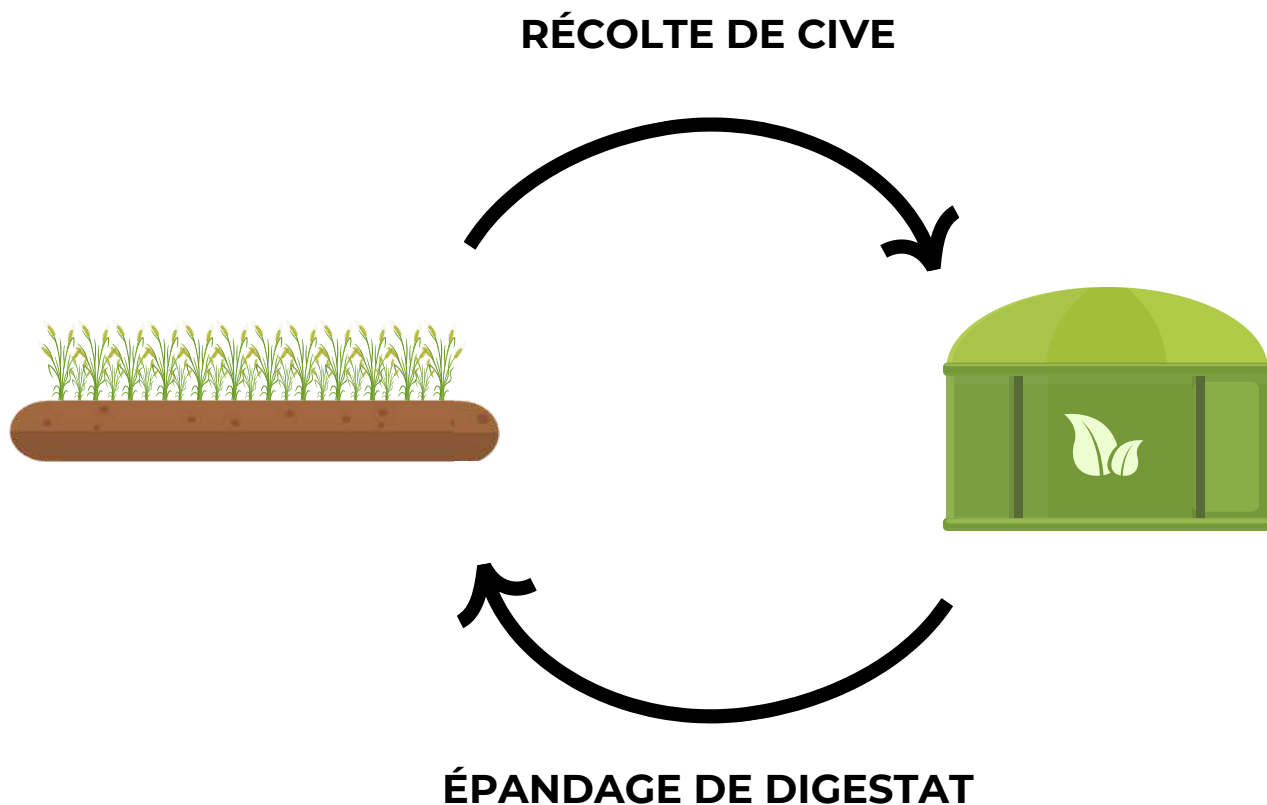
clement.warnier@terrasolis.fr

Synthèse essai CIVE

Rédaction : Clément WARNIER

Introduction

Dans un contexte dans lequel l'élevage est peu développé, les Cultures Intermédiaires à Vocation Énergétique (CIVE) deviennent la principale source d'intrants pour alimenter un méthaniseur.



Les CIVE sont principalement fertilisées avec le digestat issu du méthaniseur, permettant ainsi de boucler le cycle de l'azote tout en produisant de l'énergie.

La CIVE constitue un élément clef du système pilote N°2 de la ferme expérimentale TERRASOLIS, qui utilise le levier de la méthanisation comme levier pour atteindre l'objectif bas-Carbone.

Sa rotation a été définie pour maximiser la production de biomasse, principalement sous forme de CIVE, pour la production d'énergie.

Synthèse essai CIVE

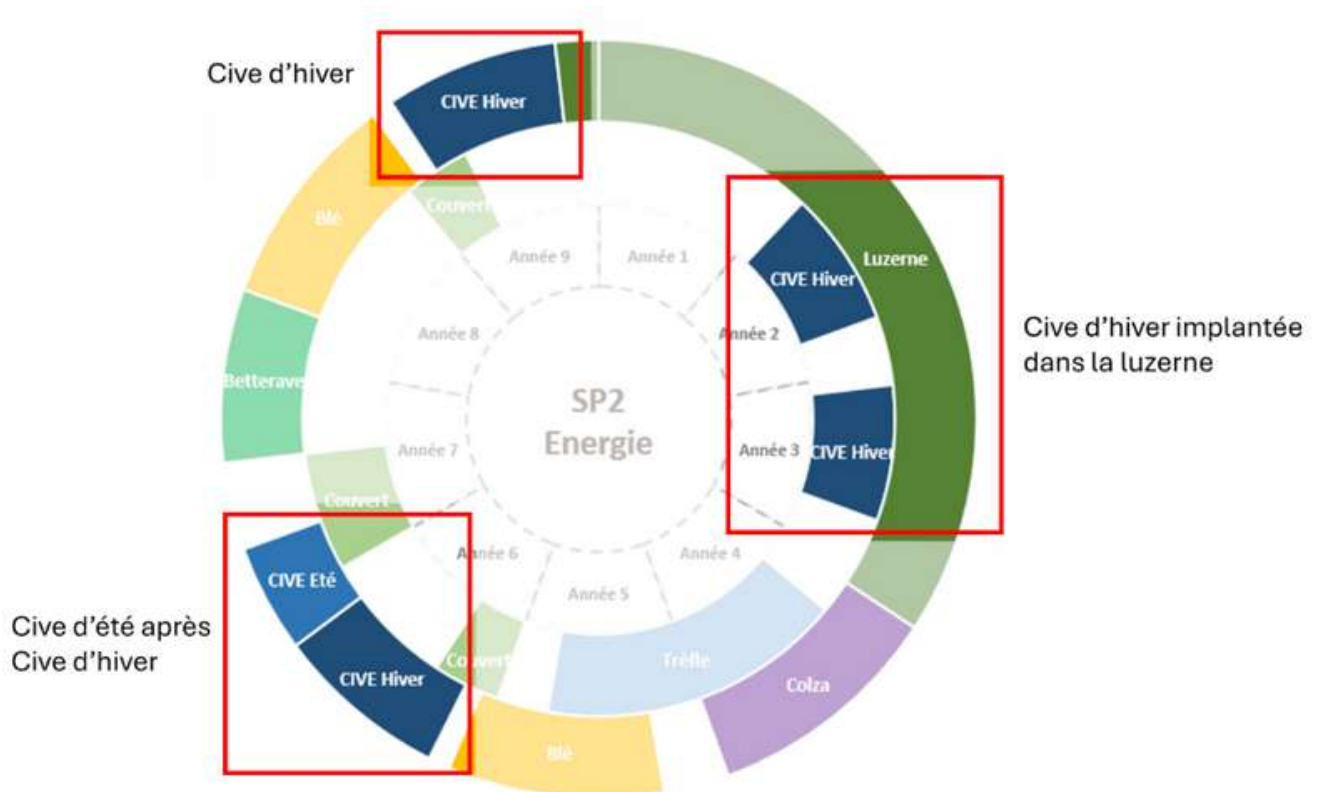


Schéma du système pilote 2: Energie

L'objectif des essais CIVE est d'évaluer différentes modalités de CIVE d'été et d'hiver afin de mettre en place la nouvelle rotation du système pilote n°2 : Énergie. Les résultats guideront le choix des variétés de CIVE et de l'itinéraire technique le plus adapté et sécurisant, en fonction des conditions pédoclimatiques.

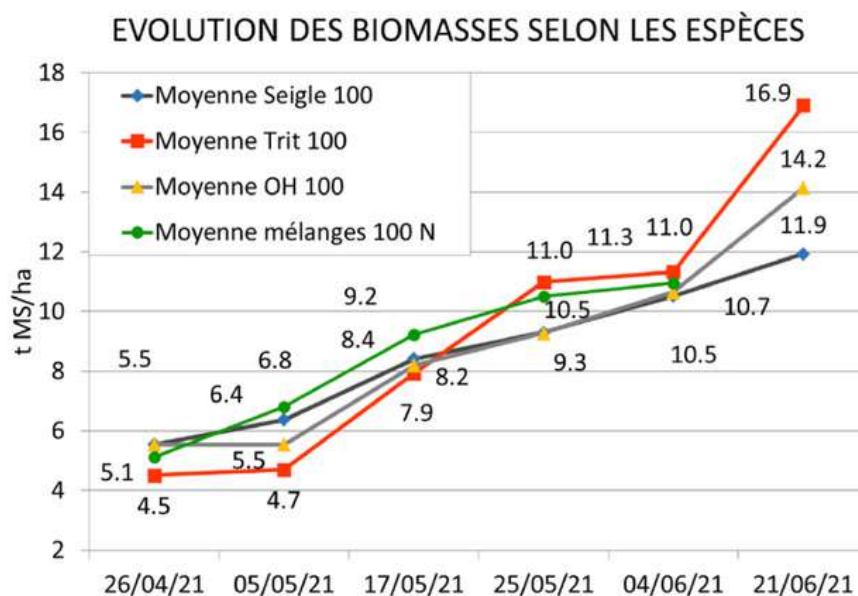
Trois types de production de CIVE ont fait l'objet d'expérimentations :

- La CIVE d'hiver: implantée en automne et récoltée au printemps. Elle doit permettre d'implanter une culture d'été.
- La CIVE d'été: généralement implantée après la récolte d'une culture d'automne. Elle peut également être une culture dédiée à la méthanisation (culture principale).
- La CIVE d'hiver dans la luzerne: la luzerne est utilisée comme support pour implanter une CIVE d'hiver qui sera récoltée au moment de la première coupe de luzerne.

Synthèse essai CIVE

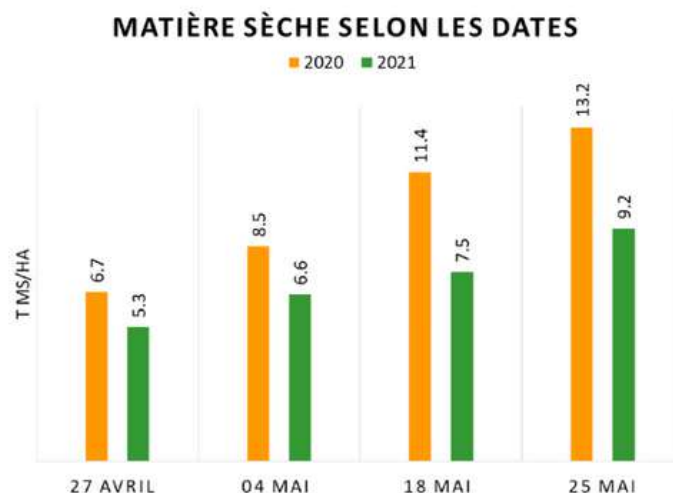
CIVE d'hiver:

Plusieurs essais ont été effectués en 2020 et en 2021 pour étudier le potentiel de différentes variétés de CIVE en fonction de la date de semis, de la date de récolte et de leur réponse à la fertilisation azotée.



Biomasses produites pour différentes variétés de céréales

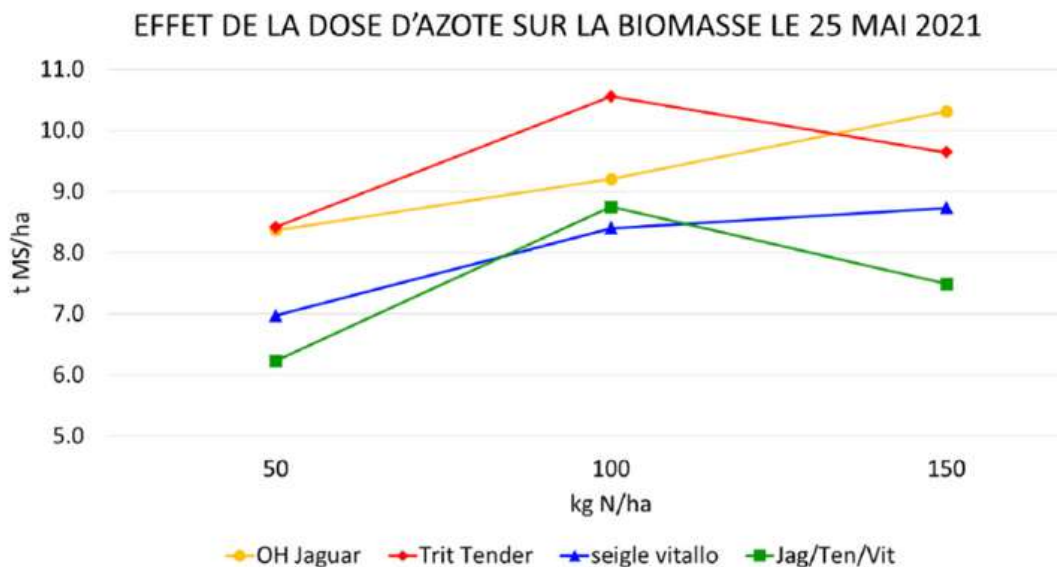
Le triticales est l'espèce qui donne le plus de biomasse pour une récolte tardive. En revanche il y a peu d'écarts si la récolte se fait début juin.



Biomasses moyennes en fonction de la date de récolte

Synthèse essai CIVE

En conclusion, la quantité de biomasse dépend beaucoup de la date de récolte. Néanmoins, celle-ci ne doit pas compromettre l'implantation de la culture suivante.



Courbes de réponse à l'azote de différentes variétés de céréales

Les courbes de réponse à l'azote donnent un optimum à 100 Unités d'azote, sauf pour l'orge d'hiver.

CIVE d'été:



En 2024, un essai CIVE d'été en partenariat avec **cérèsia** a été réalisé sur un précédent orge d'hiver en bandes de 60 m.

Synthèse essai CIVE

Différentes modalités ont été testées :

- **Implantation:** Semis direct et semis avec travail du sol (déchaumage + semoir combiné).
- **Cultures ou mélanges dédiés à la méthanisation :**



Sorgho multi coupe



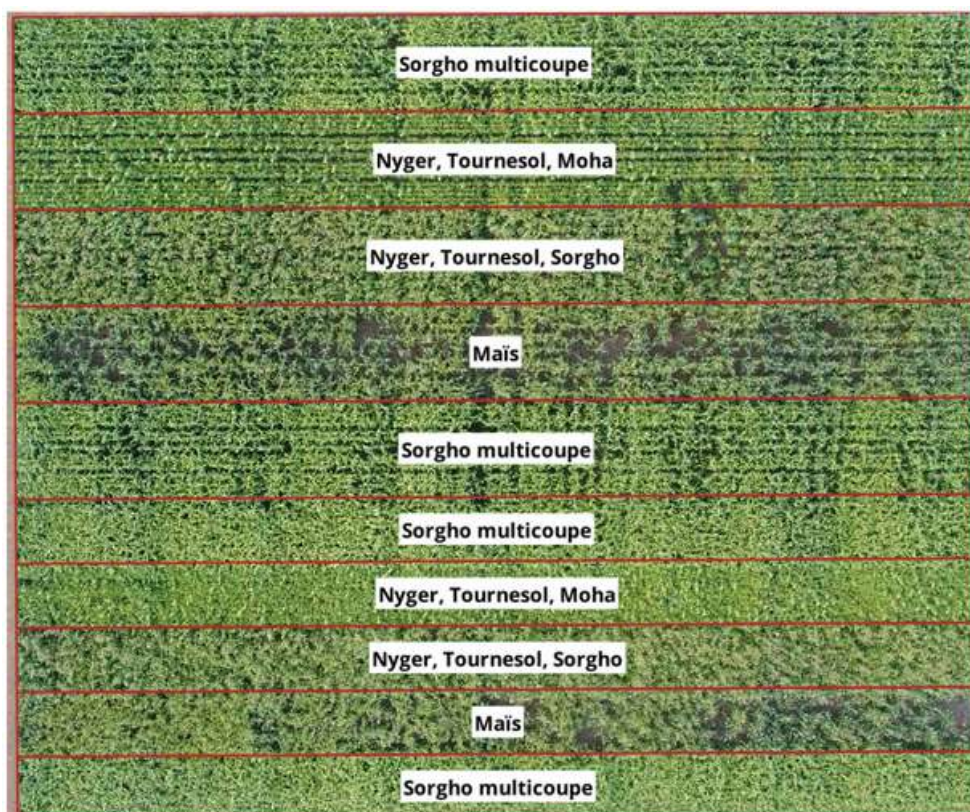
Mélange Sorgho / Nyger / Tournesol



Maïs



Mélange Moha / Nyger / Tournesol

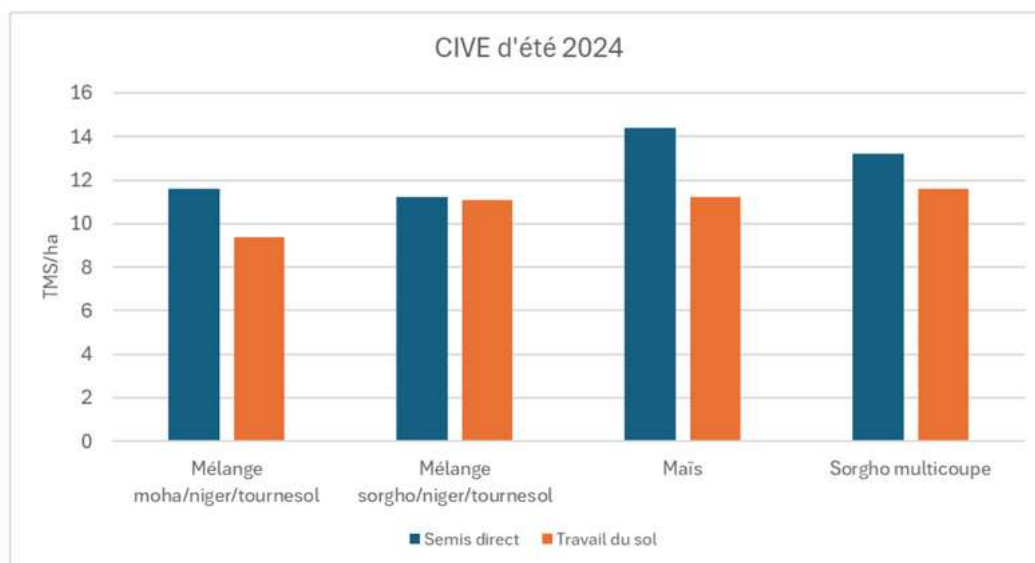


Semoir semi direct à disque Gaspardo en 6m

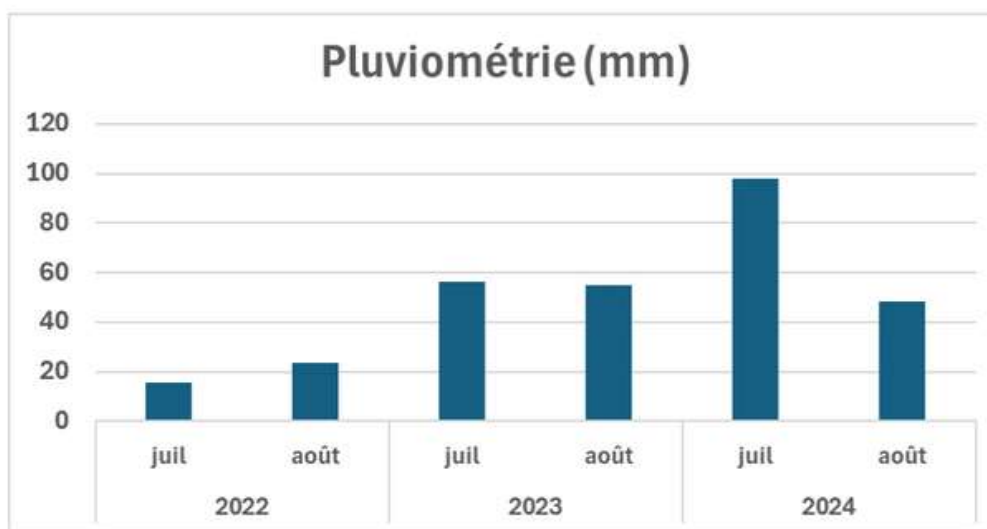


Semoir Combiné 4m

Synthèse essai CIVE



Résultats essais CIVE d'été en tonnes de matières sèche par hectare



L'ensemble des rendements obtenus sont globalement très satisfaisants. Le semis a été réalisé dans des conditions favorables. Les rendements en semis direct sont significativement plus élevés sauf pour un des mélanges. Le maïs a produit le plus de biomasse, mais a été largement pourvu en eau.

L'essai devra être reconduit en 2025 pour évaluer de nouveau l'intérêt du semis direct en conditions séchantes. En effet, dans ces conditions, le semis direct devrait permettre de maintenir l'humidité dans les sols. Le maïs devrait être moins productif que les mélanges à base de cultures moins gourmandes en eau. Différentes stratégies opportunistes peuvent être adoptées en fonction de l'année.

Synthèse essai CIVE

CIVE d'hiver dans la luzerne :

En 2023 ont été implantées du seigle variété VITALO dans les luzernes :

- Rendement CIVE d'hiver sur 3ème année de luzerne : 9.15 TMS/ha
- Rendement CIVE d'hiver sur 2ème année de luzerne : 7.68 TMS/ha

En 2024 un essai CIVE d'hiver a été réalisé en partenariat avec :



Un essai en bandes a été mis en place à l'automne pour tester différentes variétés de céréales dans la luzerne. Cet essai est réalisé sur une 3ème année de luzerne. Cette parcelle a déjà eu une implantation de CIVE d'hiver (Seigle VITTALO) en 2023.

Objectif : Évaluer l'impact des CIVE d'hiver sur la qualité et le rendement de la luzerne. Les CIVE d'hiver implantées dans la luzerne représentent un levier majeur dans la rotation du système énergie.



Détail de l'essai :

Essai en grande bande avec le semoir semis direct à disque Gaspardo en 6 m en 4 modalités :

- ✔ Seigle variété SU NASRI
- ✔ Orge variété SCOOP
- ✔ Triticale variété BREHAT
- ✔ Mélange : 20% Seigle, 40% Orge, 40% Triticale

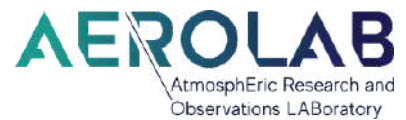
Observations sortie hiver :

L'implantation des CIVE est réussie, toutes les céréales semées sont au stade tallage.

Les rendements des CIVE ainsi que des autres coupes de luzerne seront analysés et comparés à une luzerne seule afin d'évaluer l'impact de la CIVE sur la luzerne.

Station de mesure de flux

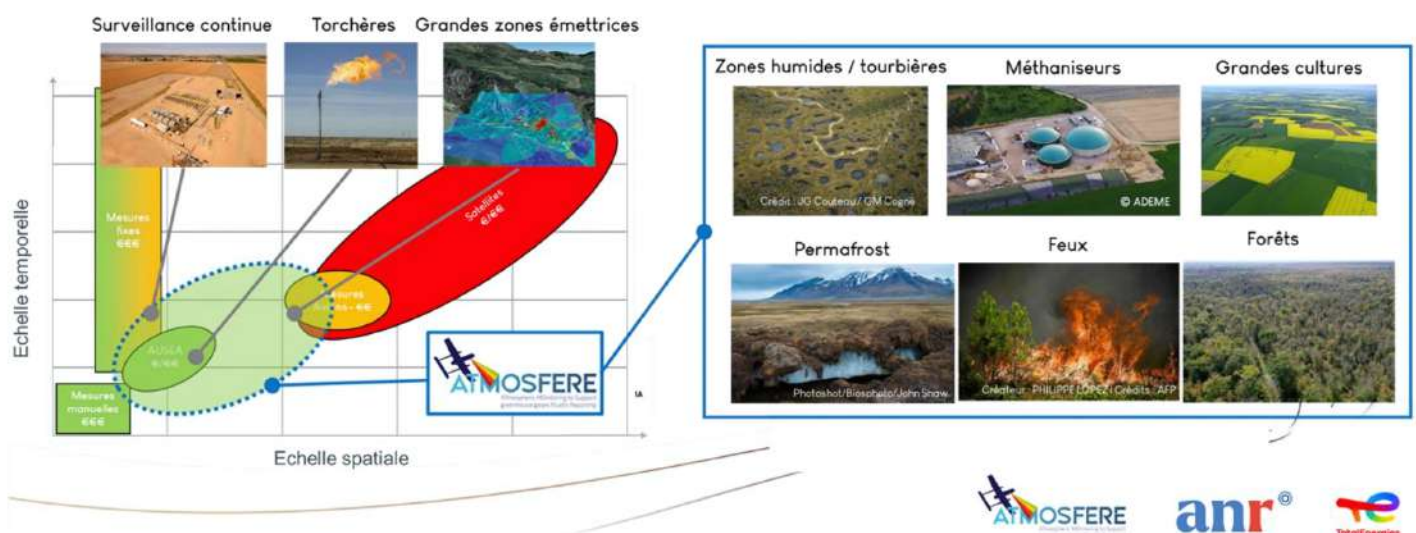
En partenariat avec :



Rédaction : Nicolas Dumelié, Lilian Joly

Contexte

Les études menées sur le site de la Ferme expérimentale TERRASOLIS s'inscrivent dans le cadre de la chaire industrielle ANR (Agence Nationale de la Recherche) intitulé ATMOSFERE (Atmospheric Monitoring to Support FluxEs REporting). Son objectif est de structurer un programme de recherche collaborative entre le Pr. Lilian JOLY, son équipe au GSMA (Groupe de Spectrométrie Moléculaire et Atmosphérique - UMR CNRS 7331) et TotalEnergies pour développer des outils innovants et méthodes de mesure précises des émissions de Gaz à Effets de Serre (GES) à différentes échelles spatio-temporelles et cela sur différents écosystèmes naturels et industriels. Au sein de la chaire ATMOSFERE, il existe différents WPs (Work Package) dont un qui repose sur la quantification des flux à l'aide de la méthode eddy covariance (méthode de référence) sous drone de type VTOL pour cartographier des zones entre 0-100 km².



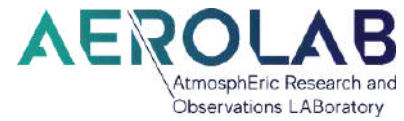
La figure ci-dessus illustre une partie des différents cas d'usage visés par ATMOSFERE afin de répondre aux besoins non comblés de la communauté scientifique et industrielle



Atelier de présentation de la tour à flux lors de l'assemblée générale Terrasolis 2024

Station de mesure de flux

En partenariat avec :



Objectifs des études sur la base :

Dans la majorité des cas, la technique de mesure des flux par eddy covariance est appliquée à des stations fixes. Son déploiement depuis un drone nécessite donc le développement de capteurs haute fréquence (10 Hz) et légers pour mesurer plusieurs paramètres simultanément : concentrations de CO_2 , H_2O et CH_4 , vents 3D et température. Par ailleurs, l'analyse de ces mesures exige l'élaboration de nouveaux algorithmes de traitement des données.

Dans ce cadre, une thèse CIFRE, financée en partenariat avec TotalEnergies et l'URCA, vise à répondre à ces défis. Le doctorant a pour mission de concevoir ces nouveaux traitements de données et de définir les protocoles expérimentaux spécifiques à l'eddy covariance embarquée sous drone.

Afin de valider ces algorithmes, un ensemble de données expérimentales depuis une station fixe est nécessaire. La ferme expérimentale TERRASOLIS constitue un terrain d'étude idéal pour générer ces données essentielles aux tests. En mars 2024, une tour à flux fixe a été installée sur le site dans le but d'atteindre deux objectifs principaux :

- Fournir un jeu de données sur le long terme pour tester les algorithmes et garantir la cohérence des résultats entre les méthodes classiques et les nouvelles approches développées par le doctorant.
- Servir de station de référence lors des campagnes de test du capteur embarqué sous drone, permettant ainsi une intercomparaison entre les mesures effectuées par la tour et celles issues du capteur embarqué.

Pour TERRASOLIS, ce dispositif offre la possibilité d'évaluer les flux de chaleur sensible, latente et les émissions de CO_2 à une fréquence de 30 minutes. Ces mesures sont particulièrement précieuses pour quantifier le bilan Carbone et analyser l'impact des pratiques agricoles sur les émissions de gaz à effet de serre.

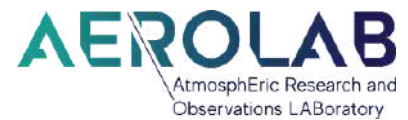


La tour à flux consiste en un système autonome de mesure de flux par eddy covariance pour la mesure directe des flux de CO_2 , de chaleur sensible et latente couplée à une station météo.

Station autonome de mesure de flux déployée sur la ferme expérimentale Terrasolis

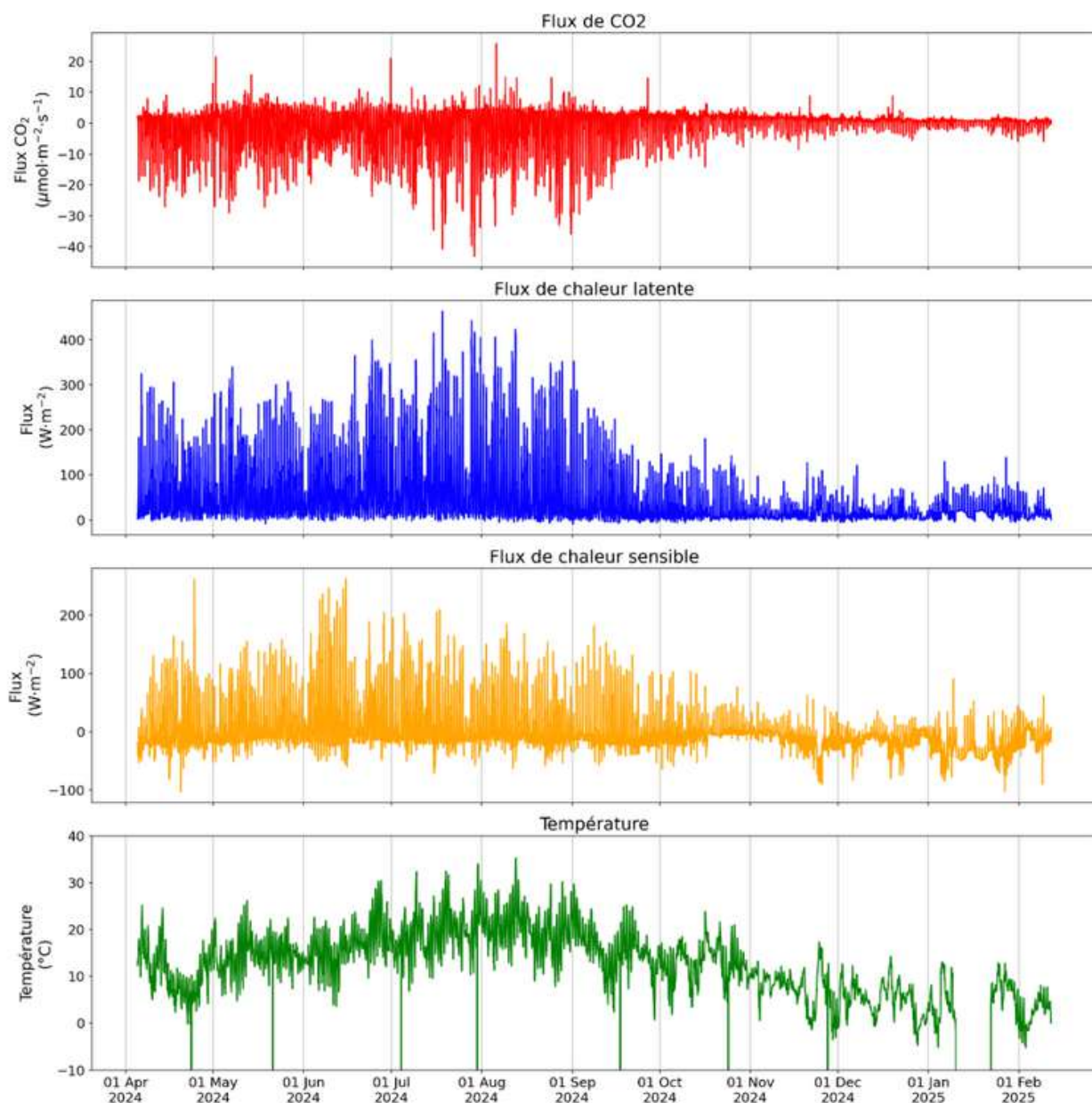
Station de mesure de flux

En partenariat avec :



Résultats

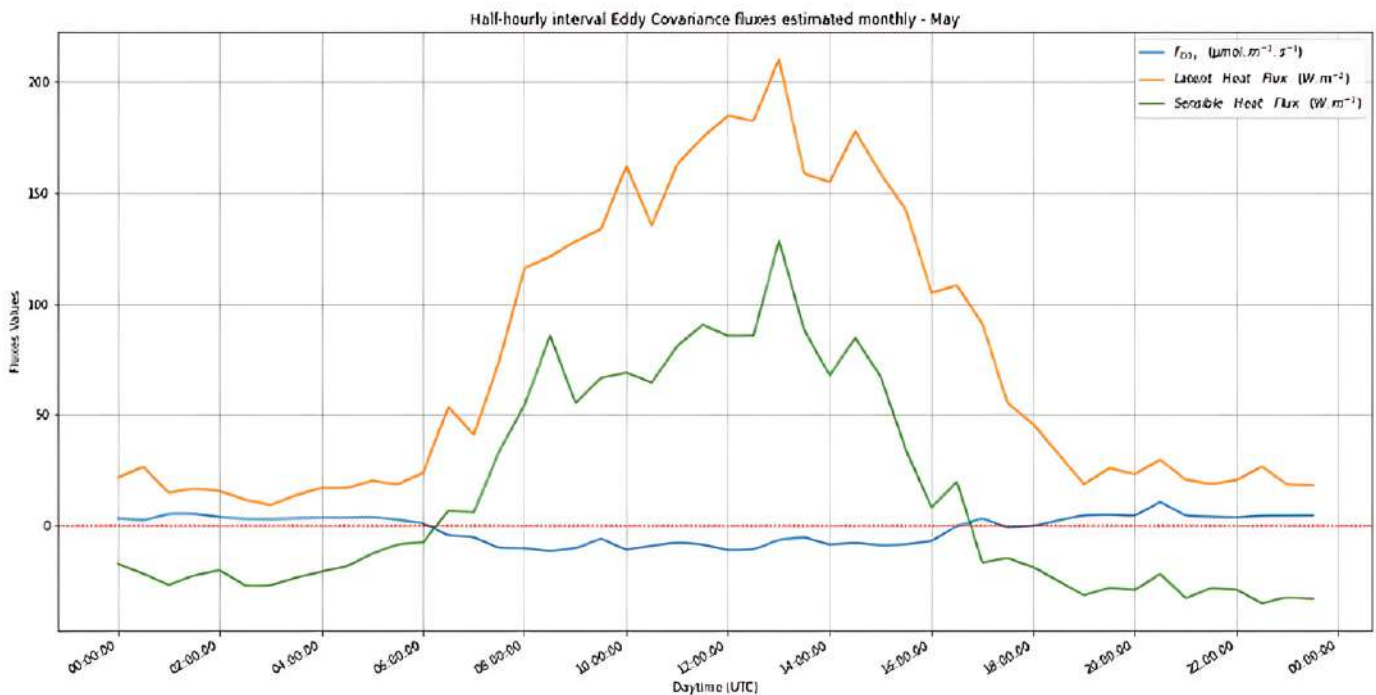
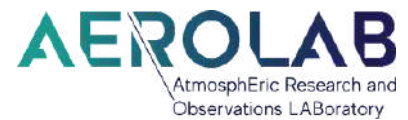
Sur la figure ci-dessous, nous avons présenté nos mesures sur une période entre avril 2024 et mars 2025. Comme nous pouvons le voir sur la première figure, le site se comporte comme un puits de Carbone. Nous avons fait un zoom sur une période de 24h pour illustrer la variabilité journalière. L'exploitation des données de la tour à flux en encore en cours.



Flux de CO₂, de chaleur latente et sensible et température mesurés par la station sur Terrasolis depuis avril 2024.

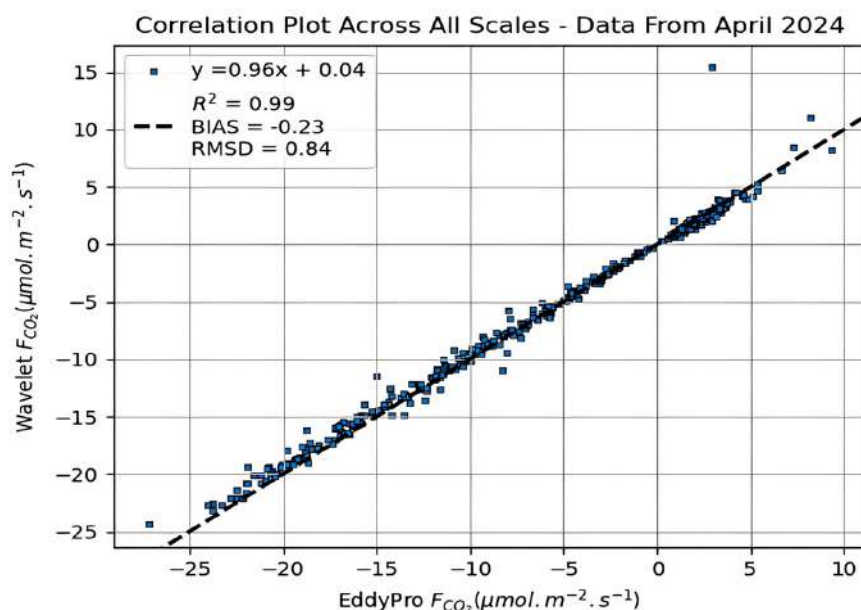
Station de mesure de flux

En partenariat avec :



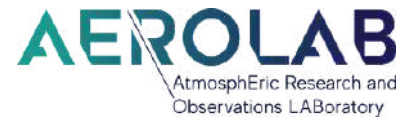
Exemple des flux mesurés sur une période de 24h, les flux de CO₂ montrent le cycle de la photosynthèse.

Par ailleurs, le doctorant a pu montrer grâce aux données de la tour que la méthode de calcul de flux qu'il développe en collaboration avec les chercheurs d'AgroParis Tech fonctionne très bien et est en très bon accord avec les mesures de flux issus des méthodes classiques de calcul.



Station de mesure de flux

En partenariat avec :

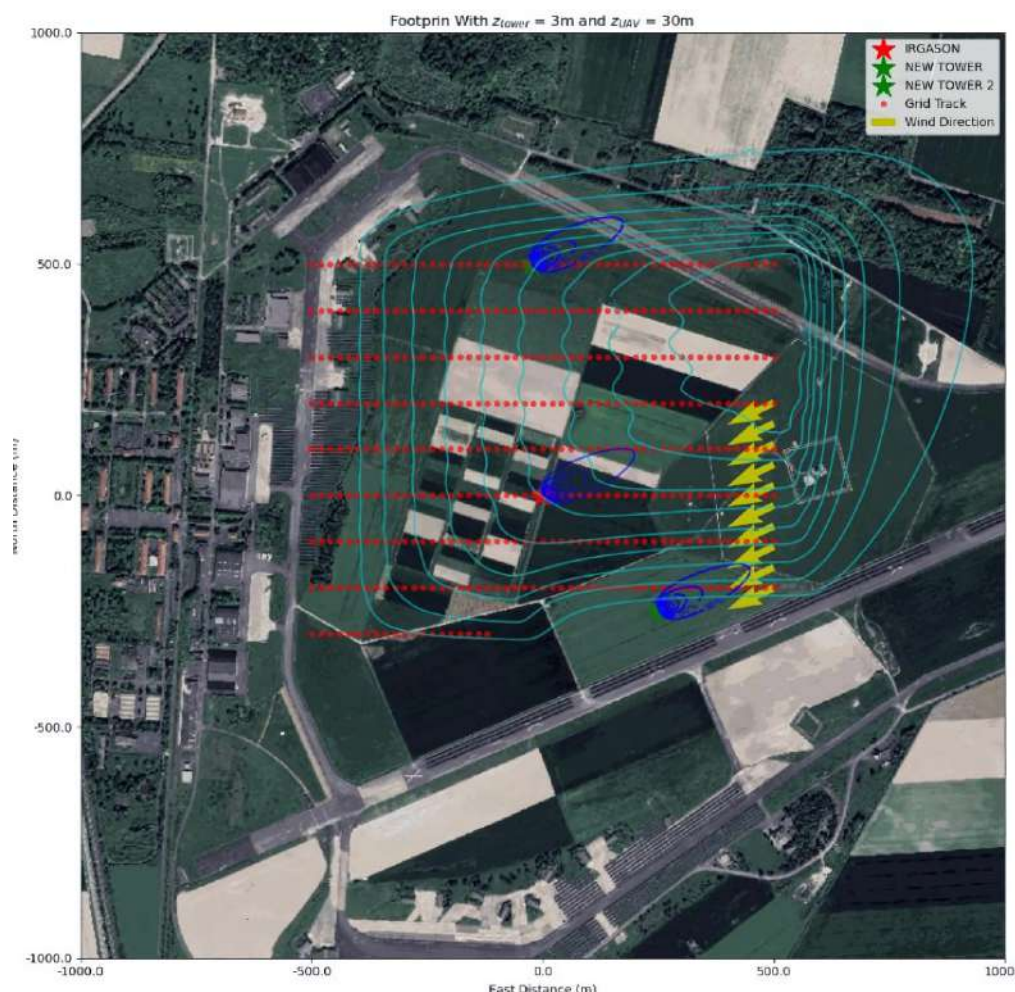


Pour l'année 2025, il est prévu de mener une campagne d'inter-comparaison entre les mesures d'Eddy-covariance sous drone et des stations fixes qui seront déployées pour l'occasion.

Le but de cette campagne sera double : d'une part tester les plans de vols du drone afin de trouver la meilleure stratégie pour analyser de grandes surfaces agricoles et d'autre part, comparer les mesures de flux entre les stations fixes et l'instrument embarqué sous drone VTOL (Vertical Take Off & Landing).



L'illustration ci-dessous montre à gauche une image du porteur VTOL et à droite une simulation d'un plan de vol en prévision d'une future campagne de test où figure la tour à flux actuelle ainsi que deux autres tours permettant d'avoir une meilleure inter-comparaison des données sol et des données mobiles.



Rédaction : Sébastien GORRY

Cyclair :

Créée à Pressac, dans le Sud-Vienne, CYCLAIR développe une solution de désherbage mécanique et autonome, notamment grâce à l'intelligence artificielle. En pratique, CYCLAIR est un rover autonome polyvalent.

Objectifs :

En pratique, le robot CYCLAIR, utilise des outils de désherbage mécanique en se guidant de manière autonome sur les parcelles grâce à un système d'intelligence artificielle. Cette IA repère les mauvaises herbes au sol, en s'appuyant sur une base de données dans le cloud, enrichie des informations récupérées sur le terrain (machine learning). L'objectif de ces essais est d'apprendre au robot à travailler sur d'autres cultures.



Les cultures déjà apprivoisées par Cyclair:



Maïs



Tournesol

Des inter-rangs et intra-rangs espacés.

Les cultures phares ciblées par Cyclair:



Betteraves



Pomme de terre



Blé



Colza

Des outils plus complexes à mettre en place (inter-rangs rapprochés, cultures butées)

La qualification de ces cultures permettra l'utilisation du robot sur une plus grande période de l'année.

Contexte:

La ferme expérimentale de TERRASOLIS a mis à disposition certaines parcelles pour mener des essais agronomiques et culturaux.

Cyclair a utilisé 35 parcelles consécutivement

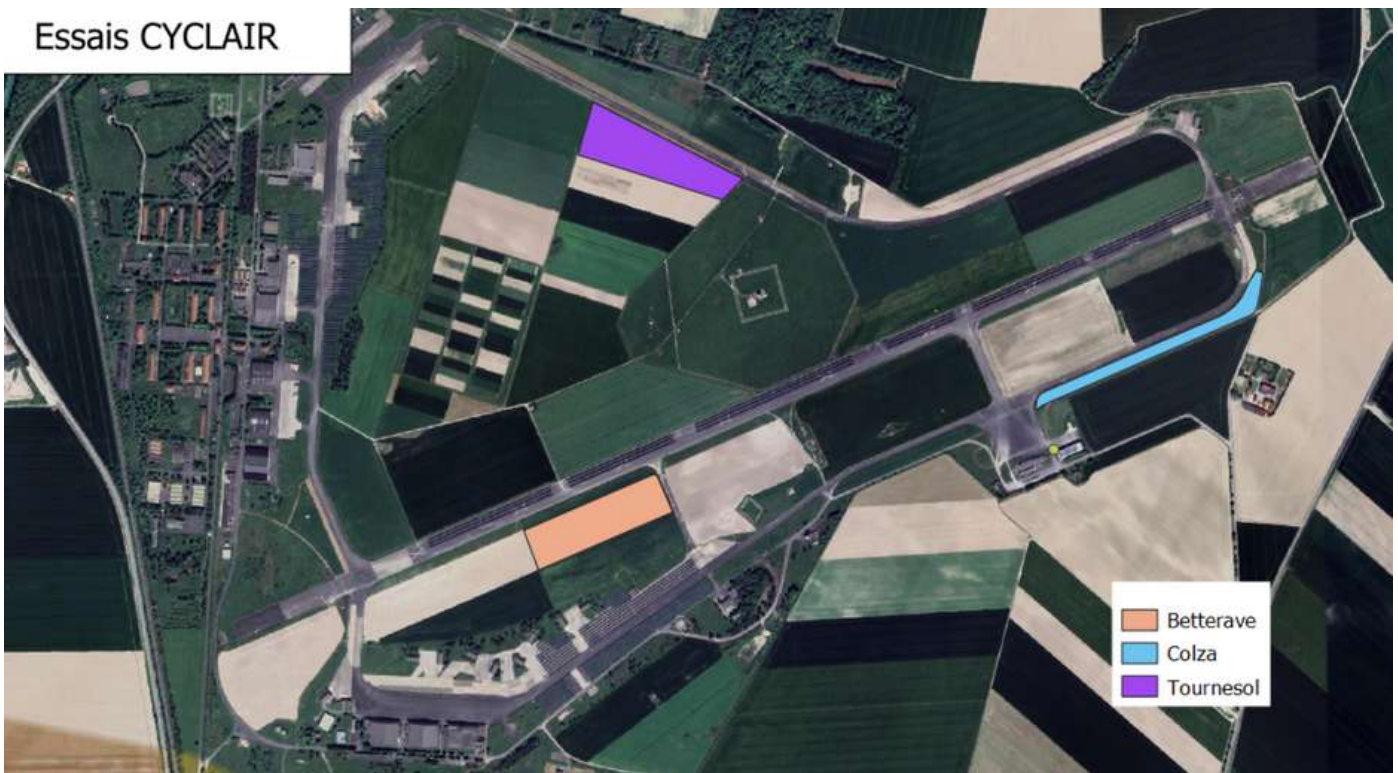
- 4ha de betteraves semées en 45cm
- 3ha de tournesols semés en 45cm
- 3ha de colza semé en 45cm



Robot cyclair en action sur une parcelle de betteraves

La protection des cultures est assurée par la SCEA FERME 112 implantée sur le site. Les semis de betteraves ont été réalisés en deux vagues, espacées d'environ dix jours. Un opérateur à plein temps a été mobilisé pour mener les essais.

Essais CYCLAIR



Parcelles mises à disposition du robot

Réalisations 2024 :



OBJECTIFS QUANTITATIFS :

- **Collecte de données**
 - 750 000 images collectées en betterave
 - 360 000 images collectées en tournesol 45cm
 - 260 000 images collectées en colza 45cm
- **Temps machine**
 - 700h de fonctionnement dont 450h en navigation autonome
- **Disponibilité et résolution de panne**
 - Ratio de disponibilité de 11h/24h
 - 8 pannes (tickets créés par l'opérateur)
 - Temps moyen de résolution de pannes :
 - 1 h pour 7 pannes
 - 3 j pour 1 panne



OBJECTIFS QUALITATIFS :

- Édition des **gammes de maintenance** en déploiement
- Édition des **procédures opérationnelles** principales
- **Apprentissage des opérations** à distance de la base Cyclair (500 km)
- Mise en place de la **structure de support opérationnel**

Plan d'action - Printemps 2025



En fonction de la surface, **recrutement d'un ou deux opérateurs** par robot à Reims.



Positionnement à mi-temps d'un **ingénieur agronome** pour la **définition** et le **suivi** des **modalités d'intervention**.



Mise en place d'expérimentations internes à Cérèsia, ou avec des entités publiques locales (Chambre d'Agriculture, agence de l'eau...)



Connexion permanente avec l'équipe nationale de support et de développement.



Participation aux évènements sous la bannière Cérèsia/ Terrasolis.

Les pluviolixiviats : une entrée de Carbone sous-estimée pour les sols cultivés ?

Rédaction : Guillaume HUMBERT, Gonzague ALAVOINE, Hugues CLIVOT

Contexte:

Les pluviolixiviats sont les eaux de pluies qui atteignent la surface du sol après traversée d'un couvert végétal, soit directement, soit après ruissellement ou percolation sur ou à travers le couvert. Ces eaux s'enrichissent en éléments présents sur les feuilles, les tiges ou les troncs. Ces éléments, organiques ou minéraux, peuvent provenir de dépôts atmosphériques, d'organismes vivants à la surface des couverts, ou de sécrétions produites par ces organismes ou les végétaux. Les pluviolixiviats ont surtout été étudiés dans les milieux forestiers, où ils peuvent représenter plus de la moitié des flux d'eau arrivants au sol (McDowell et al., 2020).

Les flux associés à la pluviolixiviation des couverts agricoles demandent également à être étudiés. Encouragées par les politiques publiques de préservation de la qualité des ressources en eau et de transition des systèmes agricoles, les périodes d'intercultures avec des sols laissés nus sont devenues rares, souvent limitées à quelques semaines encadrant les périodes de semis (Ballot et al., 2022). Les transferts de matières organiques, de Carbone (C) et d'azote (N) associés à ces flux posent particulièrement question. Le stockage de Carbone dans les matières organiques des sols agricoles reçoit de plus en plus d'attention. La considération de son rôle joué dans l'atténuation des changements climatiques s'est ajoutée aux considérations historiques des matières organiques pour leurs rôles joués dans le maintien de la structure et de la fertilité des sols. Dans les sols cultivés, les entrées de Carbone habituellement prises en compte sont le Carbone présent dans les résidus végétaux et les amendements organiques. Les apports de Carbone par les exsudats racinaires (ou rhizodéposition), bien que difficilement estimables, sont aussi considérés. Mais les apports de Carbone par les pluviolixiviats ne sont pas du tout étudiés.

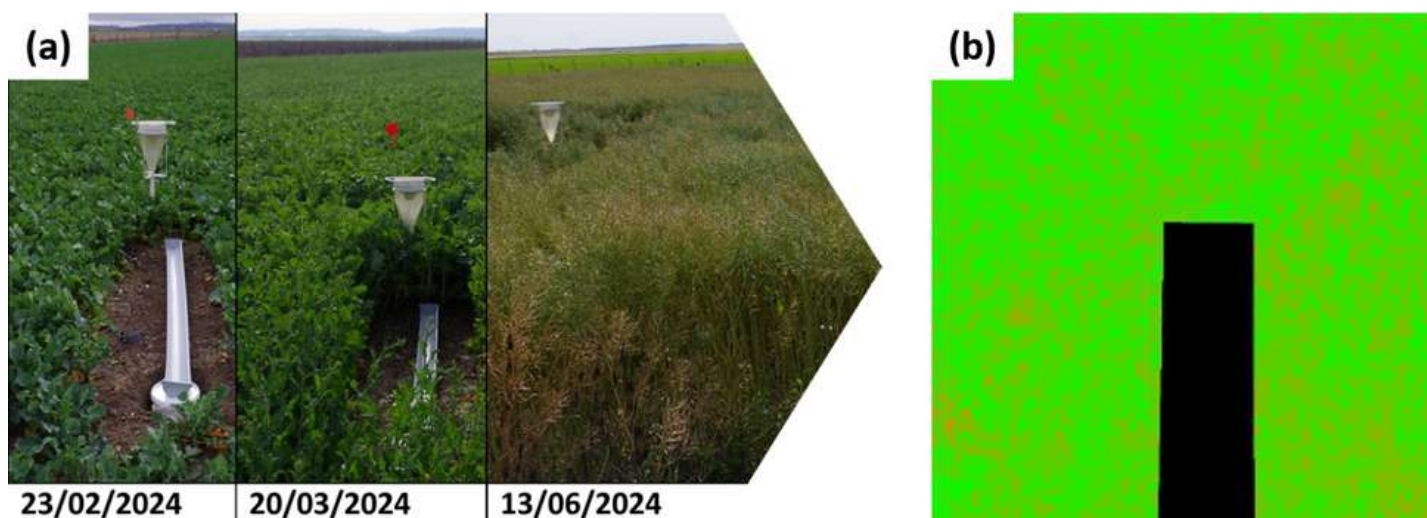


Figure 1 (a) Photos des dispositifs de prélèvement utilisés en 2024. On peut voir sur ces photos, le dispositif permettant d'estimer la contribution maximale de l'effet splash. Les dispositifs utilisés pour prélever les pluviolixiviats sont posés à la surface du sol sous le couvert de colza.

Figure 1 (b) Exemple de traitement d'image utilisé pour estimer la surface de sol recouverte par le couvert de colza (logiciel CAN-EYE). Les pixels verts représentent le couvert végétal et les pixels marrons représentent le sol.

Les pluviolixiviats : une entrée de Carbone sous-estimée pour les sols cultivés ?

Méthode :

Nous avons étudié les flux de pluviolixiviats en analysant les eaux de pluies collectées sur des parcelles de colza de la ferme 112 sur deux périodes. Entre le 19 et le 23 juin 2023, alors que le colza était aux stades de développement et maturation du fruit, trois prélèvements de cumuls de précipitations de 5 à 60 mm ont été analysés. Entre le 21 février et le 5 juillet 2024, douze prélèvements supplémentaires ont permis de suivre des cumuls de précipitations de 7 à 40 mm (Figure 1a). L'évolution de la surface du sol couverte par le colza a également été estimée à partir de l'analyse de photographies (Figure 1b).

Pour chaque prélèvement, le volume et la composition chimique d'eaux de deux types ont été analysées (Carbone organique dissous, azote total, ammonium, nitrate). Les eaux de pluies météoriques étaient prélevées au-dessus de la culture de colza à l'aide d'un pluviomètre. Les eaux des pluviolixiviats étaient prélevées au-dessous de la culture, soit avec des pluviomètres posés à la surface du sol lorsque le port du colza était suffisamment haut, soit avec des gouttières posées à la surface du sol et connectées à des seaux de collecte enterrés dans le sol. Pour l'étude des pluviolixiviats réalisés en sortie d'hiver alors que la culture couvrait peu le sol, un prélèvement supplémentaire a été réalisé. Les eaux de pluie prélevées au niveau du sol dans une zone sans pied de colza permettaient de contrôler les quantités d'eau prélevées avec cette méthode et d'estimer la contribution à nos mesures des matières organiques associées aux particules de sol projetées dans les gouttières de prélèvement par effet splash.



Figure 2: Photos des pluies prélevées début mars 2024 après un cumul de précipitations de 16 mm. On peut voir les différences de couleur entre les eaux de pluies prélevées au niveau du sol sous les rangs (pluviolixiviats), sans couvert (effet splash), et au-dessus de la culture de colza (pluie météorique).

Résultats :

Les 15 prélèvements réalisés en 2023 et 2024 ont montré que 50 à 100 % de l'eau de pluie traversait le couvert et atteignait donc le sol (78 % en moyenne; Figure 3a). Lors des prélèvements de 2023, 80 % de la surface du sol était recouverte par la culture de colza (tiges, feuilles, ramifications, siliques).

Les pluviolixiviats : une entrée de Carbone sous-estimée pour les sols cultivés ?

Les pluviolixiviats étaient 5 à 30 fois plus concentrés en Carbone (C) organique dissous que l'eau de pluie météorique, prélevée au-dessus de la culture. Sur cette période, en fonction des précipitations et de leur contexte, les pluviolixiviats ont apporté au sol sous la culture de colza entre 0,06 et 15 kg de Carbone par hectare (kg C ha⁻¹). En tout, les 66 mm de pluies étudiés en 2023 ont apporté au sol entre 25 et 40 kg C/ha¹ de culture de colza (Figure 3b). L'analyse des eaux de pluies prélevées en 2024 doit permettre de préciser ces flux pour 5 mois de culture de colza.

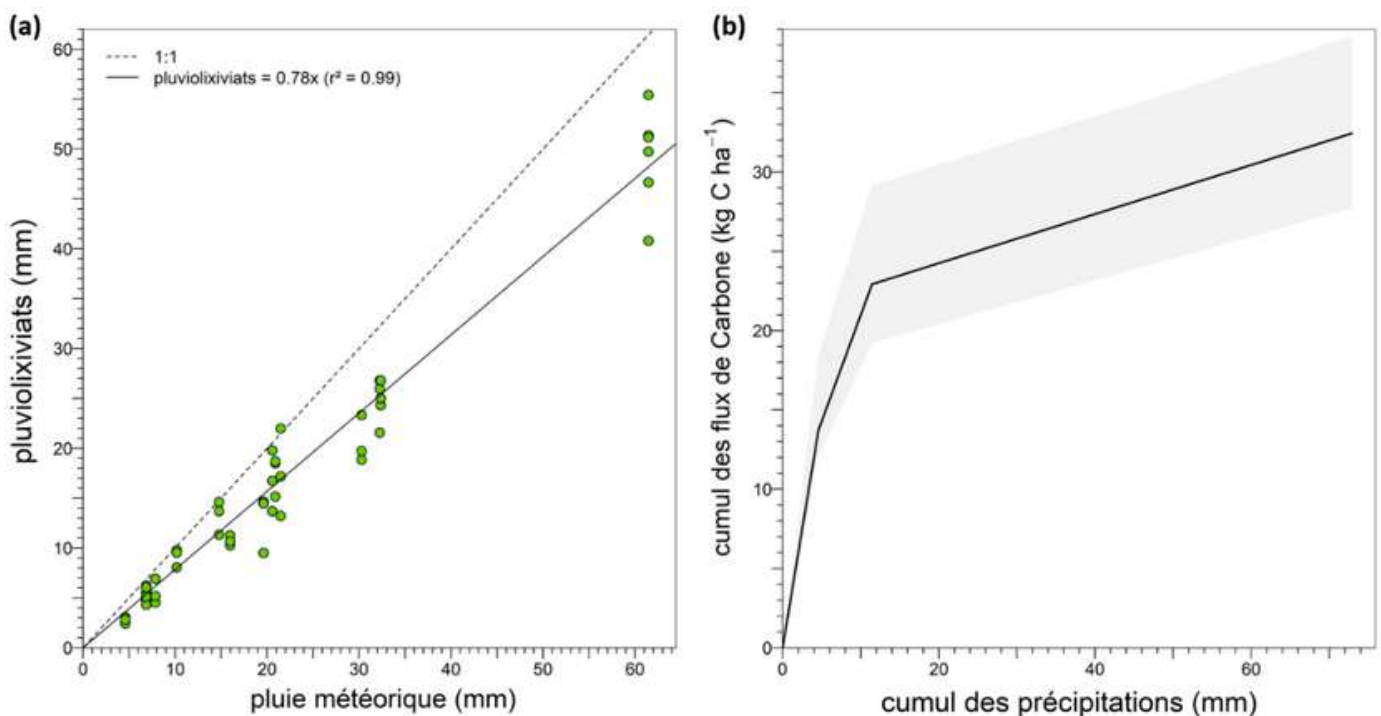


Figure 3: Quantités d'eau (a) et de Carbone (b) apportées au sol après pluviolixiviation d'une culture de colza.

Les pluviolixiviats analysés en 2023 étaient 1,3 à 4 fois plus concentrés en azote (N) que l'eau de pluie prélevée au-dessus de la culture. Sur cette période, en fonction des précipitations et de leur contexte, les pluviolixiviats ont apporté au sol entre 4,5 et 385 g N ha⁻¹ de culture de colza. En moyenne, 85 % ($\pm 0,1$ %) de l'azote contenu dans ces pluviolixiviats était sous forme organique.

Avec un rapport C/N compris entre 15 et 35, les matières organiques transférées au sol par pluviolixiviation d'une culture de colza aux stades de développement et de maturation du fruit sont relativement riches en azote (Figure 4a). D'après la relation utilisée pour simuler la décomposition des résidus de cultures (Justes et al., 2009), ces matières organiques présenteraient un potentiel relativement important à se stabiliser dans le sol (coefficient isohumique d'environ 0,3; Figure 4b), comparativement à des résidus de culture présentant des rapports C/N élevés.

L'analyse des eaux prélevées en 2024 doit permettre de préciser la dynamique du rapport C/N des matières organiques transférées par 5 mois de pluviolixiviation d'une culture de colza. Dans un second temps, l'incubation de pluviolixiviats au laboratoire doit permettre de valider ces premières estimations.

Les pluviolixiviats : une entrée de Carbone sous-estimée pour les sols cultivés ?

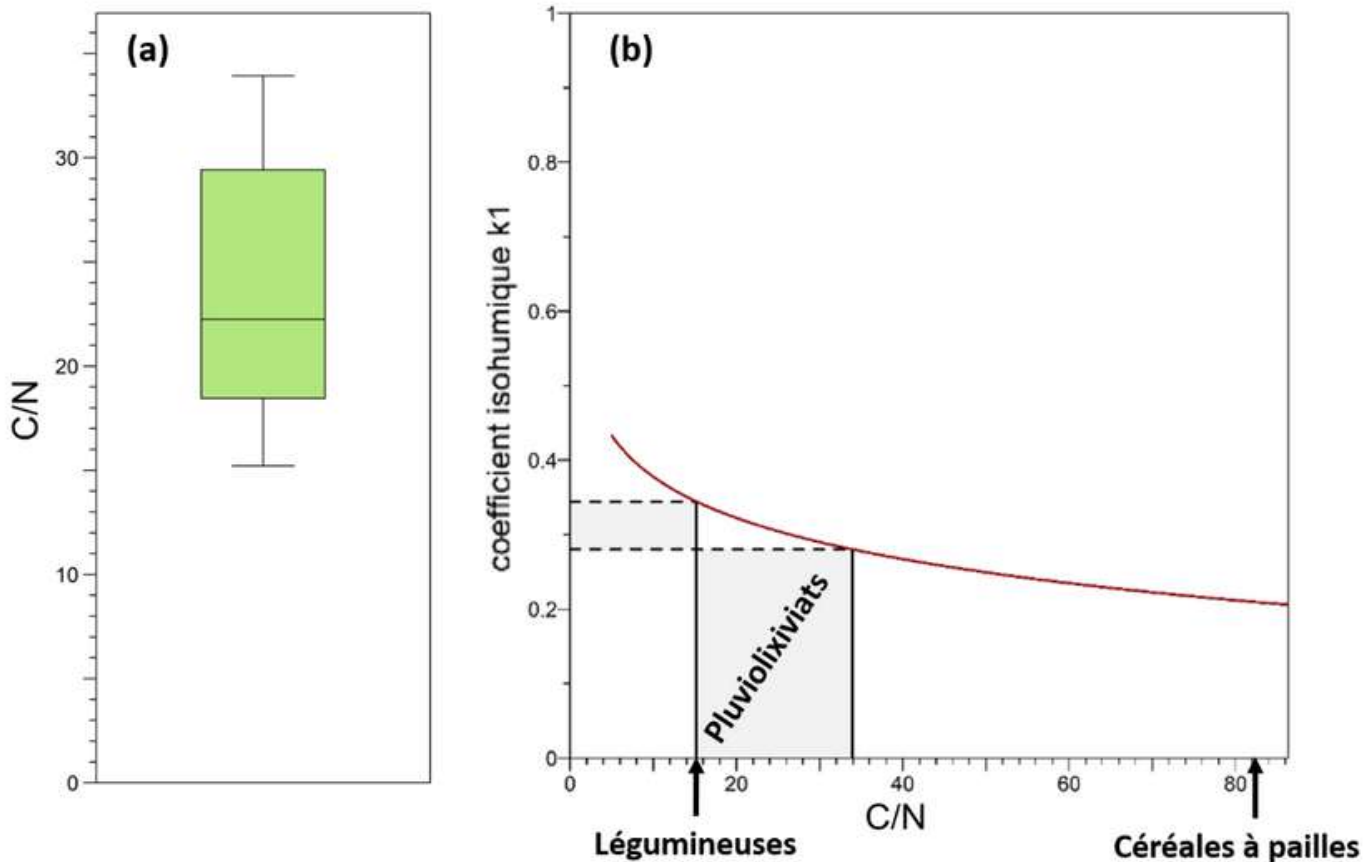


Figure 4: Gamme de variation du rapport C/N des matières organiques transférées par pluviolixivation d'une culture de colza aux stades de développement et de maturation du fruit (a). Relation d'estimation du coefficient isohumique k_1 à partir du rapport C/N des matières organiques (d'après Justes et al., 2009). Le coefficient isohumique représente la proportion de Carbone des matières organiques qui pourra se stabiliser dans le sol sous forme d'humus.

Références:

- Ballot, R. (2022). Evolution des surfaces de couverts végétaux en France: état des lieux statistique. *Agronomie Environnement et Sociétés*, 12(1). <https://doi.org/10.54800/JUT885>
- Justes, E., Mary, B., & Nicolardot, B. (2009). Quantifying and modelling C and N mineralization kinetics of catch crop residues in soil: parameterization of the residue decomposition module of STICS model for mature and non mature residues. *Plant and Soil*, 325(1), 171–185. <https://doi.org/10.1007/s11104-009-9966-4>
- McDowell, W. H., Pérez-Rivera, K. X., & Shaw, M. E. (2020). Assessing the Ecological Significance of Throughfall in Forest Ecosystems (pp. 299–318). https://doi.org/10.1007/978-3-030-26086-6_13

Membres du collectif :

Membres Fondateurs et bienfaiteurs :



Adhérents :



Engagez la transition !



TERRASOLIS

PÔLE D'AGRICULTURE BAS-CARBONE

REJOIGNEZ-NOUS !

terrasolis.fr

contact@terrasolis.fr

Avec le soutien de



Et de l'Etat Français,



Opération soutenue par l'État, dans le cadre du CRSD de Reims, Fond pour les restructurations de la Défense, et Fond national d'aménagement et de développement du territoire

Conception Réalisation : Terrasolis



Impression : Reims Copie

Avec la contribution financière du compte d'affectation spéciale développement agricole et rural CASDAR
MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE ET DE LA SOUVERAINETÉ ALIMENTAIRE
Schéma Stratégique National