

RAPPORT SUR LES COUVERTS VEGETAUX 2020



Photo CREABio : couvert de moutarde blanche et vesce pourpre semé à l'automne, La Hourre février 2021

CREABio

LEGTA Auch-Beaulieu
32020 AUCH Cedex 09

Le CREABio est membre



Enguerrand Burel, Laurent ESCALIER ou Cécile Burtin

Tél : 05.62.61.71.29 ou eburel.creab@gmail.com
laurentcreab@gmail.com, cburtin.creabio@gmail.com



Action réalisée avec le concours financier :

De la Région Occitanie, de l'Agence de l'Eau Adour Garonne et du compte d'affectation spéciale « Développement agricole et rural » géré par le Ministère de l'alimentation de l'agriculture et de la pêche¹ et du Foyer Ludovic LAPEYRERE



Avec la contribution financière
du compte d'affectation spéciale
«développement agricole et rural»



¹ la responsabilité du ministère de l'alimentation de l'agriculture et de la pêche ne saurait être engagée

INTRODUCTION

Les fertilisants du commerce n'étant que peu efficaces et très coûteux, l'un des enjeux majeurs de l'agriculture biologique reste la fertilisation des sols. Les couverts végétaux peuvent permettre un certain apport d'éléments nutritifs et on les appelle des engrais verts^[1] lorsqu'ils sont justement conduits entre 2 cultures d'intérêt pour fertiliser la culture de vente suivante, principalement à travers un apport d'azote.

L'objectif général de ces essais est de fournir des conseils aux producteurs sur les itinéraires techniques pour la mise en place de couverts végétaux selon leur période d'implantation, de donner des informations sur la biomasse produite et les quantités d'éléments minéraux prélevés par les couverts et de quantifier les quantités d'azote disponibles pour la culture suivante. Pour cela, deux dispositifs sont mis en place chaque année correspondant à des périodes d'implantation différentes. La 1^{ère} période d'implantation se situe au printemps avec le semis de couverts végétaux sous couvert d'une céréale à paille au stade plein tallage. La deuxième période d'implantation se situe en fin d'été / début d'automne en interculture. Pour le dispositif semé au printemps, il s'agit de tester des légumineuses semées en pur et pour celui testé à l'automne il s'agit de mélanges bispécifiques associant une légumineuse à une non légumineuse.

Pour chaque couvert ont été suivis :

- la biomasse produite
- la quantité d'éléments minéraux absorbés dans les parties aériennes (N-P-K)
- l'effet de biocontrôle du couvert sur le développement des adventices
- le suivi de l'azote minéral du sol
- la culture hôte afin de mesurer d'éventuels effets concurrentiels du couvert pour le dispositif semé sous couvert

Pour les deux dispositifs, il y a présence d'une modalité sans couvert qui sert de témoin.

Il est également prévu de réaliser un suivi en 2^{ème} année pour mesurer les quantités d'azote minéral disponibles au semis de la culture suivante pour les différents couverts, et l'impact de ces derniers sur la culture suivante : rendement, qualité, ainsi que le développement des adventices.

Le CREABio tient à remercier l'UMR AGIR de l'INRA Toulouse pour l'aide apportée à ces essais aussi bien pour la réalisation des analyses de sols, le choix des couverts et son appui pour le protocole. Nos remerciements vont ensuite à Semences de France, Caussade Semences, RAGT Semences et Jouffray-Drillaud qui nous ont gracieusement fourni les semences des couverts.

[1] Marie Thromas, Pierre Bompard, Simon Giuliano. 2018. Engrais vert : Définition. Dictionnaire d'Agroécologie, <https://dicoagroecologie.fr/encyclopedie/engrais-vert/>

TABLE DES MATIERES

Partie I. Engrais verts semés sous couvert d'un blé.....	6
1. Description de l'essai.....	6
a. Situation de l'essai	6
b. Type d'essai et modalités d'expérimentation.....	6
c. Conduite de la culture hôte du couvert.....	7
2. Les résultats.....	8
a. Développement des couverts sous le blé	8
b. Récolte du blé	8
c. Production de biomasse des couverts et maîtrise des adventices lors de l'interculture	9
d. Teneurs en éléments minéraux des couverts.....	9
e. Reliquats azotés à la destruction	10
3. Discussion sur les couverts de printemps : légumineuses semées dans le blé	11
Partie II. Engrais vert semés en interculture	12
1. Description de l'essai.....	12
a. Situation de l'essai	12
b. Type d'essai et modalités d'expérimentation.....	12
c. Conduite de la culture.....	13
2. Les résultats.....	14
a. Biomasses des couverts avant destruction.....	14
b. Les éléments prélevés par le couvert végétal.....	14
c. Reliquats azotés implantation/destruction	16
3. Discussion sur les couverts.....	17
Partie III. Suivi des arrières effets des couverts d'automne 2019.....	18
a. Description de l'essai	18
b. Les résultats	20
4. Discussion sur les effets des couverts sur soja	23

LISTE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Texture de la parcelle LH8.....	6
Figure 2 : Photos des couverts de printemps au 1er mars 2021.....	8
Figure 3 : Moyenne (\pm écarts-types) des biomasses des couverts et des adventices à la destruction.	9
Figure 4 : Quantité d'éléments azote (N), phosphore (P) et potassium (K) absorbés (\pm écarts-types) par les couverts et les adventices (Adv) à la destruction.....	10
Figure 5 : Reliquats azotés (\pm écarts-types) dans les prélèvements de sol effectués par modalité à la destruction de l'essai couverts de printemps sur 4 horizons.....	10
Figure 7 : Biomasses aériennes des couverts bispécifiques semés à l'automne et des adventices.	14
Figure 8 : Quantité d'éléments azote (N), phosphore (P) et potassium (K) absorbés par les couverts et des adventices (kg/ha).	15
Figure 9 : Reliquats azotés (\pm écarts-types) dans les prélèvements de sol effectués par modalité à l'implantation (en haut) et à la destruction (en bas) de l'essai sur quatre horizons	16
Figure 15 : Texture de la parcelle LH7 (0 - 40 cm)	18
Figure 16 : Reliquats azotés (\pm écarts-types) à l'implantation du soja pour chaque modalité sur quatre horizons	18
Figure 17 : Biomasse aérienne sèche des couverts semés à l'automne 2019.....	20
Figure 18 : Rendements et teneurs en protéines des grains (moyennes \pm écarts-types) du soja pour les différentes modalités..	21
Figure 19 : Teneurs en éléments absorbés (abs) azote (N), phosphore (P) et potassium (K) des grains et des tiges de soja à la récolte exprimées en kg/ha.	22
Figure 20 : Climat sur la campagne 2020-2021 des couverts de printemps et d'automne 2020 (données station météo INRA).....	25
Tableau 1 : Variétés et densités de semis des couverts. Le trèfle violet est diploïde.	7
Tableau 2 : Itinéraire technique de l'essai.....	7
Tableau 3 : Rendement, PMG, impuretés, teneurs en protéines et PS des blés hôtes du couvert (\pm écarts-types).....	8
Tableau 4 : Espèces et densités de semis pour l'essai couvert d'automne.....	13
Tableau 5 : Itinéraire technique de l'essai.....	13
Tableau 6 : Teneurs en éléments azote (N), potassium (K) et phosphore (P) des couverts par espèce et des adventices en g/kg de matière sèche.....	15
Tableau 7 : Espèces et densités de semis pour l'essai couvert d'automne 2019.....	19
Tableau 8 : Itinéraire technique de l'essai couverts d'automne 2019.	19
Tableau 9 : Les moyennes et écart-types des différentes composantes du rendement, pertes à la levée et architecture de la plante avant récolte.	21

Partie I. Engrais verts semés sous couvert d'un blé

L'objectif de cet essai est d'évaluer les services rendus, la facilité et la réussite d'implantation de différentes légumineuses semées au printemps sur les terres argilo-calcaires du site de La Hourre, représentatives des terres des côteaux de Gascogne. Leur production de biomasse et leur capacité à maîtriser les adventices est également évaluée.

1. Description de l'essai

a. Situation de l'essai

Lieu : 32 000 AUCH, domaine expérimental de la Hourre

Sol : argilo-calcaire profond, parcelle LH8 (**Figure 1**)

Climat : océanique dégradé, la campagne climatique est donnée en **Annexe 2**

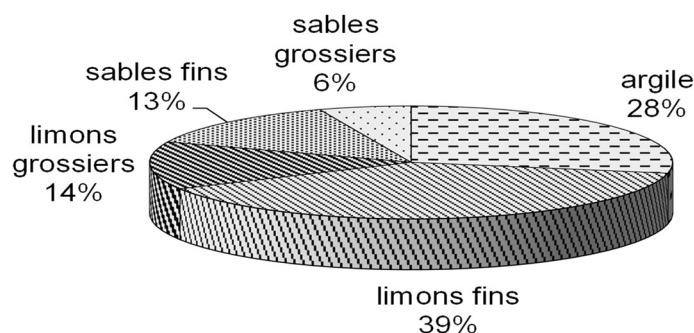


Figure 1 : Texture de la parcelle LH8

b. Type d'essai et modalités d'expérimentation

L'essai se présente en blocs à trois répétitions (**Annexe 1**), avec observations et mesures réalisées sur quatre placettes (cadre de 0,25 m² : 0,5 m x 0,5 m) par parcelle élémentaire. Des prélèvements de biomasse sont réalisés juste avant la destruction des couverts, 11 à 12 mois après leur implantation. Le facteur étudié est le couvert végétal pour lequel il y a 4 modalités (**Tableau 1**).

Cette année, du lotier, du sainfoin et du trèfle violet sont comparés à une modalité sans couvert. Le lotier et le sainfoin sont appréciés comme culture fourragère car ce sont des espèces non météorisantes du fait de leur richesse en tanins. Elles présentent ainsi un intérêt pour l'alimentation animale et peuvent être fauchées ou pâturées. Ce sont des plantes faciles à planter et à détruire, peu sensibles au froid et au manque d'eau ce qui est particulièrement intéressant sur les terres peu profondes des côteaux du Gers. Ces deux cultures ont été délaissées au profit de la luzerne mais elles jouissent aujourd'hui d'un regain d'intérêt auprès des éleveurs pour leurs nombreuses qualités. Le trèfle violet est notre référence, il s'agit d'une espèce bien adaptée à nos terres et notre climat.

Tableau 1 : Variétés et densités de semis des couverts. Le trèfle violet est diploïde.

Espèce	Code	Variété	Dose de semis (kg/ha)	Remarques
Absence couvert	CV1	-	-	Témoin sans couvert
Lotier	CV2		8	
Sainfoin	CV3		50	
Trèfle violet	CV4	Sangria	10	Référence actuelle

Les résultats sont analysés par ANOVA (analyse de variance) réalisée avec Expé R au risque alpha de 5%. Si l'ANOVA s'avère significative sur le facteur étudié, elle est complétée d'un test de Tukey pour former des groupes homogènes entre les modalités.

c. Conduite de la culture hôte du couvert

Le précédent cultural était un soja, récolté en octobre 2019. Du fait des conditions climatiques très pluvieuses de l'automne 2019, le blé a été mis en place très tardivement, le 15 janvier 2020 (**Tableau 2**). Il n'a pas été fertilisé et a été récolté dans de bonnes conditions le 16 juillet 2020. Les couverts de légumineuses ont été implantés tardivement en avril dans un blé au stade tallage et ont été détruit début mars 2021.

Tableau 2 : Itinéraire technique de l'essai. BTH = blé tendre d'hiver ; PMG = Poids de Mille Grains.

Date	Stade culture	Intervention	Matériel utilisé	Remarques
10/10/2019	Maturité	Récolte soja	Moissonneuse	
14/10/2019	Interculture	Déchaumage	Déchaumeur à disques	
06/01/2020	Interculture	Travail du sol	Cracker	
15/01/2020	Semis BTH	Semis mélange fermier ENERGO + RENAN	Semoir combiné	Pesée semis : 178,5 kg/ha ; PMG : 45,22g
19/03/2020	Début tallage	Désherbage	Herse étrille	Réglage : 6/6
08/04/2020	Tallage	Désherbage	Herse étrille	Réglage : 6/6
10/04/2020	Semis	Semis essai	Semoir pour essai	
16/07/2020	Maturité	Récolte blé	Moissonneuse	
23/02/2021	Végétaux	Prélèvement biomasse maximum	Cadre 0,25 m ²	4 cadres/répétition, bloc 3 et 2
24/02/2021	Végétaux	Prélèvement biomasse maximum	Cadre 0,25 m ²	4 cadres/répétition, bloc 2 et 1

La levée du blé a été observée le 1^{er} février 2020. L'hiver a été très doux, ce qui a pu compenser le semis tardif. L'essai est resté propre grâce aux passages de herse étrille. Pour le semis des couverts dans la culture de blé, un semoir pour essais a été utilisé (semoir en ligne à socs) en ne mettant aucune pression sur les descentes. Une quantité de semoule fine de 10g a été mélangée aux grains de trèfle violet et de lotier à semer pour homogénéiser leur implantation.

2. Les résultats

a. Développement des couverts sous le blé

Les couverts ont été semés dans des conditions sèches et malgré la pluie qui a suivi leur implantation, le printemps a été sec ce qui a pu limiter leur développement. La levée a été d'ailleurs été hétérogène et majoritairement localisée sur les passages de roues, zones plus tassées qui devaient proposer un meilleur contact avec le sol pour les semences. Les légumineuses se sont ensuite bien développées (**Figure 2**).



Figure 2 : Photos des couverts de printemps au 1er mars 2021. Crédit photographique : CREABio.

b. Récolte du blé

Les blés ont été récoltés à la moissonneuse en juillet. Cette année encore, le développement des couverts à la récolte du blé a été faible et aucun effet des couverts n'a été observé sur la culture en place (**G**). Les rendements 2020 ont été faibles (12,8 q/ha en moyenne) et les protéines ont également été assez faibles (en moyenne 11%). L'analyse de variance ne montre pas de différences entre les modalités en termes de rendement et de teneur en protéines. Ce résultat rejoint les constats fait les années précédentes, à savoir que la présence des légumineuses n'a aucun effet sur le blé implanté.

Tableau 3 : Rendement, PMG, impuretés, teneurs en protéines et PS des blés hôtes du couvert (\pm écarts-types). Les impuretés sont exprimées en % du poids frais. Le poids spécifique (PS) est exprimé pour une humidité aux normes de 15%, de même que le PMG (Poids de Mille Grains) et le rendement. La teneur en protéines est celle mesurée à l'Inframatic.

Modalité	Rendement (q/ha)	PMG (g)	Impuretés (%)	Taux de protéines (%)	PS (kg/hl)
Absence couvert	12,9 \pm 1,1	35,4 \pm 0,7	3,9 \pm 1,5	11,2 \pm 0,2	77,5 \pm 0,3
Lotier	12,6 \pm 1,6	35,8 \pm 0,7	3,3 \pm 0,2	11,4 \pm 0,3	77,3 \pm 0,3
Sainfoin	12,7 \pm 2,0	35,9 \pm 0,7	2,8 \pm 0,6	11,1 \pm 0,3	77,6 \pm 0,9
Trèfle violet	13,1 \pm 2,7	35,7 \pm 1,1	3,1 \pm 1,0	11,1 \pm 0,4	77,6 \pm 0,5

c. Production de biomasse des couverts et maîtrise des adventices lors de l'interculture

Dans l'ensemble, la levée des légumineuses a été hétérogène et assez faible (**Figure 3**), les conditions sèches au semis et à l'été n'ayant pas permis un bon développement du couvert. Le sainfoin est le couvert qui a produit le plus de biomasse, 1656 kg/ha, ce qui est trois fois plus important et significativement supérieur à la production du lotier, de 509 kg/ha. Le trèfle violet a une production intermédiaire aux deux autres légumineuses, de 1198 kg/ha.

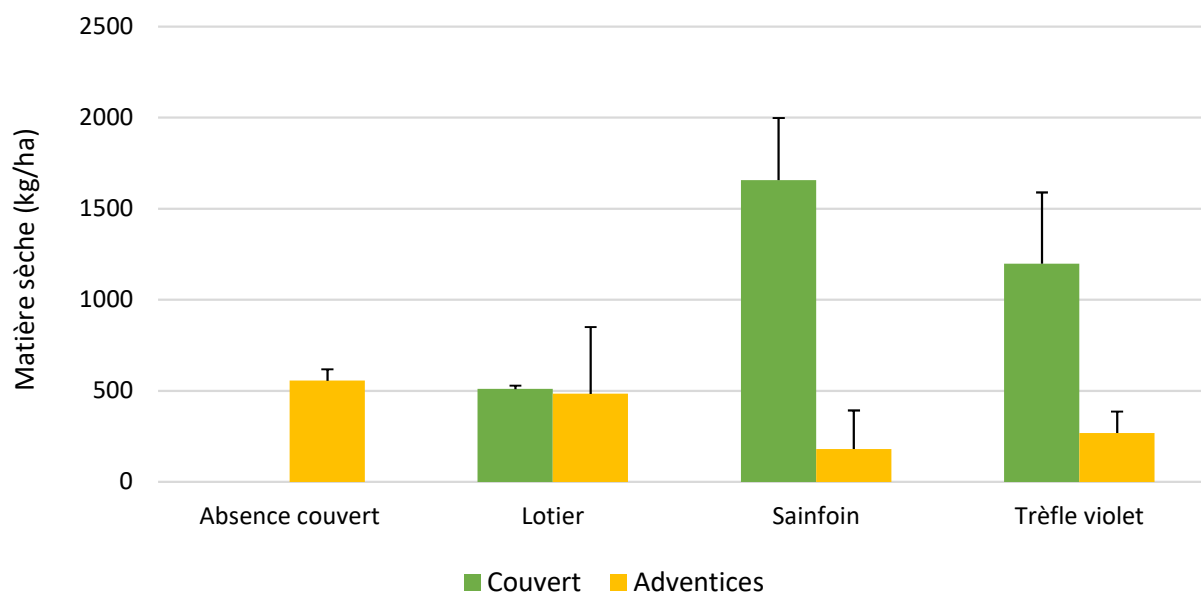


Figure 3 : Moyenne (\pm écarts-types) des biomasses des couverts et des adventices à la destruction.

Les adventices étaient présentes cette année (helminthie et moutarde en majorité sur la parcelle) pour une biomasse produite de 462 kg/ha en moyenne sur l'ensemble de l'essai. La biomasse adventice la plus forte est celle de la modalité sans couvert (555 kg/ha) et la plus faible et celle de la modalité sainfoin (180 kg/ha) sans qu'il n'y ait de différence statistique entre les modalités pour un risque alpha de 5% mais pour un risque alpha de 9%. Ainsi, malgré l'hétérogénéité de la levée, la mise en place de couvert a probablement permis une certaine gestion des adventices dans les situations où la production de biomasse n'était pas trop faible, ce qui a été le cas du lotier.

d. Teneurs en éléments minéraux des couverts

Le lotier, affiche des teneurs en azote significativement plus importantes que le trèfle et le sainfoin et des teneurs en potassium significativement plus élevées que le sainfoin. Ceci peut s'expliquer par sa faible biomasse qui implique une moindre dilution des éléments dans la plante. Si l'on regarde les quantités d'éléments absorbés (**Figure 4**), c'est le sainfoin a piégé le plus d'éléments azote (55 kg/ha) et phosphore (5 kg/ha). Les quantités piégées de potassium ne sont pas significativement différentes entre les différentes légumineuses. En considérant la quantité totale d'éléments absorbés, la mise en place de sainfoin ou de trèfle violet a permis d'augmenter significativement la quantité d'éléments N, P et K qui sera potentiellement restituée par rapport à la modalité sans couvert.

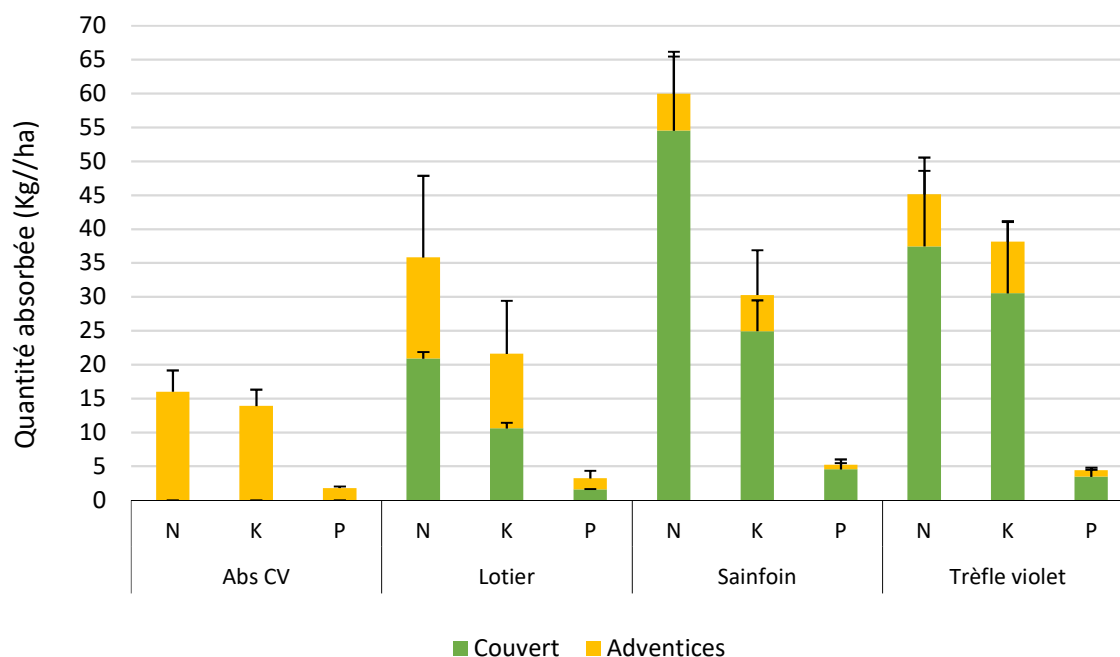


Figure 4 : Quantité d'éléments azote (N), phosphore (P) et potassium (K) absorbés (\pm écarts-types) par les couverts et les adventices (Adv) à la destruction.

e. Reliquats azotés à la destruction

Les reliquats azotés n'ont pu être mesurés à la mise en place de l'essai au printemps 2020. En revanche, des mesures ont été réalisées à la destruction (**Figure 5**).

Le premier horizon de la modalité sainfoin présente une quantité d'azote minéral significativement supérieure à celles des modalités sans couvert et lotier. En revanche, si on considère l'ensemble des différents horizons, les différences ne sont plus significatives. À supposer que les reliquats initiaux entre modalités soient équivalents, les couverts n'ont pas eu d'effet significatif sur les reliquats à la date de destruction.

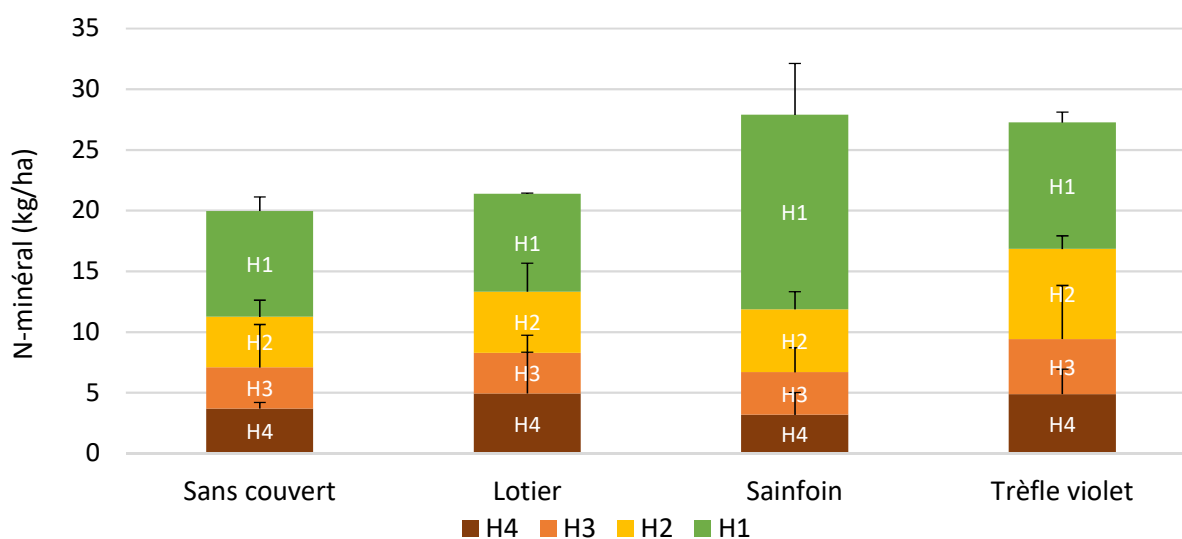


Figure 5 : Reliquats azotés (\pm écarts-types) dans les prélèvements de sol effectués par modalité à la destruction de l'essai couverts de printemps sur 4 horizons : H1 de 0 à 30 cm, H2 de 30 à 60 cm, H3 de 60 à 90 cm et H4 de 90 à 120 cm.

3. Discussion sur les couverts de printemps : légumineuses semées dans le blé

Cette année est la 1^{ème} année de résultats de l'essai couverts de printemps avec sainfoin et lotier sur les 6 années d'expérimentation de couverts semés dans du blé. Les 5 premières années, deux espèces de trèfle et plusieurs luzernes (d'abord une luzerne annuelle puis une luzerne méditerranéenne plus adaptée aux conditions pédoclimatiques de la région) ont été testées. Cette année, seul le trèfle violet a été gardé comme référence et les autres espèces ont été remplacées par du lotier et du sainfoin, des légumineuses très demandées par les éleveurs du fait de leur qualités fourragères.

Comparé au trèfle violet, le sainfoin a produit une plus grande biomasse sans que la différence soit significative cette année. La mise en place de ces deux légumineuses permet d'augmenter significativement la quantité d'éléments N et P piégés lors de l'interculture par rapport à une modalité de couvert spontané (sol nu). En revanche, le lotier présentait de fortes teneurs en éléments N, P et K mais également une plus faible biomasse que le sainfoin ou le trèfle violet.

Dans l'ensemble, les légumineuses semées dans des conditions sèches ont présenté une levée hétérogène et un faible développement. De ce fait, leur intérêt en termes de gestion des adventices s'en est trouvé très limité. Cependant, au vu du pouvoir couvrant observé du sainfoin notamment, il est intéressant de poursuivre l'expérimentation pour évaluer ces légumineuses dans de meilleures conditions d'implantation et de développement.

Partie II. Engrais vert semés en interculture

L'objectif de cet essai est d'évaluer des couverts de mélange bispécifique composés d'une légumineuse et d'une non-légumineuse (graminée ou brassicacée) en termes de facilité et de réussite d'implantation, de production de biomasse et de capacité à prélever les éléments azote (N), phosphore (P) et potassium (K). Cet essai s'inscrit également dans le projet Phosphobio qui s'intéresse aux questions de l'évolution de la fertilité phosphore dans les systèmes agricoles en agriculture biologique.

1. Description de l'essai

a. Situation de l'essai

Lieu : 32 000 AUCH, domaine expérimental de la Hourre

Sol : Argilo-calcaire profond, parcelle LH8 (**Figure 1**)

Climat : Océanique dégradé, le contexte annuel est détaillé en **Annexe 2**

b. Type d'essai et modalités d'expérimentation

L'essai se présente en blocs à trois répétitions (**Annexe 2**), avec observations et mesures réalisées sur quatre placettes (cadre de 0,25 m² [0,5 m x 0,5 m]) par parcelle élémentaire. Le facteur étudié est le couvert végétal dont les différentes modalités sont présentées dans le **Tableau 4** : deux légumineuses sont testées (une vesce pourpre et un radis fourrager) associées à 4 espèces non-légumineuses (moutarde blanche ou avoine rude avec la vesce, radis fourrager ou sorgho fourrager avec le trèfle).

Le mélange vesce pourpre + moutarde blanche est notre référence pour les mélanges bispécifiques semés à l'automne. La vesce pourpre est vigoureuse à l'implantation ce qui est intéressant pour une conduite en association avec la moutarde et peut être facilement détruite. L'autre légumineuse choisie, le trèfle incarnat, a un développement plus rapide que la majorité des autres trèfles à l'automne et semble adapté à des destructions tardives au printemps.

L'avoine rude/brésilienne/diploïde (Avoine de printemps) est allélopathique et très compétitive. Les composés à la base de son allélopathie sont des composés phénoliques qui sont produits dans toute la biomasse de la plante et qui sont exsudés en végétation par les racines. Leur action est directe en végétation mais aussi indirecte par dégradation des tissus de la plante lors de l'incorporation des résidus.

Le radis fourrager est très tolérant à la chaleur et au stress hydrique, sa floraison est plus tardive que celle de la moutarde blanche. Il est facile à planter, se développe rapidement et semble plus adapté que la moutarde aux associations avec des légumineuses.

Le sorgho fourrager est résistant au stress hydrique mais est très sensible au froid et au gel. Il sera donc plus adapté à des semis juste après la moisson pour avoir le temps de produire de la biomasse. C'est une plante qui produit beaucoup de biomasse, dont la mesure devra être effectuée plus précocement que pour les autres espèces, dès que les températures descendront en dessous des 10-12°C.

Le choix variétal de ces différentes espèces se base sur les travaux de l'INRAE, le caractère intéressant sélectionné étant la capacité à prélever du phosphore.

Tableau 4 : Espèces et densités de semis pour l'essai couvert d'automne. Les semences des différents couverts ont été fournies par les sociétés Semences de France, Caussade Semences, RAGT Semences et Jouffray-Drillaud. Les noms des variétés sont spécifiés entre parenthèses.

Espèces	Dose légumineuse + non-légumineuse	Remarques
Absence couvert	-	Témoin sans couvert
Vesce pourpre (VIOLINE) + moutarde blanche (ARCHITECT)	15 kg/ha + 3 kg/ha	Témoin mélange engrais vert
Vesce pourpre (VIOLINE) + Avoine rude (OCEANE)	15 kg/ha + 15 kg/ha	
Trèfle incarnat (CEGALO) + Radis fourrager (ROMESA)	8 kg/ha + 5 kg/ha	
Trèfle incarnat (CEGALO) + Sorgho fourrager (SUDAL)	8 kg/ha + 15 kg/ha	Sorgho gélif

Les résultats sont analysés par ANOVA (analyse de variance) réalisée avec Expé R au risque alpha de 5%. Si l'ANOVA s'avère significative sur le facteur étudié, elle est complétée d'un test de Tukey pour former des groupes homogènes entre les modalités.

c. Conduite de la culture

La culture mise en place est un blé tendre sur précédent soja, semé très tardivement le 15 janvier 2020 et récolté en juillet (**Tableau 5**). Le semis des couverts a été fait dans de bonnes conditions sur sol très sec mais 2 jours avant une pluie, assez tardivement en revanche, à la mi-septembre.

Tableau 5 : Itinéraire technique de l'essai.

Date	Stade culture	Intervention	Matériel utilisé	Remarques
13/07/2020	Maturité	Récolte blé tendre	Moissonneuse	
28/07/2020	Interculture	Déchaumage	Déchaumeur à disques	
14/09/2020	Interculture	Reprise du sol	Chisel	
14/09/2020	Interculture	Préparation du sol	Herse rotative	
15/09/2020	Semis	Semis essai	Semoir pour essai	
15/09/2020	Post-semis	Roulage semis	Rouleau squelette	
01/03/2021	Végétation	Prélèvement biomasse maximum	Cadre 0,25 m ²	4 cadres/répétition
02/03/2021	Végétation	Prélèvement biomasse maximum	Cadre 0,25 m ²	4 cadres/répétition

2. Les résultats

a. Biomasses des couverts avant destruction

Le sorgho a très vite gelé, atteignant à peine le stade 3 feuilles, du fait de l'implantation assez tardive des couverts et des températures qui ont rapidement baissées cette année (-2°C en moyenne au mois d'octobre par rapport à la moyenne sur 20 ans). Ainsi, aucune valeur de biomasse n'a été mesurée pour cette espèce et le couvert « Trèfle incarnat et sorgho fourrager » correspond à un couvert de trèfle incarnat uniquement dans la suite du rapport.

Les autres couverts se sont bien développés, le radis fourrager étant l'espèce non-légumineuse qui a produit le plus de biomasse (2 741 kg/ha). Vesce et trèfle incarnat ont produit des biomasses équivalentes, dépendantes de leur association avec la non-légumineuse : le trèfle incarnat associé au sorgho a produit une biomasse deux fois plus importante que celui associé au radis fourrager, ce qui peut s'expliquer par la différence de développement de la non-légumineuse associée. En revanche, la vesce pourpre a produit deux fois plus de biomasse lorsqu'elle était associée à l'avoine rude par rapport à la moutarde blanche alors qu'il n'y a pas de différence significative de production de biomasse entre moutarde et avoine. Cependant, l'écart de biomasse de la vesce entre ces deux modalités n'est pas significatif.

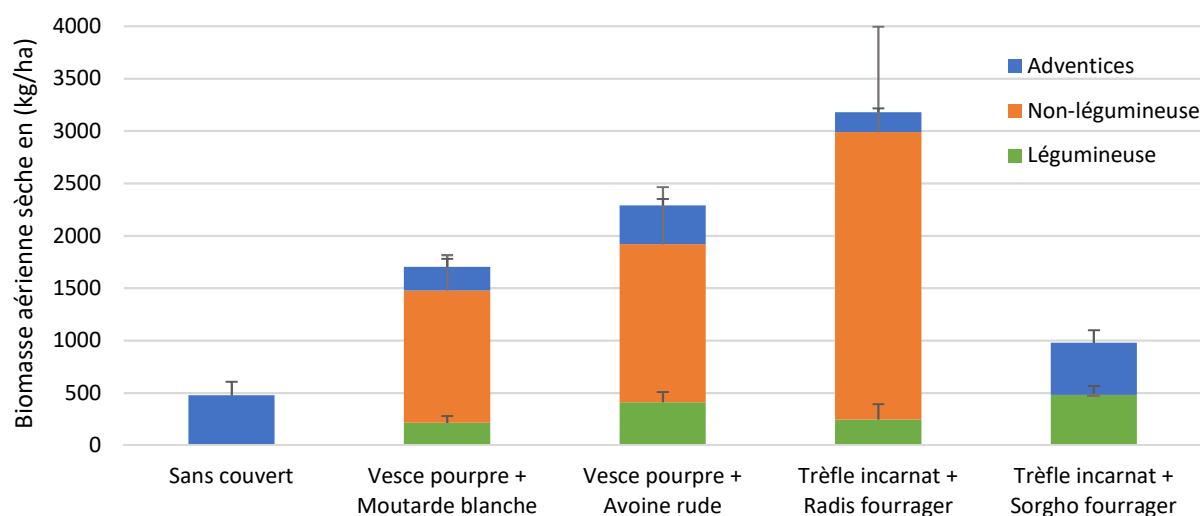


Figure 6 : Biomasses aériennes des couverts bispécifiques semés à l'automne et des adventices. Les barres d'erreur correspondent aux écart-types calculés sur les 3 répétitions pour chaque catégorie.

b. Les éléments prélevés par le couvert végétal

Les teneurs en éléments N, P et K prélevées par les différentes espèces du couvert et les adventices sont présentées dans le **Tableau 6**.

La vesce pourpre a des teneurs en éléments en azote significativement plus élevées que le trèfle incarnat (3,6 % de la biomasse sèche contre 2,7 % en moyenne). Au contraire, le trèfle incarnat a des teneurs en potassium significativement plus élevées que la vesce (25,5 g/kg contre 19,4 g/kg en moyenne). Les teneurs en phosphore sont équivalentes entre les deux légumineuses (3,2 g/kg en moyenne).

Le radis fourrager présente des teneurs en azote et en potassium significativement plus élevées que la moutarde blanche et l'avoine rude. La moutarde blanche présente également des teneurs en azote significativement plus importantes que l'avoine rude en revanche, c'est l'avoine rude qui affiche des teneurs en potassium significativement plus élevées que la moutarde. Il n'y a pas de différences significatives entre les espèces de non-légumineuses concernant les teneurs en phosphore.

Tableau 6 : Teneurs en éléments azote (N), potassium (K) et phosphore (P) des couverts par espèce et des adventices en g/kg de matière sèche.

	Couvert légumineuse			Couvert non-légumineuse			Adventices		
	N	K	P	N	K	P	N	K	P
Absence couvert	-	-	-	-	-	-	25,2 (± 1,8)	26,9 (± 1,5)	3 (± 0,3)
Vesce pourpre + Moutarde blanche	35,4 (± 2,2)	18,3 (± 0,8)	2,9 (± 0,4)	22,2 (± 0,4)	19 (± 0,3)	2,3 (± 0,2)	27,4 (± 2,2)	33,8 (± 3,7)	3,7 (± 0,4)
Vesce pourpre + Avoine rude	35,7 (± 1,9)	20,4 (± 1,9)	3,1 (± 0,2)	15,4 (± 0,6)	26,1 (± 0,8)	2,9 (± 0,2)	23,4 (± 2,6)	34,6 (± 1,4)	3,4 (± 0,4)
Trèfle incarnat + Radis fourrager	27 (± 0,8)	25,6 (± 1,5)	3,5 (± 0,1)	27,1 (± 2,7)	33 (± 2,9)	3,2 (± 0,4)	24,2 (± 3,6)	32,3 (± 2,3)	4,3 (± 0,2)
Trèfle incarnat + Sorgho fourrager	26,5 (± 1,3)	25,5 (± 0,3)	3,2 (± 0,2)	-	-	-	23,8 (± 3,1)	27,3 (± 1,6)	3,2 (± 0,2)

Le mélange trèfle incarnat + radis fourrager est celui ayant absorbé le plus d'éléments : 87 kg/ha en moyenne pour l'azote contre 31 kg/ha en moyenne pour les autres modalités ; 105 kg/ha en moyenne pour le potassium contre 34 kg/ha en moyenne pour les autres modalités ; 11 kg/ha en moyenne pour le phosphore contre 4 kg/ha pour les autres modalités (**Figure 7**). Ces différences sont fortement significatives et la modalité sans couvert est toujours celle ayant absorbé le moins d'éléments.

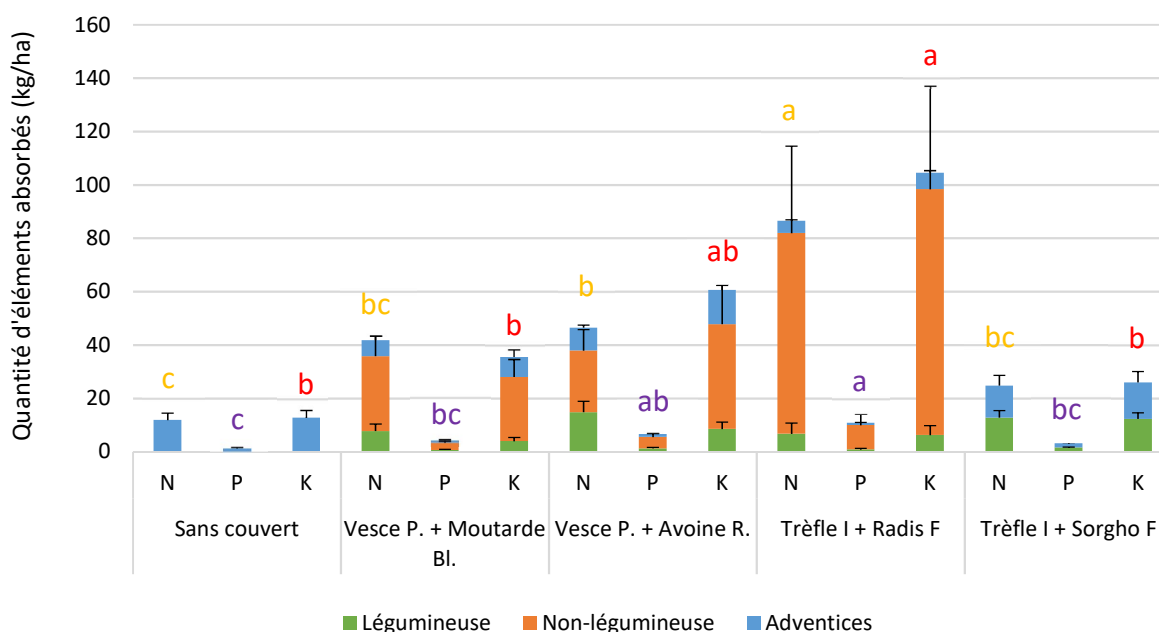


Figure 7 : Quantité d'éléments azote (N), phosphore (P) et potassium (K) absorbés par les couverts et des adventices (kg/ha). Les barres d'erreur donnent les écart-types calculés à partir des 3 répétitions. Les lettres correspondent aux résultats des tests de Tukey réalisés par éléments (les modalités avec la même lettre pour un même élément (identifié par la couleur : jaune pour l'azote, violet pour le phosphore et rouge pour le potassium) font partie d'un même groupe homogène et ne présentent donc pas de différences significatives pour cet élément).

c. Reliquats azotés implantation/destruction

Des mesures de reliquats azotés ont été réalisées sur quatre horizons de l'essai à l'automne 2020 au moment de l'implantation puis au printemps 2021 à la destruction. A l'implantation, les reliquats sont assez homogènes au sein de l'essai. Il y a un petit effet bloc, pris en compte dans les résultats précédent mais les différentes modalités ne présentent pas de reliquats significativement différents au moment de l'implantation (**Figure 8**).

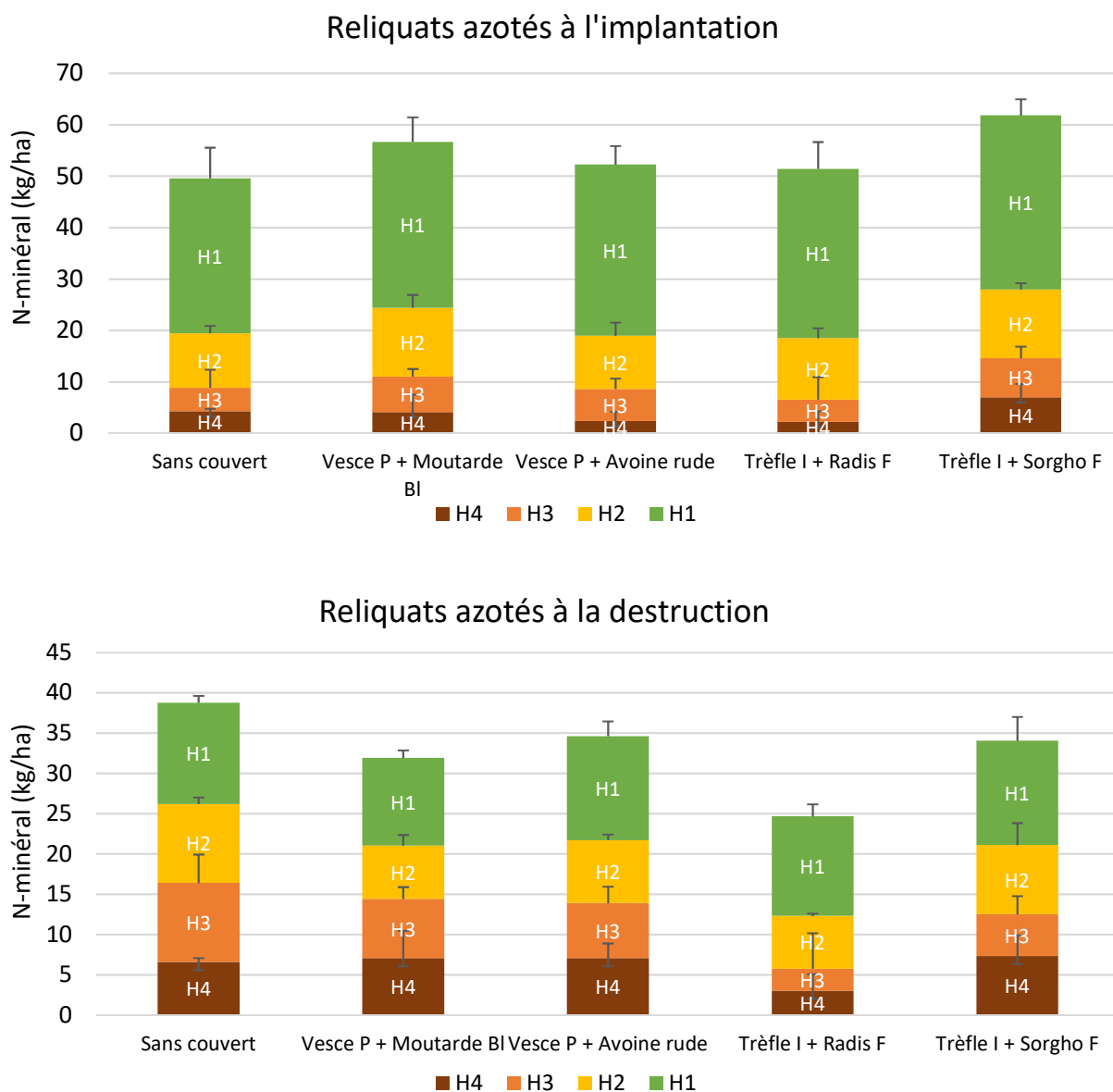


Figure 8 : Reliquats azotés (\pm écarts-types) dans les prélèvements de sol effectués par modalité à l'implantation (en haut) et à la destruction (en bas) de l'essai sur quatre horizons : H1 = horizon 1 (0-30 cm) ; H2 = horizon 2 (30-60 cm) ; H3 = horizon 3 (60-90 cm) ; H4 = horizon 4 (90-120 cm)

3. Discussion sur les couverts

Les couverts de cette année se sont bien développés, le mélange trèfle incarnat + radis fourrager a notamment bien fonctionné avec une bonne production de biomasse et une bonne gestion des adventices. En termes de capacité d'extraction des éléments azote, phosphore et potassium, ce sont les mélanges vesce + avoine rude et trèfle incarnat + sorgho fourrager qui se sont démarqués.

Aucune mesure n'a cependant pu être réalisée pour le sorgho fourrager du fait d'arrivée précoce de basses températures.

Suite à cette septième année d'essai de couverts végétaux semés en interculture, certaines espèces semblent plus adaptées que d'autres :

- La féverole d'hiver (essai 2014) n'est pas adaptée à un semis de fin août / début septembre car semé tôt elle est vite pénalisée par la maladie. A privilégier pour les implantations tardives
- Les espèces gélives comme le moha, sarrasin, avoine rude, sorgho nécessitent d'être semées précocement pour pouvoir développer leur biomasse avant les premiers gels qui peuvent intervenir en octobre. La production de biomasse sera donc aléatoire. Toutes les espèces réputées gélive n'ont pas la même sensibilité au gel par exemple, le sarrasin est beaucoup plus sensible que l'avoine rude et le sorgho se détériore dès que les températures passent en dessous des 10 à 12°C
- La vesce et la lentille se développent bien si la non-légumineuse associée n'est pas trop étouffante. Ce constat s'est vérifié avec la vesce qui s'est beaucoup mieux développée dans le mélange avec la moutarde brune (qui a produit peu de biomasse) que celui avec la moutarde blanche (qui a produit beaucoup de biomasse)
- Les associations avec des brassicacées (moutardes ou radis) + vesce semblent intéressantes pour maintenir un minimum de compétition des adventices tout en produisant de la biomasse qui pourra potentiellement avoir un effet engrais vert sur la culture suivante (notamment grâce à une bonne proportion légumineuse/non-légumineuse)
- Concernant l'avoine rude, les résultats sur 4 ans montrent une certaine variabilité inter annuelle sur la biomasse produite mais dans l'ensemble c'est une espèce qui permet une production assez élevée de biomasse. Elle a donc sa place en tant que couvert associé pour la production de biomasse mais attention à la compétition avec la lentille qui peut être trop forte pour le bon développement de la légumineuse. La vesce semble moins sensible à sa compétition, les résultats des prochaines années permettront de valider l'efficacité de ce mélange.

Partie III. Suivi des arrières effets des couverts d'automne 2019

a. Description de l'essai

Situation de l'essai

Lieu : 32 000 AUCH, domaine expérimental de la Hourre

Sol : Argilo-calcaire profond, parcelle LH7 (**Figure 9**)

Climat : Océanique dégradé, le contexte annuel est détaillé en **Annexe 2**

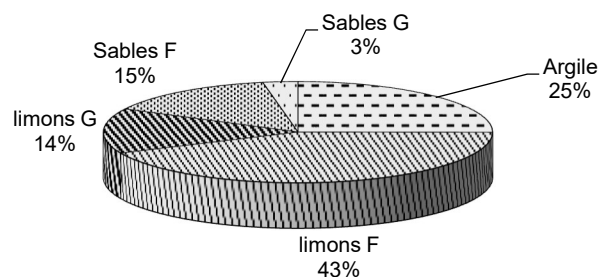


Figure 9 : Texture de la parcelle LH7 (0 - 40 cm)

Des mesures de reliquats azotés ont été réalisées sur quatre horizons de l'essai à l'automne 2019. Les reliquats sont assez homogènes au sein de l'essai : il y a un petit effet bloc qu'il faudra prendre en compte pour la suite mais les différentes modalités ne présentent pas de reliquats significativement différents au moment de l'implantation (**Figure 10**).

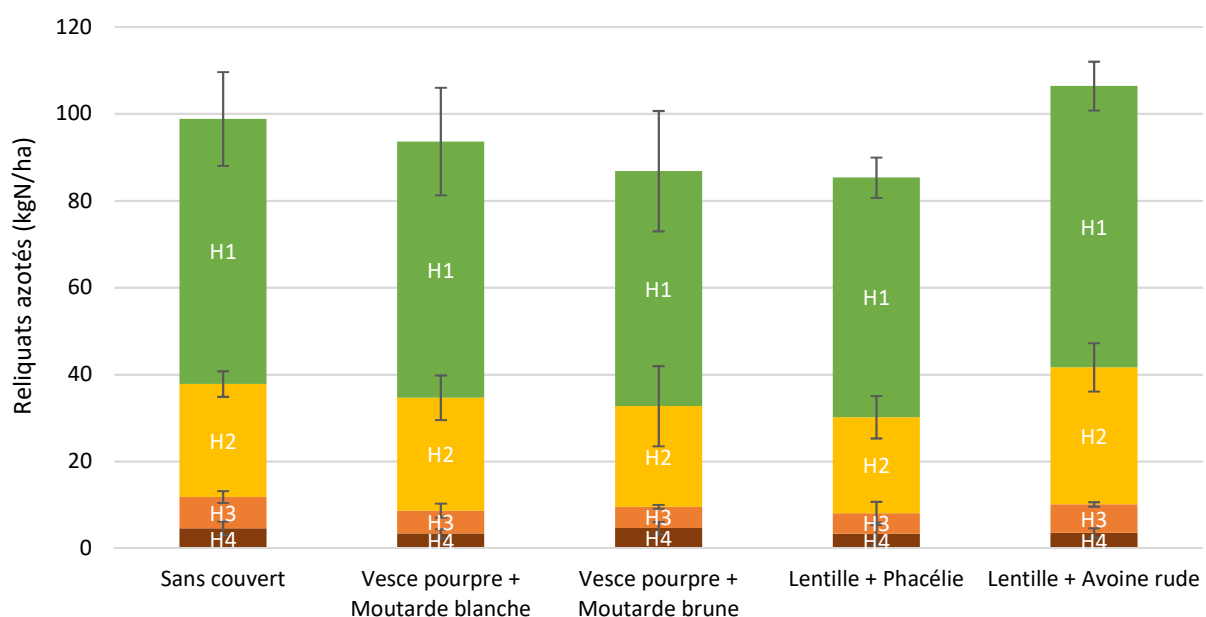


Figure 10 : Reliquats azotés (\pm écarts-types) à l'implantation du soja pour chaque modalité sur quatre horizons : H1 = horizon 1 (0-30 cm) ; H2 = horizon 2 (30-60 cm) ; H3 = horizon 3 (60-90 cm) ; H4 = horizon 4 (90-120 cm)

Type d'essai et modalités d'expérimentation

L'essai se présente en blocs à trois répétitions, avec observations et mesures réalisées sur quatre placettes (cadre de 0,25 m² : 0,5 m x 0,5 m) par parcelle élémentaire. Le facteur étudié est le couvert végétal, décliné en 4 modalités, comparé à une cinquième modalité sans couvert qui sert de témoin (**Tableau 7**).

Tableau 7 : Espèces et densités de semis pour l'essai couvert d'automne 2019. Les semences des différents couverts ont été fournies par les sociétés Semences de France et Caussade Semences. Les noms des variétés sont spécifiés entre parenthèses.

Espèces	Code	Dose légumineuse + non-légumineuse	Remarques
Absence couvert	CV1	-	Témoin sans couvert
Vesce pourpre + moutarde blanche (VERTE)	CV2	20 kg/ha + 5 kg/ha	Couvert de référence mélange engrais vert
Vesce pourpre + moutarde brune (ETAMINE)	CV3	20 kg/ha + 5 kg/ha	Effet allélopathique
Lentille (FLORA) + Phacélie (STALA)	CV4	20 kg/ha + 5 kg/ha	Effet structurant
Lentille (FLORA) + Avoine rude (OTEX)	CV5	20 kg/ha + 20 kg/ha	Effet allélopathique

Conduite de la culture

La culture mise en place est un blé tendre sur précédent soja, semé mi-novembre dans de bonnes conditions et récolté en juillet (**Tableau 8**). Le semis des couverts a été fait dans de bonnes conditions sur sol très sec mais 2 jours avant une pluie. La levée a été notée le 28 septembre. La destruction du couvert a été faite le 23 mars 2020 avec un déchaumeur à disques. Trois passages de vibroculteur ont suivi, puis un passage de herse rotative avant le semis du soja le 26 mai 2020, soit 2 mois après la destruction des couverts. Un passage de herse étrille et un autre de bineuse ont permis de maintenir la parcelle propre.

Tableau 8 : Itinéraire technique de l'essai couverts d'automne 2019.

Date	Stade	Intervention	Matériel	Remarques
19/07/2019	Maturité	Récolte blé tendre	Moissonneuse	
05/08/2019	Interculture	Déchaumage	Déchaumeur à disques	
17/09/2019	Interculture	Déchaumage	Déchaumeur à disques	
17/09/2019	Interculture	Travail du sol	Cracker	
19/09/2019	Interculture	Préparation du sol	Herse rotative	
20/09/2019	Semis	Semis essai	Semoir pour expérimentation	
23/03/2020	Biomasse max	Destruction des couverts	Déchaumeur à disques	
09/04/2020	Interculture	Préparation du sol	Vibroculteur	
05/05/2020	Interculture	Préparation du sol	Vibroculteur	
20/05/2020	Interculture	Préparation du sol	Vibroculteur	
26/05/2020	Semis	Semis soja ISIDOR	Semoir monograine	416667 graines/ha
19/06/2020	2 nœuds	Désherbage	Herse étrille	
30/06/2020	3 nœuds	Désherbage	Bineuse	
02/11/2020	Maturité	Récolte soja	Moissonneuse	

b. Les résultats

La biomasse produite par les couverts 2019

En 2019, le mélange vesce + moutarde brune a été le moins productif en termes de biomasse du fait du faible développement de la moutarde brune par rapport aux autres espèces non-légumineuses (**Figure 11**). Les autres couverts n'ont pas produit de biomasse significativement différente les uns des autres. Les résultats sont présentés plus précisément dans le rapport du CREABio sur les couverts 2019.

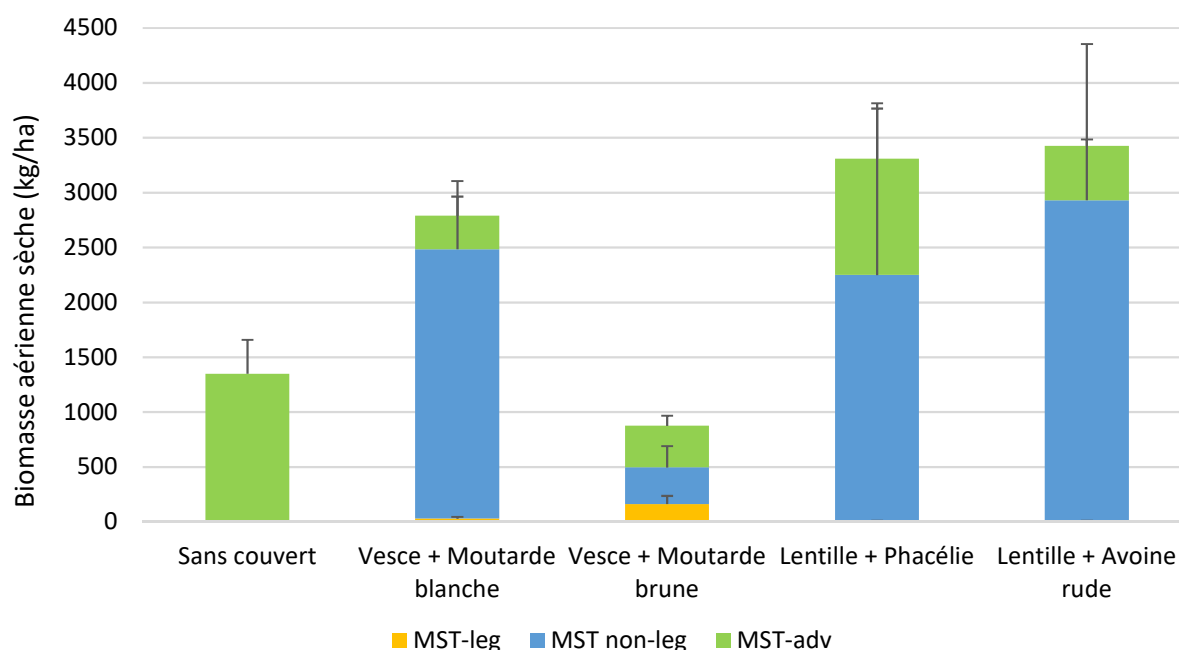


Figure 11 : Biomasse aérienne sèche des couverts semés à l'automne 2019. Figure extraite du rapport sur les couverts végétaux 2019, les barres d'erreur correspondent aux écarts-types calculés sur les 3 répétitions, MST = Matière Sèche Totale, leg = légumineuse, non-leg = non-légumineuse, adv = adventices.

La biomasse de la lentille prélevée était trop faible pour pouvoir réaliser des analyses de teneurs en azote, phosphore et potassium.

L'analyse de variance montrait un effet significatif très fort de la modalité sur la teneur en azote de la biomasse aérienne (adventice + couvert), le couvert vesce + moutarde brune étant celui avec la teneur la plus élevée (112,2 g/kg MS) suivi par le couvert vesce + moutarde blanche (87,8 g/kg MS). Ils étaient significativement différents de la modalité sans couvert qui présentait elle une teneur en azote de 41,3 g/kg MS.

La teneur en potassium était également très liée à la présence d'un couvert ou non : toutes les modalités avec couverts (en moyenne 52,2 g/kg MS) étaient significativement différentes de la modalité sans couvert (20,3 g/kg MS en moyenne). On retrouve de nouveau ce résultat pour la teneur en phosphore (3,5 g/kg MS pour la modalité sans couvert contre 8,5 g/kg MS en moyenne pour les modalités avec couvert).

Les composantes du rendement du soja

Le soja a été récolté le 2 novembre 2020. Le rendement moyen était de 10,2 q/ha sur l'ensemble de l'essai ce qui est plutôt correct pour une conduite sans irrigation (**Tableau 9**).

Tableau 9 : Les moyennes et écart-types des différentes composantes du rendement, pertes à la levée et architecture de la plante avant récolte. Les écart-types sont calculés sur les 3 répétitions. Les poids de mille grains (PMG) et les rendements (RDT) sont donnés à une humidité de 14%.

	% Perte levée	Gousses/m ²	Gousses/plante	Grains/m ²	Grains/gousse	PMG (g)	RDT (q/ha)
Absence couvert	17,0 ± 0,1	423 ± 29	12,3 ± 0,9	655 ± 27	1,6 ± 0,2	154 ± 7	10,1 ± 0,3
Vesce commune + Moutarde blanche	18,7 ± 0,1	438 ± 45	13,0 ± 2,2	674 ± 113	1,5 ± 0,1	150 ± 1	10,1 ± 1,8
Vesce commune + Moutarde brune	23,7 ± 0,1	400 ± 17	12,7 ± 1,4	567 ± 57	1,4 ± 0,2	150 ± 3	8,5 ± 0,8
Lentille + Phacélie	19,0 ± 0,0	437 ± 13	13,0 ± 0,4	710 ± 64	1,6 ± 0,1	150 ± 9	10,8 ± 1,6
Lentille + Avoine rude	13,7 ± 0,0	430 ± 23	12,0 ± 1,2	695 ± 48	1,6 ± 0,0	154 ± 4	10,8 ± 0,8

Cette année, les couverts n'ont eu aucun effet significatif sur les composantes du rendement ou les rendements du soja.

Le rendement et la teneur en protéines du soja après couverts

Les rendements de soja ont été relativement faibles pour cet essai (10 q/ha en moyenne) mais les teneurs en protéines ont été très élevées de 53% en moyenne (**Figure 12**). Des résultats précédents suggèrent que certaines années, le soja en sec se comporte comme une non-légumineuse avec une teneur en protéines inversement proportionnelle au rendement : cela pourrait expliquer ces valeurs élevées. Il n'y a pas d'effet significatif du couvert sur les rendements ou les teneurs en protéines.

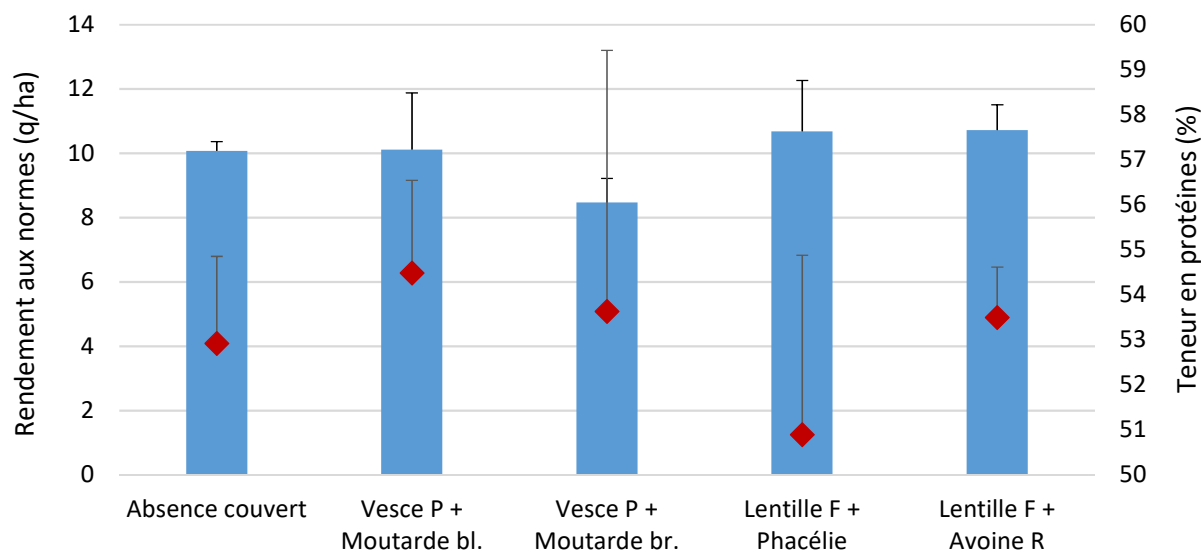


Figure 12 : Rendements et teneurs en protéines des grains (moyennes ± écarts-types) du soja pour les différentes modalités. Les rendements sont donnés à 14% d'humidité.

Les éléments prélevés par le soja

Les quantités d'éléments azote, phosphore et potassium sont présentés dans la **Figure 13**. La mise en place de couvert n'a pas d'effet significatif sur ces quantités. On observe cependant un effet de la mise en place des couverts sur le teneur en potassium des grains et des tiges pour une p-value de 0,06.

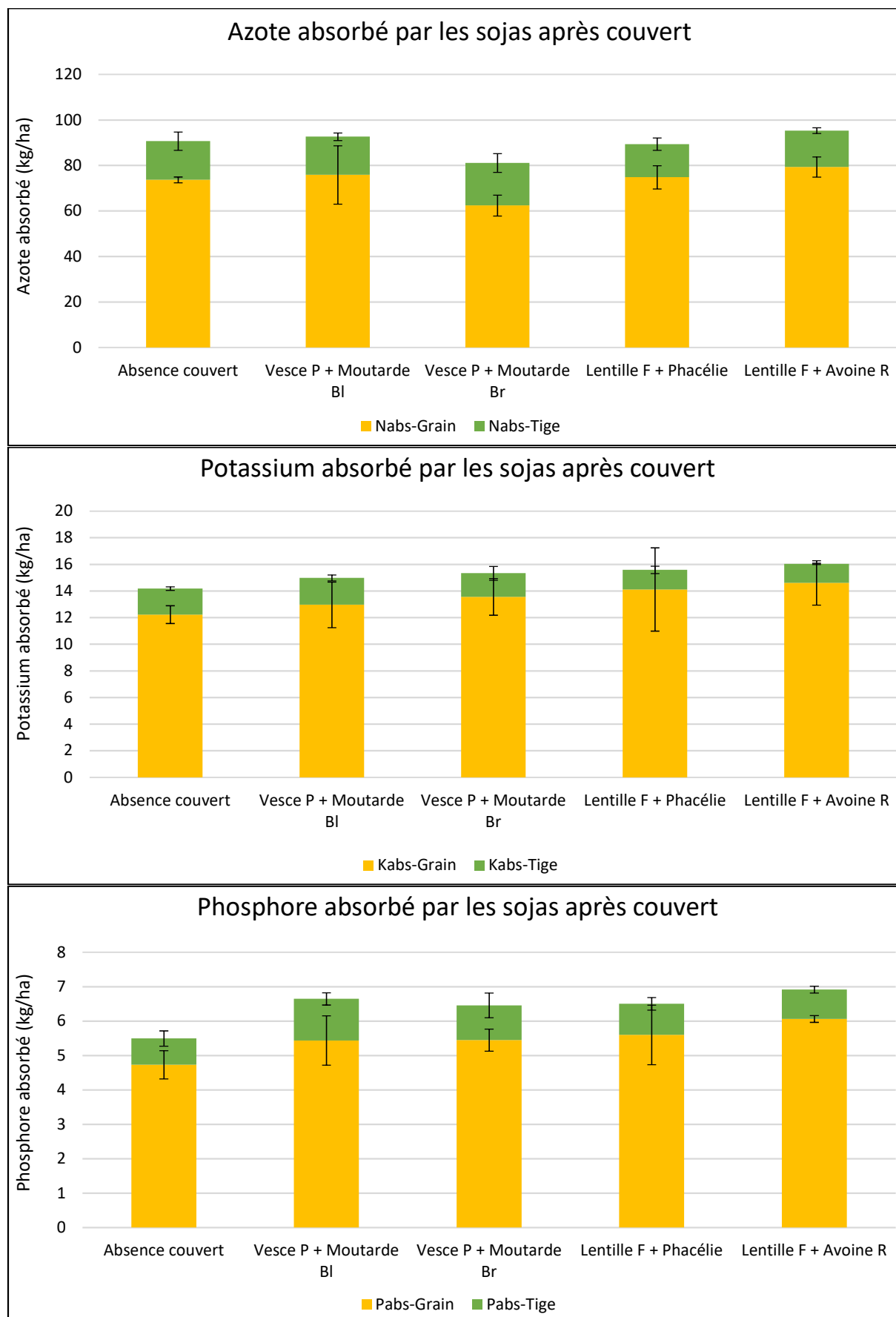


Figure 13 : Teneurs en éléments absorbés (abs) azote (N), phosphore (P) et potassium (K) des grains et des tiges de soja à la récolte exprimées en kg/ha. Les barres d'erreur correspondent aux écarts-types.

4. Discussion sur les effets des couverts sur soja

Cette année, les données des arrières-effets des couverts de printemps n'ont pas pu être obtenus du fait d'une destruction accidentelle et prématurée de notre essai semé en 2019.

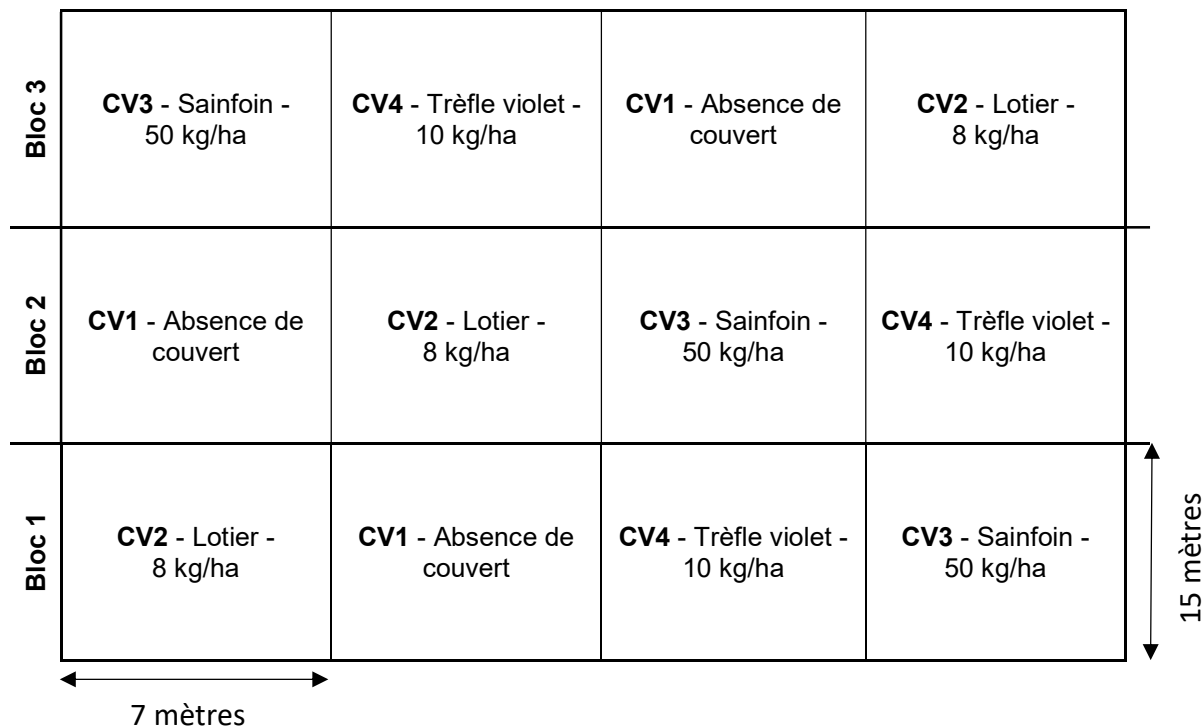
Il a été montré les années passées que **la luzerne est le meilleur couvert de légumineuses**, parmi les trois semées au printemps, **si l'effet recherché est d'améliorer le rendement du soja** qui suit. Les résultats précédents permettent également de conclure que **le trèfle violet** est celui qui **permet de produire le plus de biomasse** et que **le trèfle blanc** semble plus adapté **aux contextes de stress hydrique** important sur la période estivale.

Concernant l'effet de la mise en place des couverts d'automne sur la culture de soja suivante, les rendements ont de nouveau été assez faibles cette année et aucune différence n'est visible sur les mesures de rendement ou de teneurs en protéines. Les résultats obtenus jusqu'ici avec les couverts bispécifiques semés en été ne permettent pas de mettre en évidence un gain de rendement sur soja. Néanmoins, l'effet observé cette année sur le potassium laisse à penser que dans des contextes limitants en K, les couverts pourraient permettre d'en tirer bénéfice. Les couverts pourraient donc être utiles également pour certaines années où la pluviométrie hivernale est élevée ce qui occasionne un stress vis-à-vis du K. L'intérêt des couverts se trouve également dans leur mise en place régulière qui permet de maintenir une certaine fertilité des sols sur le long terme.

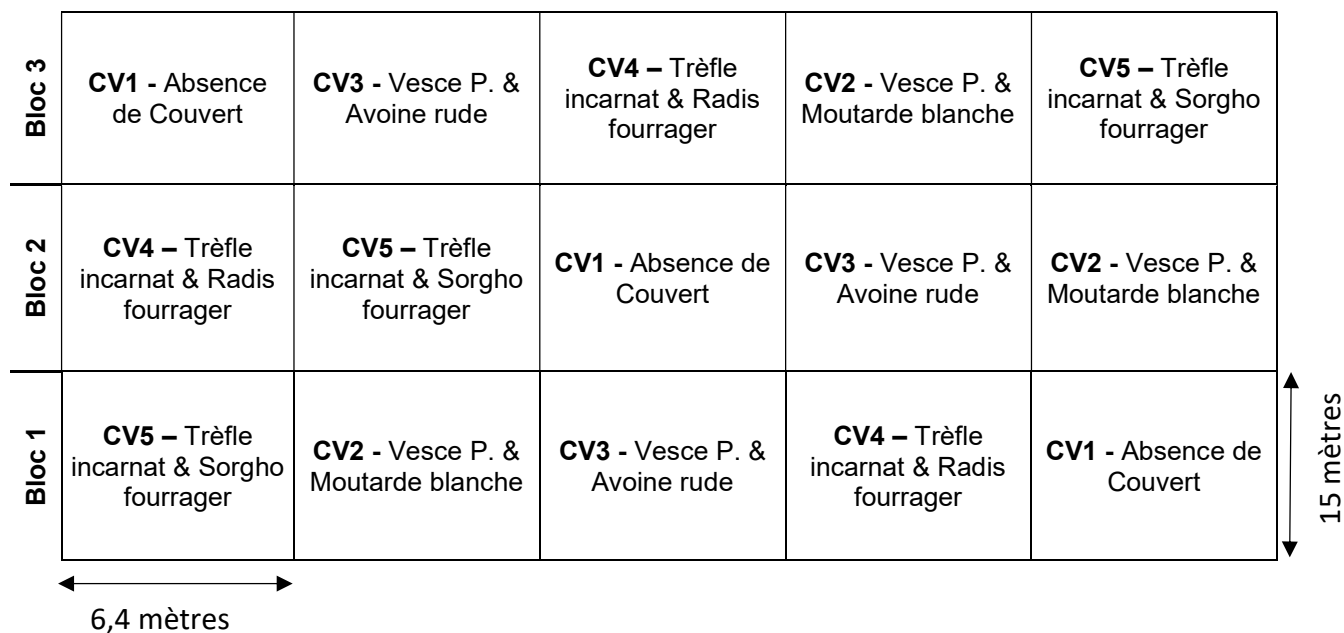
Il a également été montré les années passées que la moutarde brune semblait moins adaptée que la blanche dans notre contexte.

Annexe 1 : Plans d'essais

Essai couverts de printemps



Essai couverts d'automne



Annexe 2 : Climatologie campagne 2020-2021

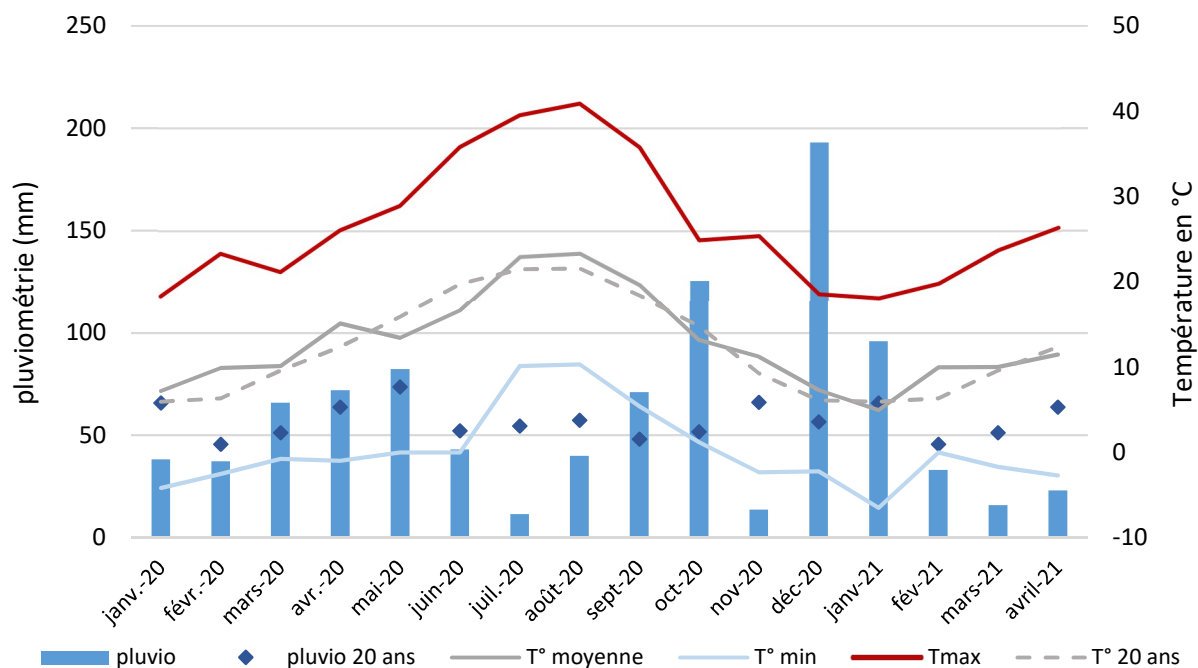


Figure 14 : Climat sur la campagne 2020-2021 des couverts de printemps et d'automne 2020 (données station météo INRA). La moyenne des températures et des précipitations sur 20 ans à Auch (respectivement Tmoy 20 ans et Pmoy 20 ans) sont également données à titre de comparaison (données de Météo France).

Hiver 2020 (janvier à mars)

L'hiver a été très doux avec des températures supérieures à la moyenne, notamment en mars où la moyenne des températures a été plus élevée de 3°C par rapport à la moyenne sur 20 ans. Cela a très certainement permis aux cultures d'hiver de rattraper un peu leur retard de développement, mais elles ont dû faire face à une pluviométrie moins importante (-35 mm par rapport à la moyenne sur 20 ans au cours de ces deux mois).

Printemps 2020 (avril à juin)

Le printemps 2020 a été marqué par de nombreux mais courts épisodes de sécheresse ponctués d'orages parfois violents. En moyenne, les températures ont été assez élevées (+2°C en avril par rapport à la moyenne sur 20 ans) et la pluviométrie assez bonne. Le mois de juin a en revanche été un peu plus frais et un peu plus sec que d'habitude, ce qui a pu limiter le remplissage des grains et porter préjudice à la luzerne et aux cultures d'été comme le soja.

Été 2020 (juillet à septembre)

Les mois de juillet et août ont été chauds et secs (presque + 2°C et - 60 mm par rapport à la moyenne sur 20 ans). Les récoltes de la lentille et des céréales à paille ont donc pu être réalisées dans de bonnes conditions mais les cultures d'été ont souffert du manque d'eau. Les pluies sont revenues en septembre mais la récolte du soja a pu elle aussi être réalisée dans de bonnes conditions.

Automne 2020 (octobre à décembre)

Le mois d'octobre 2020 a été plus froid que la moyenne (-1,7°C par rapport à la moyenne sur 20 ans) avec des températures fraîches arrivées très précocement qui ont détérioré le sorgho rapidement. Au contraire, les mois de novembre et décembre ont été plus chauds que la moyenne (+ 1,6°C par rapport à la moyenne sur 20 ans). Dans l'ensemble, l'automne 2020 a été très pluvieux (+ 159 mm par rapport à la moyenne) mais avec une répartition très hétérogène de la pluviométrie : octobre et décembre (respectivement +74 mm et +136 mm) ont été très excédentaires tandis que novembre a été sec (-52 mm).

Printemps 2021 (janvier à mars)

Si les températures moyennes des mois de janvier et de mars sont dans la moyenne, février a été très chaud (presque +4°C par rapport à la moyenne sur 20 ans). Dans l'ensemble, la pluviométrie correspond à la moyenne mais la répétition a été encore une fois très hétérogène avec des périodes de sécheresse de plusieurs semaines entrecoupées d'orages violents.