

Nom du candidat : Morando

Prénoms : Gabriel Marc

**N° Candidat** : A BCPST - 23608

Noms des auteurs en cas de travail commun

Drouaud Léo

Hazard Estéban

Wietrich Vanessa

Dominante **BIOLOGIE**

Dominante GÉOLOGIE

MIXTE

*Surligner la dominante du TIPE*

**BANQUE AGRO-VETO – Session 2025**

**T.I.P.E.**

Maximum 8 pages (illustrations comprises), Times New Roman 12 ou Arial 10, interligne simple.

20 000 caractères maximum

**IMPORTANT** : n'inscrire sur cette couverture aucune référence à l'établissement scolaire

**TITRE** : Rotation de culture.

**RÉSUMÉ** (en six lignes) :

Une des solutions pour réduire les intrants sur des champs consiste à réaliser des rotations de culture supérieure à 4 ans. Nous suivons un projet sur 10 ans qui teste cette méthode sur un champ non irrigable, en la comparant à une rotation traditionnelle de 3 ans. Notre rôle est de vérifier les caractéristiques initiales des parcelles. Nous avons mesuré l'activité biologique du sol par des mesures de densité de ver de terre et de respiration basale du sol, ainsi que des tests de perméabilité et de CO2 atmosphérique. De plus, nous avons analysé et comparé les données économiques des deux systèmes de rotations.

Le document doit être constitué au format A4 avec en couverture cette présentation.

A partir des années 1950, l'utilisation des produits phytosanitaires et des engrais de synthèse, substances utilisées pour protéger les plantes et améliorer leur croissance, a explosé en France. Ces intrants ont augmenté drastiquement les rendements des cultures [1]. Néanmoins, l'utilisation de ces produits phytopharmaceutiques a été remise en question quant à son impact sur la biodiversité aérienne et du sol. De nouvelles pratiques agricoles plus respectueuses de l'environnement émergent, ce phénomène est appelé **transition agroécologique**. Cette transition doit prendre en compte les contraintes liées aux changements climatiques. Plus précisément, l'augmentation des événements extrêmes, comme les sécheresses, qui diminuent les rendements agricoles ou exigent des systèmes d'irrigation [2]. Or certaines parcelles ne peuvent pas être irriguées pour des raisons matérielles comme la distance entre celle-ci et le forage ou économique avec le coût matériel des canalisations. De plus, les sols drainants demandent un apport d'eau très important, ce qui n'est pas forcément possible d'un point de vue économique et écologique. Les cultures en stress hydrique sont moins résistantes aux aléas, tels que les ravageurs ou les adventices et nécessitent ainsi davantage de produits phytosanitaires [3]. Pour cela, des systèmes de cultures minimisant ces intrants sur des parcelles non irrigables sont recherchés. Un système de culture prend en compte la nature des cultures, le travail effectué sur celles-ci et leur rotation. La rotation consiste en la gestion de l'alternance des cultures sur un même sol par l'agriculteur. Elle nécessite une mécanisation et des méthodes propres à chaque culture ce qui en fait une méthode plus complexe à mettre en place et plus coûteuse. Mais dans le cas de cultures irriguées, des études ont montré qu'une rotation longue, sur plus de 3 ans, présente de nombreux avantages vis-à-vis d'une rotation de moins de 4 ans dite courte. Elle permet la réduction naturelle des risques d'adventices, et de ravageurs, ainsi que l'augmentation des rendements[4][5]. **On cherche à vérifier si un système de culture avec une rotation longue permet de diminuer les intrants chimiques tout en restant compétitif vis-à-vis du modèle traditionnel avec une rotation courte sur des parcelles non irrigables.**

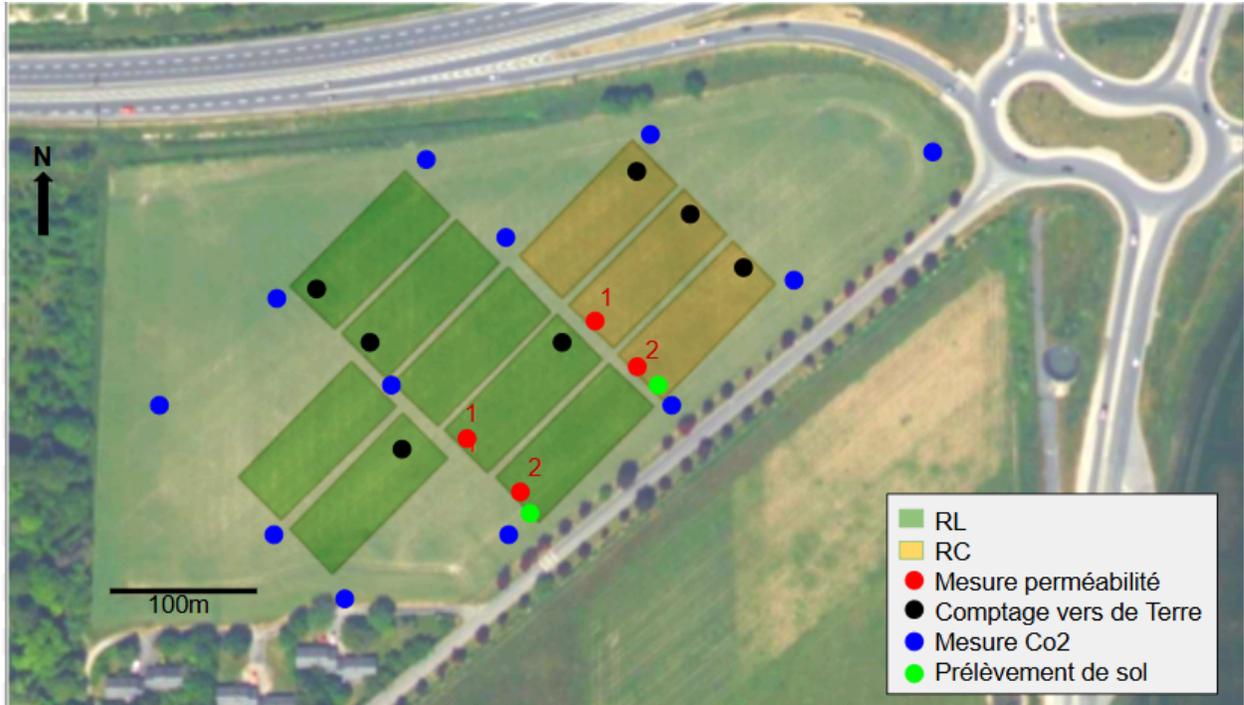
Cette problématique fait l'objet d'une expérimentation menée pour une durée de 10 ans dans une exploitation agricole. Elle a commencé en 2023 et nous avons décidé de nous associer à cette démarche en:

- (1) vérifiant l'homogénéité du sol et de l'atmosphère des parcelles expérimentales;
- (2) participant aux mesures prévues pour cette expérimentation entre novembre et mars 2025 pour caractériser l'activité biologique du sol;
- (3) analysant les mesures de rendements et de consommation d'intrants de la récolte 2024, qui correspond à la première année de cette expérimentation.

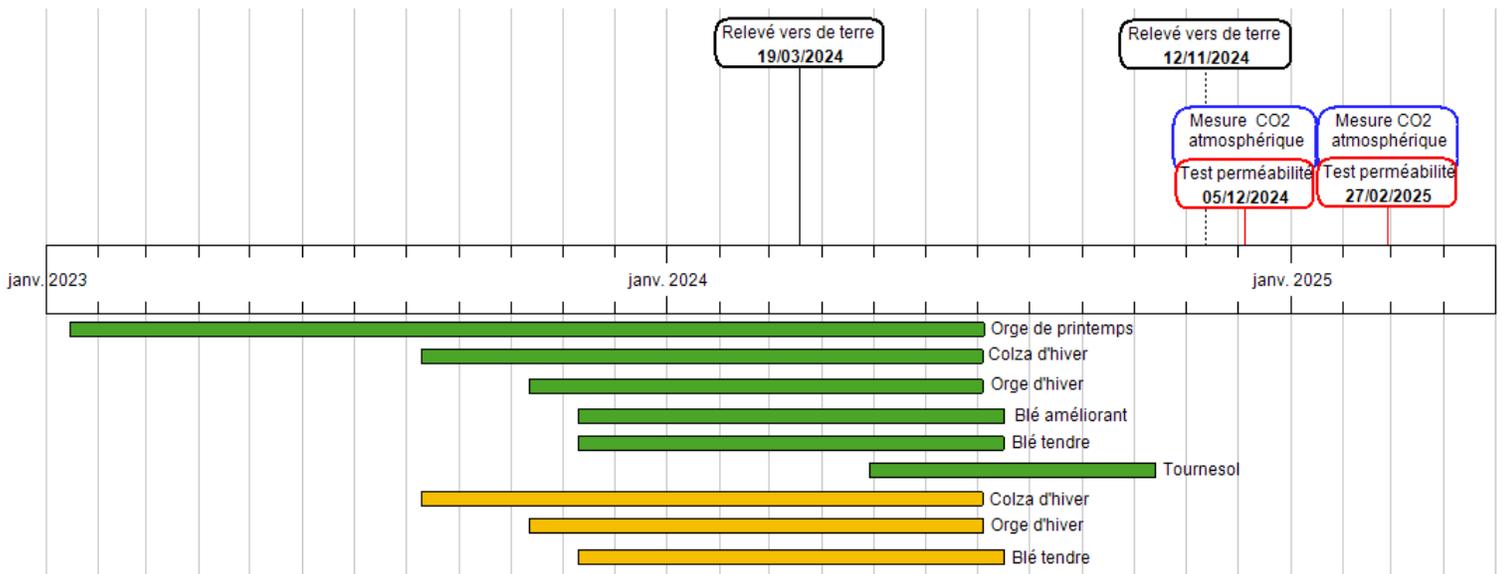
## **I) Présentation des parcelles expérimentales**

Un champ non irrigable a été séparé en 10 parcelles: 3 sont cultivées avec une rotation sur 3 ans (colza, blé tendre d'hiver, orge d'hiver), 7 avec une rotation sur 7 ans (colza, blé tendre d'hiver, tournesol, orge d'hiver, féverole, blé tendre d'hiver améliorant, orge de printemps). Sur le champ, le travail agricole consiste en un travail du sol (déchaumage, herse rotative, roulage, et semis), d'ajout si besoin de produits phytosanitaires et de fertilisation du sol des données de suivi de culture sont relevées et il y a une surveillance en cas d'alerte adventices, fongique et ravageur.

Le sol de nos parcelles est un sol équilibré: limon argilo-sableux [6]. Le champ est situé à proximité d'un rond point très fréquenté. Avant le lancement de l'expérience, la parcelle était recouverte exclusivement de colza.



**Figure 1: Organisation de la parcelle expérimentale**



**Figure 2: Frise chronologique des interventions sur les parcelles**

## **II) Vérification de l'homogénéité initiale de l'ensemble de la parcelle expérimentale**

Nous avons considéré que la première année d'expérimentation n'était pas suffisante pour modifier de façon significative les caractéristiques du sol. Le sol est supposé homogène dans cette parcelle [6] et nous souhaitons le confirmer.

## A) Mesure de la perméabilité du sol

Les parcelles étant non irrigables, la capacité du sol à retenir l'eau est un critère important à vérifier. Une hypothèse de travail postule que les rotations longues améliorent les caractéristiques biologiques du sol, dont la présence de vers de terre. Les galeries creusées par les vers augmentent la perméabilité du sol [7] aussi nous supposons que la perméabilité du sol pourrait changer à terme.

### a) Procédure [8]



Un trou de 20 cm par 20 cm sur une profondeur de 25 cm est creusé à l'aide d'une bêche. Un tasseau est posé en travers du trou. La mesure de la hauteur est faite entre le niveau d'eau et le point de repère sur le tasseau qui est le même à chaque mesure. La fosse a été remplie d'eau jusqu'à environ 5 cm en dessous du tasseau tout en veillant à ne pas modifier la géométrie de la fosse. L'eau s'écoule pendant 1h afin de permettre une saturation du sol.

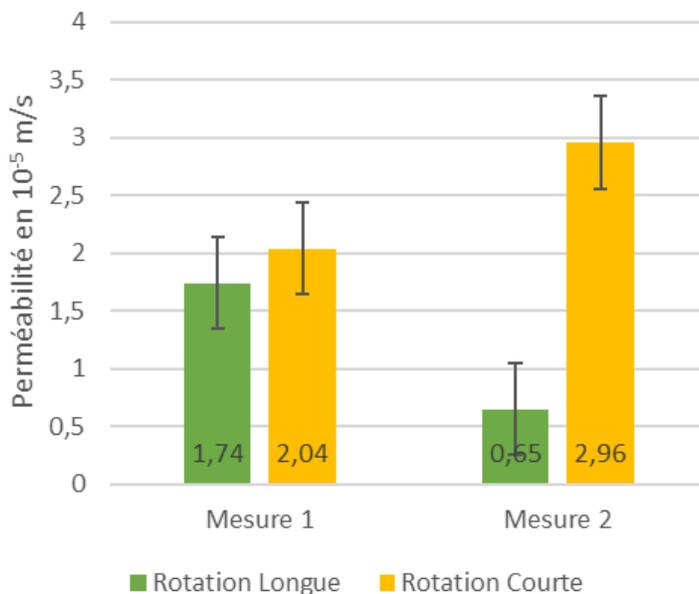
Après avoir réajusté le niveau d'eau, la hauteur  $\Delta H$  entre ce niveau et le point de repère du tasseau est mesurée puis la hauteur de l'eau est relevée toutes les 5 minutes pendant les premières 30 min ; puis toutes les 15 minutes pendant 1h.

**Figure 3 : Montage du test de perméabilité**

La perméabilité  $K$  est donnée par la formule:  $K = \Delta H \div T$  avec  $H$  la hauteur infiltrée en mètre,  $T$  la durée de l'écoulement en seconde et  $K$  la perméabilité en m/s.

Nous avons réalisé 4 mesures. L'incertitude sur la mesure de  $H$  est de 2 mm, l'incertitude sur le temps est de 5s, donc l'incertitude de mesure sur  $K$  est estimée à  $0,04 \cdot 10^{-5}$  m/s.

### b) Résultats et interprétations



Les débits mesurés pour les deux rotations correspondent à un sol équilibré : sable et argile-limons [9], ce qui est cohérent avec le sol des parcelles. La perméabilité de la rotation courte a une tendance à être inférieure à celle de la rotation longue. Mais nos mesures ne permettent pas d'établir une différence significative de la perméabilité entre les 2 régions étudiées.

**Figure 4 : Mesures de perméabilité**

### c) Perspectives

Nous suggérons de réaliser ces mesures dans les autres parcelles pour confirmer l'homogénéité de la parcelle. Dans les prochaines années de l'expérience, en reproduisant cette manipulation, on s'attend à observer une perméabilité plus importante dans la rotation longue s'expliquant par l'augmentation attendue du nombre de vers de terre dans ces parcelles.

Les parcelles se situent à une distance variable d'un rond point très fréquenté, ainsi une importante quantité de CO<sub>2</sub> y est émise quotidiennement. Ce gaz est consommé lors de la photosynthèse donc sa concentration influe sur la productivité. [10]. Dans la mesure où les parcelles se trouvent dans un espace ouvert favorable à la convection de l'air, nous avons cherché à vérifier que la concentration en CO<sub>2</sub> ne variait pas significativement sur la parcelle.

## B) Mesure de la répartition du CO<sub>2</sub> sur les parcelles

### a) Procédure

La concentration en CO<sub>2</sub> a été mesurée avec un capteur SwitchBot en différents points des parcelles (**Figure 1**): on a déplacé la sonde à 6 emplacements sur le champ et l'expérience a été réalisée 4 fois.

### b) Résultats et interprétations

La sonde a affiché des valeurs constantes durant chacune des journées d'expérimentations, peu importe sa position (**Figure 1**) :

	Rotation longue	Rotation courte
Mesure 1 (06/02/25)	417 ppm	417 ppm
Mesure 2 (27/02/25)	419 ppm	419 ppm

**Figure 5** Tableau de résultat des mesures de CO<sub>2</sub>

Ainsi on peut considérer que l'air enrichi en CO<sub>2</sub> par la circulation de véhicule est suffisamment brassée et donc le taux de CO<sub>2</sub> au sein du champ reste homogène.

D'autres témoins pourraient être vérifiés comme le pH avec un pH-mètre ou le tassement du sol avec un test de pénétrométrie, mais l'histoire agricole de cette parcelle de petite taille ne permet pas de supposer d'autres sources d'hétérogénéité. En parallèle de cette étude, nous avons participé à une mesure programmée annuellement pour suivre l'activité biologique du sol.

## III) Caractérisation de l'activité biologique du sol

L'hypothèse de travail est que les rotations plus longues permettent une diminution des intrants chimiques ce qui améliorera la biodiversité du sol, et donc la résistance des cultures aux aléas en augmentant les ressources disponibles. L'expérimentation comprend un suivi de la population de lombrics, et une étude de l'activité microbiologique afin de suivre la qualité biologique des parcelles et prairies adjacentes.

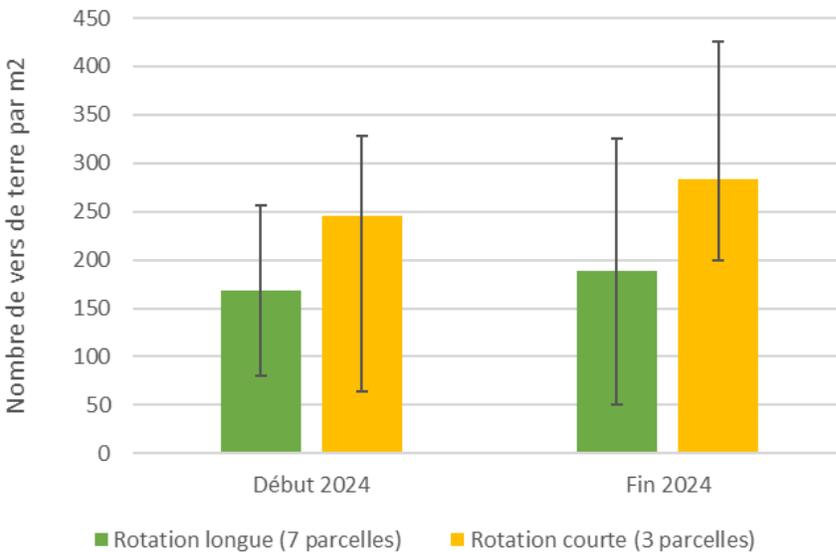
## A) Etude de la population des vers de terre

### a) Procédure[11]

Cette mesure a été réalisée en collaboration avec une classe de lycéens dans le cadre d'un projet pédagogique associé à cette expérimentation le 19/03/24 et le 12/11/24.

8 volumes de 20 x 20 x 25 cm de profondeur sont prélevés à l'aide d'une bêche à différentes positions (**Figure 1**). L'extraction a été réalisée sur un sol humide mais non gorgé d'eau. Les mottes sont chacune effritées sur une bêche afin d'en extraire les vers de terre présents et les compter.

### b) Résultats et interprétation



Chaque valeur correspond à une moyenne calculée sur l'ensemble des secteurs.

#### **Figure 6 : Densité de ver de terre en fin et début 2024**

Les barres correspondent aux valeurs minimales et maximales

On observe, entre la rotation longue et la rotation courte, une variabilité allant de 77 à 108 vers de terre. Cette variabilité peut être liée à un respect inégal des consignes du protocole (qu'il s'agisse du volume de terre prélevé ou du comptage des vers de terre).

On observe environ 30% plus de vers dans les secteurs en rotation courte que ceux en rotation longue. Cette différence est surprenante dans la mesure où nous ne prévoyons pas d'effet du système de culture après une unique année d'expérimentation. De plus nous avons constaté que le protocole n'était pas toujours rigoureusement appliqué par les lycéens aussi nous sommes assez critiques face à ces résultats.

Nous ne saurions pas expliquer une différence de densité des vers dans les parcelles au début de l'expérimentation, mais si elle existe, elle ne gêne pas notre démarche. En effet, si notre hypothèse est vérifiée et que la densité de vers est plus importante dans 10 ans dans la rotation longue, cette différence ne pourra pas être expliquée par une densité initialement plus importante dans ces secteurs.

### c) Perspectives

L'activité des vers de terre n'est pas la même à tout moment de l'année, leur vie étant ralentie en hiver donc recensée en plus petit nombre. Il serait donc intéressant de faire un relevé du nombre de vers de terre plusieurs fois à différents moments de l'année.

Le protocole moutarde [12] consiste à arroser 1m<sup>2</sup> de terre avec de l'eau et de la moutarde et à y compter le nombre de vers de terre remontant en 1h. Ce protocole pourrait constituer une alternative pour augmenter la précision des mesures réalisées par les lycéens.

En complément des mesures programmées dans cette expérimentation, nous proposons une étude de l'activité microbiologique du sol.

## **B) Etude de l'activité microbiologique du sol**

Nous évaluons l'activité biologique du sol grâce à un dosage colorimétrique de la production de CO<sub>2</sub> par la respiration des microorganismes.

### **a) Procédure [13]**

Une solution colorée, permettant de déduire une concentration de CO<sub>2</sub> dégagé par le microbiote du sol grâce à un étalonnage publié, est préparée en solubilisant dans de l'eau distillée, 0.0187g/L de rouge de crésol, 0.315g/L de bicarbonate de sodium et 16.77g/L chlorure de potassium. 40 cuvettes de spectroscopie ont été préparées, toutes suivant la même méthode : on introduit dans de l'agar-agar porté à ébullition, 100mL de solution indicatrice.

1.5 mL de gel sont ensuite coulés dans chaque cuvette. Les cuvettes sont conservées 1 semaine dans des pots hermétiques avec des billes de chaux sodée absorbant le CO<sub>2</sub>, afin de limiter la quantité de CO<sub>2</sub> déjà présente dans les pots. Puis les gels sont mis en contact avec les gaz libérés par la terre pendant 24h et enfin l'absorbance est mesurée par spectrophotométrie.

### **b) Résultat et interprétations**

On observe qu'après 24h, un changement de couleur a eu lieu. On ne peut pas exploiter les valeurs d'absorbance, car la solution de départ est trop concentrée et donc nous sortons de gammes d'étalonnage [13], mais l'éclaircissement global des cuves nous indique que le rouge de crésol a bien réagi avec du CO<sub>2</sub>. Nous n'avons pas reproduit cette expérience par manque de temps.



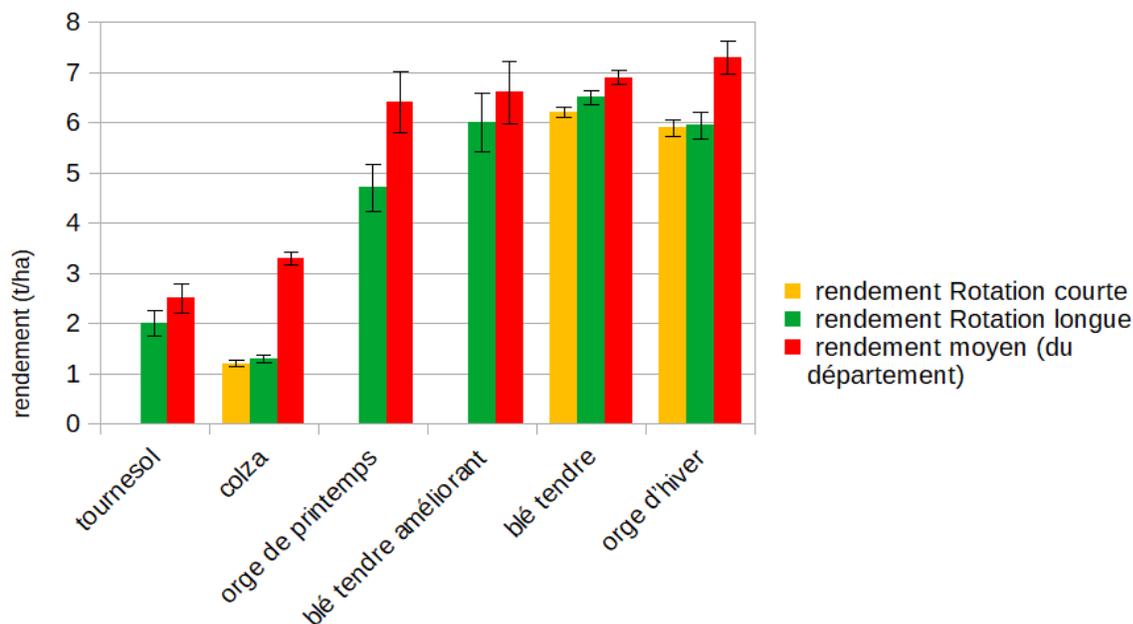
**Figure 7:** Gel en contact avec le CO<sub>2</sub> dégagé par un échantillon de terre.

## **IV) Etude de la rentabilité des deux systèmes de culture**

La rentabilité du système d'exploitation est une condition nécessaire dans cette expérimentation. Cette rentabilité se quantifie en €/ha. Elle prend en compte ce qui a été produit, les charges opérationnelles (semences, engrais, herbicides, fongicides et insecticides) et les charges de mécanisation. Nous comparons la rentabilité entre les deux systèmes.

### **A) Comparaison des rendements**

Les rendements de nos rotations longues et courtes sont extraites d'une base de données privée [6] et comparés au rendement moyen dans le Loiret d'après l'Agreste [14].



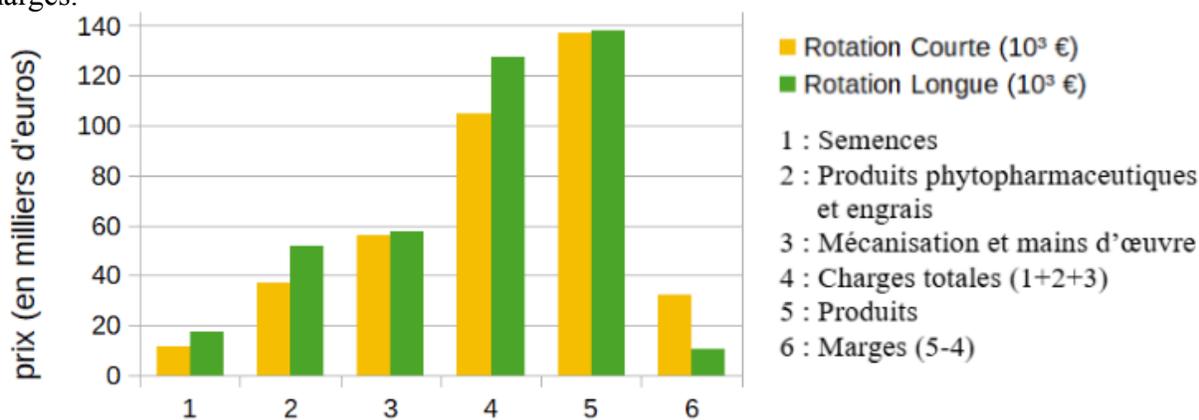
**Figure 8 : Rendement des cultures de 2023-2024 en fonction des rotations**

Les barres correspondent à l'incertitude de mesure de la balance et de la mesure de surface

On observe que les rendements du département sont globalement supérieurs à ceux des deux rotations expérimentales, en particulier pour le colza dont le rendement est de moitié inférieur à celui du département pour les deux rotations. Ceci peut s'expliquer par la présence antérieure de colza, après lequel il est déconseillé d'en planter à nouveau[6], mais aussi du fait que les rendements sont plus faibles sur les parcelles non irriguées. Les rendements entre les deux rotations sont proches ce qui est cohérent avec la démarche suivie visant à obtenir de bons rendements dans les 2 types de culture. La rentabilité ne dépend pas a priori des rendements mais des coûts de production.

### **B) Comparaison des marges économiques des deux rotations pour une exploitation standard de 150 ha**

Nous comparons le coût des semences, des intrants chimiques, de la mécanisation et de la main-d'œuvre et les produits (recettes) à partir des données de l'exploitation [6], puis calculons les marges.



**Figure 9 : Comparaison économique des rotations (ramené à des proportions de surfaces agricoles standards)**

Le coût de la main d'oeuvre et du matériel agricole a été évalué de façon équivalente dans les deux systèmes de culture, mais comparé au système à rotation courte, celui à rotation longue a coûté plus cher en semences que la rotation courte ce qui s'explique par la culture des pois qui a échoué suite à une attaque de pigeons et la bactériose qui a été remplacé par du sorgho (deux semis au lieu d'une) et en produits phytopharmaceutiques et engrais ce qui s'explique par la volonté d'assurer le bon démarrage de la rotation longue, démarrage plus délicat dans la mesure où ce système de culture nouveau n'est pas déjà maîtrisé dans l'exploitation [6].

Les charges totales sont au final plus importantes la 1<sup>ère</sup> année pour le système de rotation longue et les recettes sont comparables, donc la marge réalisée est plus faible. Mais ce déficit peut être compensé si, conformément aux hypothèses de travail, une économie est réalisée sur le coût des intrants.

## CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Nous avons vérifié que certaines caractéristiques des parcelles étaient comparables au début de l'expérience.

Nous sommes réservés sur la méthode utilisée pour mesurer la densité de vers et notre protocole mesurant la respiration des microorganismes du sol n'est pas opérationnel. D'autres protocoles peuvent être testés (comme le protocole moutarde [12] et des tests de décomposition).

Enfin, nous avons constaté qu'économiquement, le système de culture à rotation longue est désavantageux par rapport à un système de rotation courte lors de la première année d'expérimentation, cependant le lancement de cultures non-usuelles nécessite un certain temps d'adaptation [6] d'où la différence de rentabilité.

Dans les années à venir, le système de rotation longue devrait mettre en place un cercle vertueux. En cas de réussite, cette expérience pourrait être réalisée sur des exploitations plus importantes. Cependant en cas d'échec, nous pourrions répéter l'expérience en éloignant les parcelles les unes des autres. De plus, la taille réduite des parcelles rend les résultats de l'expérimentation peu représentatifs pour les agriculteurs.

## SOURCES BIBLIOGRAPHIQUES, WEB et CONTACTS

[1] **ECOPHYTO R&D** Tome VI : “Analyse ex ante de scénarios de rupture dans l’utilisation des pesticides” [pages consultées : pp. 7-8]

[2] **VIAUX Philippe**, 2019, La rotation longue : pratique agricole indispensable pour une agriculture multi-performante

<https://www.adaptation-changement-climatique.gouv.fr/dossiers-thematiques/secteurs-d-activites/agriculture>

[3] **Geneviève MINNE**, 9 Mars 2020, Effets du changement climatique et gestion des risques de production en Wallonie:

[https://www.cra.wallonie.be/fr/effets-changement-climatique-gestion-risques-production-wallonie?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.cra.wallonie.be/fr/effets-changement-climatique-gestion-risques-production-wallonie?utm_source=chatgpt.com)

[4] **Philippe Viaux**, 15 Mai 2019, La rotation longue : pratique agricole indispensable pour une agriculture multi-performante

<https://www.academie-agriculture.fr/actualites/academie/seance/academie/la-rotation-longue-pratique-agricole-indispensable-pour-une>

[5] **Maëva COLOMBET** (2018). “Assolement et rotation: le B.A.-BA de l’agriculture biologique”

[https://lot.chambre-agriculture.fr/fileadmin/user\\_upload/Occitanie/070\\_Inst-Lot/Documents/Bulletins/Bio/2018/bulletin\\_TK\\_bio\\_octobre\\_2018.pdf](https://lot.chambre-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/Occitanie/070_Inst-Lot/Documents/Bulletins/Bio/2018/bulletin_TK_bio_octobre_2018.pdf)

[6] **AURIANE EISENBERG** ingénieur agronome, chef de projet en agroécologie

[7] **Eric Blanchart, institut Agro Montpellier**, les organismes du sol - Contribution des vers de terre à la dynamique de la structure du sol

<https://www.supagro.fr/ress-pepites/OrganismesduSol/co/VDTDynamiqueSol.html#:~:text=Les%20vers%20de%20terre%20sont,en%20eau%20dans%20le%20sol>

[8]: **Bruxelle environnement** , protocole de mesure de la perméabilité

[https://document.environnement.brussels/opac\\_css/elecfile/O015\\_-\\_Fiche\\_n1\\_-\\_Essai\\_pour\\_les\\_particuliers\\_FR.pdf](https://document.environnement.brussels/opac_css/elecfile/O015_-_Fiche_n1_-_Essai_pour_les_particuliers_FR.pdf)

[9]: **02D environnement**, référence perméabilité selon le type de sol, 24 Octobre 2017

<https://www.o2d-environnement.com/observatoires/test-de-permeabilite-sols-etude-coefficient/>

[10] **Agricultural Water Management**, Increasing atmospheric CO2: effects on crop yield, water use and climate.

[11]: Observatoire des **Sciences de l'Université de Rennes**, protocole vers de terre

<https://projets.ecobio.univ-rennes.fr/opvt/testb%C3%AAcheversdeterre>

[12] **Université de Rennes**, protocole moutarde.

<https://projets.ecobio.univ-rennes.fr/opvt/Moutarde>

[13] Biofuntool, N. Rakotondrazafy, page consultés: 26-29  
<https://www.biofunctool.com/content/download/4227/31663/version/1/file/Protocoles+BFT+-+2024-11-04+-+1-43.pdf>

[14] Agreste, données de rendements de cultures par département  
<https://www.terre-net.fr/cultures/article/869514/les-estimations-de-rendements-en-ble-tendre-par-departement>

## REMERCIEMENTS

Nous remercions chaleureusement Auriane Eisenberg pour les informations transmises et pour nous avoir permis d'accéder à une réunion entre professionnels pour comprendre plus amplement les enjeux expérimentaux.

De plus, nous remercions Mme Sabine Saly , enseignante qui nous a permis de nous joindre à la manipulation menée par les lycéens.