



HAL
open science

Étude de la faisabilité et adaptation des itinéraires techniques pour la culture du soja et du pois chiche bio en Bretagne, dans un contexte de changement climatique

Solène David

► To cite this version:

Solène David. Étude de la faisabilité et adaptation des itinéraires techniques pour la culture du soja et du pois chiche bio en Bretagne, dans un contexte de changement climatique. Sciences du Vivant [q-bio]. 2024. dumas-04836066

HAL Id: dumas-04836066

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04836066v1>

Submitted on 13 Dec 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

L'Institut Agro Rennes-Angers
 Site d'Angers Site de Rennes

Année universitaire : 2023-2024

Spécialité : Ingénieur Agronome

Spécialisation : Science et Ingénierie du
Végétal

Option : Agrosystèmes : conception et
évaluation

Mémoire de fin d'études

- d'ingénieur de l'Institut Agro Rennes-Angers (Institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement)
- de master de l'Institut Agro Rennes-Angers (Institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement)
- de l'Institut Agro Montpellier (étudiant arrivé en M2)
- d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)

Étude de la faisabilité et adaptation des itinéraires techniques pour la culture du soja et du pois chiche bio en Bretagne, dans un contexte de changement climatique

Par : Solène DAVID



Soutenu à Rennes, le 17/09/2024

Devant le jury composé de :

Président : Matthieu CAROF

Maître de stage : Caroline COCOUAL

Enseignant référent : Olivier GODINOT

Autres membres du jury : Antonin PÉPIN, Rapporteur

Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle de l'Institut Agro Rennes-Angers

Ce document est soumis aux conditions d'utilisation «Patrimoine-Pas d'Utilisation Commerciale-Pas de Modification 4.0 France» disponible en ligne <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.fr>



Table des matières

Remerciements

Liste des abréviations utilisées

Liste des figures

Liste des tableaux et annexes

INTRODUCTION	1
I-CONTEXTE	2
1. Le changement climatique en Bretagne	2
1.1. Les prévisions du scénario RCP8.5.....	2
1.2. Les conséquences sur la culture de soja et de pois chiche en Bretagne	2
2. Contexte breton et français	3
2.1. Hausse de la demande de légumineuses.....	3
2.2. Consommation, production, import et export	3
2.3. Devenir des pois chiches et du soja français.....	4
2.4. Leviers et limites pour le développement de la filière soja et pois chiche bio.....	4
2.5. Le site expérimental	5
3. Présentation des espèces étudiées	6
3.1. Le soja	6
3.2. Le pois chiche	6
3.3. Choix de classe de précocité et de date de semis.....	7
3.4. Le soja et le pois chiche : de bons candidats à la culture en bio.....	7
4. Aspects techniques	7
4.1. Recherche variétale	7
4.2. Quelle gestion des adventices pour le soja et le pois chiche en bio ?.....	7
4.3. Insertion du pois chiche et du soja dans les rotations types Bretonnes	9
II. PROBLÉMATIQUE ET HYPOTHÈSES DE RECHERCHES	10
III. MATÉRIELS ET MÉTHODES	11
1. Construction des cartes de faisabilité pois chiche et soja en 2050	11
1.1. Les données.....	11
1.2. Choix des indicateurs et des références.....	11
1.3. Calcul des indicateurs	12
1.4. Exemple de la construction de la carte « Ks floraison soja, semis le 15 avril»	12
1.5. Construction des arbres de décision.....	13
2. Expérimentation	14
2.1. Présentation des modalités	14
2.2. Le plan expérimental	14
2.3. Paramètres et indicateurs mesurés.	14

IV. RÉSULTATS ET DISCUSSION	15
1. Cartes de faisabilité des cultures à l'horizon 2050.	15
2. Arbre de décision pour la culture du soja et du pois chiche.	16
3. Itinéraires techniques	16
4. Analyse des résultats de l'essai pois chiche	17
4.1. Présentation des résultats	17
4.2. Analyse statistique.....	19
4.3. Discussion et comparaison avec les résultats de l'année précédente.	20
4.4. Conclusion partielle	20
5. Analyse des résultats de l'essai soja	21
5.1. Présentation des résultats	21
5.2. Analyse statistique.....	23
5.3. Discussion et comparaison avec les résultats de l'année précédente.....	24
5.4. Conclusion partielle	25
V. CONCLUSION	26
VI. BIBLIOGRAPHIE	27
VII. ANNEXES	

Remerciements

En premier lieu je tiens à remercier chaleureusement Caroline Cocoual, ma maître de stage, pour m'avoir encadrée et soutenue pendant la réalisation de mon stage et de mon mémoire. Merci aussi à Aurélien Dupont pour son aide avec ExpéR, et à toute l'équipe de Kerguéhennec : Ninog Maréchal, Gwénaél Morin, David Meallet, Pierre Gautier, Denis Lebosse, Patrice Cotinet et Jeanne Pourias, pour tous les bons moments passés à la station, de la pause-café à la moisson en passant par le désherbage du pois chiche. Grâce à vous ce stage m'a vraiment donné envie de continuer à travailler en expérimentation et m'a permis de progresser sur le plan technique. Je n'ai que des bons souvenirs de ces six mois passés avec vous.

Merci à Quentin Lambert, expert du pois chiche chez Terres Inovia et à Hélène Tribouillois, experte de la physiologie du soja, aussi chez Terres Inovia, pour avoir pris le temps de répondre à mes questions et de me conseiller sur la démarche de construction des cartes.

Enfin, merci à Auriane Laveau, ma co-stagiaire et colocataire ainsi qu'à Jeanne Cheze et Annlise Daniel, stagiaires à la station, pour les coups de main lors des comptages, pour les afterworks escalade et les sorties.

Liste des abréviations utilisées :

Σ DJ : Somme des Degrés Jours

PC : Plante Compagne

SH : Stress Hydrique

RH : Réserve Hydrique

Ks : coefficient de satisfaction des besoins en eau

Kc : coefficient cultural

ETP : évapotranspiration potentielle

ETM : évapotranspiration moyenne

RFU : Réserve Facilement Utilisable

ACP : Analyse en Composantes Principales

Liste des figures

Figure 1 : Surfaces cultivées en soja bio ou conventionnel en 2021

Figure 2 : Surfaces cultivées en pois chiche bio ou conventionnel en 2021

Figure 3 : évolution des surfaces cultivées en légumineuses entre 2005 et 2021

Figure 4 : devenir des graines de soja produites en France

Figure 5 : Comparaison des températures journalières et mensuelles avec les normales de saison, à Bignan

Figure 6 : comparaison du cumul de précipitations en 2024 avec la normale, à Bignan

Figure 7 : méthode de découpage du jeu de données

Figure 8 : présentation des indicateurs contenus dans le jeu de données

Figure 9 : démarche de calcul des indicateurs

Figure 10 : résumé des besoins en DJ et en eau au cours du cycle du pois chiche (à gauche) et du soja (à droite)

Figure 11 : Carte représentant le Ks moyen pendant la floraison, avec RU=60mm et semis le 15/04

Figure 12 : le plan expérimental

Figure 13 : calendrier des observations et prélèvements sur la parcelle de pois chiches

Figure 14 : calendrier des observations et prélèvements sur la parcelle de soja

Figure 15 : exemple de six cartes montrant des indicateurs pour des dates de semis différentes

Figure 16 : arbre de décision pour la culture du soja

Figure 17 : Taux de levée du pois chiche, le 07/05/24

Figure 18 : Taux de levée des plantes compagnes, le 07/05/24

Figure 19 : Biomasse du pois chiche, le 17/06/24

Figure 20 : Biomasse des adventices la 17/06/24

Figure 21 : Biomasse des plantes compagnes du pois chiche le 17/06/24

Figure 22 : biomasse du pois chiche en fonction de son taux de levée.

Figure 23 : graphes des variables dans les trois premières dimensions de l'ACP

Figure 24 : graphiques des modalités est des individus sur le premier plan de l'ACP

Figure 25 : graphe des variables de l'ACP sur les résultats de 2023

Figure 26 : Taux de levée du soja, le 25/06

Figure 27: Taux de couverture du sol au stade 2 feuilles, le 27/06

Figure 28: régression linéaire du taux de couverture en fonction de la densité de plants

Figure 29 : Biomasse des adventices, le 07/08

Figure 30 : Biomasse du soja le 07/08 (pleine floraison)

Figure 31 : Régression linéaire de la biomasse de soja en fonction de la densité levée

Figure 32 : Hauteur d'insertion de la première gousse, le 14/08

Figure 34 : graphique des individus sur le plan factoriel de l'ACP

Figure 33 : graphique des variables de l'ACP sur les données de l'essai soja 2024

Figure 34 : graphique des individus sur le plan factoriel de l'ACP

Figure 35 : graphique des variables de l'ACP sur les données de 2023

Liste des tableaux et annexes

Tableau 1 : résumé des caractéristiques des espèces utilisées

Tableau 2 : résumé des indicateurs et des seuils utilisés pour la construction des cartes de faisabilité

Annexe 1 : Tableau récapitulatif des Kc au cours des phases de croissance du soja

Annexe 2 : Résumé des modalités implantées sur les essais soja et pois chiche

Annexe 3 : Présentation des variétés de pois chiche et soja testées cette année

Annexes 4 et 5 : Résumés des mesures, comptages et prélèvements à effectuer sur les essais

Annexe 6 : Arbre de décision pour la culture du pois chiche

Annexe 7 : place de l'essai protéagineux dans la rotation sur la parcelle Lann Chebod

Annexe 8 : Itinéraire technique de l'essai soja et de l'essai pois chiches.

Annexe 9 : Itinéraire technique de l'essai soja et de l'essai soja

INTRODUCTION

La culture de soja et de pois chiche est encore très marginale en Bretagne. Cela peut s'expliquer en partie par des facteurs climatiques, car il s'agit de plantes adaptées à des climats plus chauds (et plus secs pour le pois chiche), mais aussi par l'absence de filière de collecte et transformation du soja ou du pois chiche dans la région. Ces cultures restent donc risquées et peu attractives pour les agriculteurs alors qu'elles représentent une opportunité pour la diversification et l'autonomie des systèmes de cultures bretons. De plus, il est probable que le changement climatique rende la Bretagne plus propice à l'implantation du soja et du pois chiche, avec des sommes de températures plus élevées et une pluviométrie annuelle constante.

Les zones historiques de culture du pois chiche comme les départements du Gers ou de l'Hérault se retrouvent aujourd'hui en difficulté, notamment à cause d'une présence trop importante de la noctuelle Héliotis (*Helicoverpa armigera*), principal ravageur du pois chiche, et de maladies fongiques comme l'ascochytose, dont l'inoculum est devenu très présent après des décennies de culture répétée et parfois trop fréquente de pois chiche. De nombreux agriculteurs du sud de la France commencent donc à s'en détourner.

Dans le sud de la France, zone où est encore cultivée la majeure partie du soja français, le soja est une culture irriguée quasi systématiquement. En effet les besoins en eau de cette plante sont assez conséquents et les stades pendant lesquels elle est sensible au stress hydrique (floraison-remplissage) ont lieu en plein été c'est-à-dire au moment où il y a le moins d'eau disponible dans le sol. Il devient alors intéressant de chercher à implanter le soja dans des régions où le stress hydrique est moins marqué, comme la Bretagne.

Il s'agit d'une des pistes explorées par le projet CLIMATVEG, dans lequel s'inscrit ce mémoire. L'objectif du projet CLIMATVEG, porté par Végépolys Valley et en partenariat avec 80 organismes, dont les Chambres d'Agriculture Pays-de-la-Loire et Bretagne est d'évaluer et d'améliorer la stabilité des exploitations agricoles en Bretagne et Pays-de-la-Loire face au changement climatique. Il s'articule autour de 3 axes majeurs : fournir des connaissances sur la résilience des exploitations agricoles et les effets du changement climatique, expérimenter des systèmes de culture innovants comme solutions face au changement climatique et enfin, co-construire et promouvoir les filières d'approvisionnement locales résilientes, comme par exemple la filière légumineuses à graines. C'est dans le cadre du deuxième axe que la culture de soja et pois chiche est expérimentée en bio depuis 2022 sur la station de Kerguéhenec ; l'objectif est de produire des références (sur le rendement, les besoins en eau, les dates de semis/récoltes), d'évaluer la faisabilité au vu du changement climatique, et de déterminer l'itinéraire technique à privilégier (plantes compagnes, variétés) pour la culture de ces plantes en Bretagne.

Ce mémoire est structuré en quatre grandes parties : la première consiste en une contextualisation de la thématique abordée ; la deuxième partie décrit l'essai analytique mis en place, ainsi que la démarche utilisée pour évaluer la faisabilité de la culture de soja et de pois chiche en 2050. Enfin, les résultats sont présentés en deux sous parties : une première sous partie présente les résultats de l'étude de faisabilité sous forme de cartes et d'arbres de décision tandis qu'une seconde sous partie présente les résultats de l'essai analytique. Une discussion et une conclusion générale sur les suites de ce travail sont ensuite apportées.

I-CONTEXTE

1. Le changement climatique en Bretagne

1.1. Les prévisions du scénario RCP8.5

L'appellation RCP8.5 correspond à l'hypothèse la plus pessimiste concernant les émissions de gaz à effet de serre et l'augmentation du forçage radiatif qui en découle. 8.5 signifie un forçage radiatif de 8.5 W/m² à l'horizon 2100. C'est le scénario utilisé pour ce mémoire car il représente la trajectoire actuellement suivie en termes d'augmentation des émissions. L'horizon 2040-2050 est retenu car il est proche à l'échelle d'une carrière d'agriculteur et que les prévisions du scénario RCP8.5 sont peu fiables au-delà de cet horizon (elles ne prennent pas en compte les effets du changement climatique et de la quantité limitée d'énergies fossiles sur la réduction des activités humaines) (Moss et al., 2010). En suivant le scénario RCP 8.5, on s'attend à une augmentation de la température moyenne d'environ 1.8°C et à un forçage radiatif de 5W/m² en 2050, par rapport à la période de référence 1950-1980.

D'après les études réalisées pour le projet Climatveg avec les données du Drias, le volume total des précipitations en Bretagne devrait rester stable voire légèrement plus élevé à l'horizon moyen 2031-2060. Cependant la répartition ne sera pas la même : on s'attend à une augmentation des précipitations de 10% en moyenne en période de recharge des cours d'eau et une baisse de 5 à 10% en période d'étiage (Amiot et al., 2022). Le nombre de jours chauds (>25°C) devrait être multiplié par 2 dans l'est de la Bretagne et par 4 dans l'ouest soit 60 jours chaud par an à Rennes d'ici 2050 et une quinzaine de jours chauds à Brest. La hausse des températures sera plus importante en été en particulier pour les températures maximales et le nombre de jours de gel devrait diminuer de moitié à Brest et de 30% à Rennes.

1.2. Les conséquences sur la culture de soja et de pois chiche en Bretagne

1.2.1. Impacts sur les ravageurs et les maladies

Le principal ravageur du pois chiche est l'héliotis *Helicoverpa armigera*. Il s'agit d'une noctuelle qui pond ses œufs dans les gousses et dont les larves dévorent ensuite les graines en développement. Dans le sud de la France, la nuisibilité de *Helicoverpa armigera* est déjà importante, d'autant plus qu'il existe peu de moyens de lutte curative. Le cycle de vie de l'héliotis est très dépendant des sommes de températures ; la température idéale d'éclosion des œufs est de 27.5°C et le seuil de développement est de 14.8°C ce qui laisse penser que ce ravageur va étendre son aire de nuisibilité avec le changement climatique. Pour l'instant l'héliotis n'est que de passage dans le nord de la France car il ne peut pas y survivre l'hiver (températures trop basses et humidité trop élevée). Un cycle de vie complet d'héliotis se réalise sur 625 degrés jours, entre avril et fin juillet : avec l'augmentation des températures, ce ravageur pourra donc réaliser plusieurs générations par an en Bretagne (Saguez, 2017).

Au niveau des maladies, l'ascochytose, qui est la plus nuisible sur le pois chiche ne devrait pas ou peu être impactée par le changement climatique en Bretagne : elle se développe entre 5 et 30°C, l'augmentation du nombre de jours avec T°>30°C étant compensée par une baisse du nombre de jours à T°<5°C.

Il est difficile d'estimer l'impact du changement climatique sur le sclérotinia, qui est la maladie la plus nuisible chez le soja : des températures plus élevées ont tendance à favoriser son développement mais une humidité plus faible le freine. Il est donc probable que la pression du sclérotinia reste constante. La présence d'acariens sur le soja est favorisée par des températures supérieures à 35°C et un temps sec mais la Bretagne n'est pas concernée par ces conditions, même à l'horizon 2050.

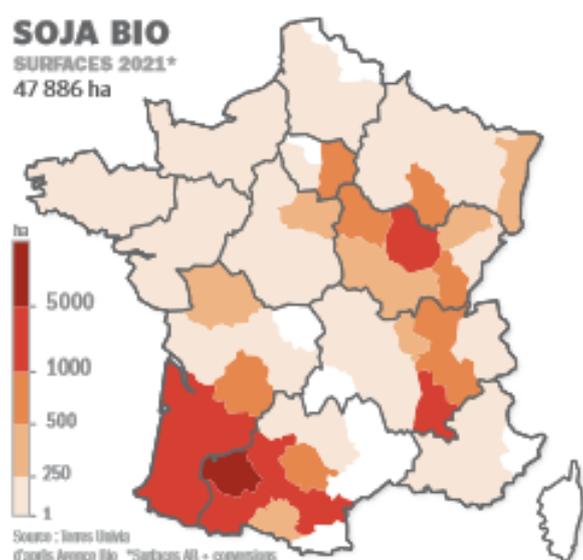
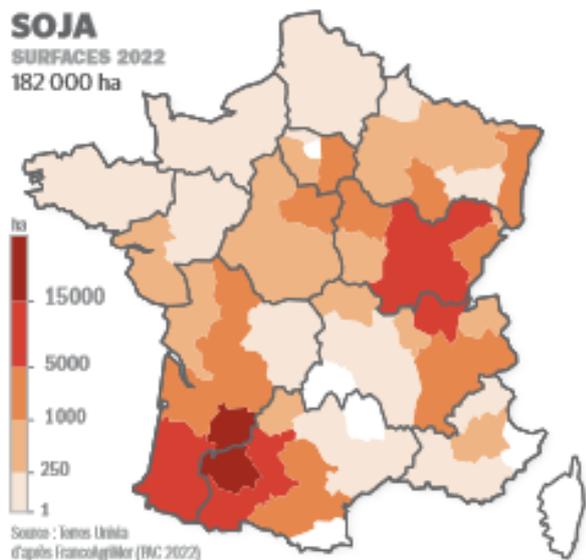


Figure 1 : Surfaces cultivées en soja bio ou conventionnel en 2021

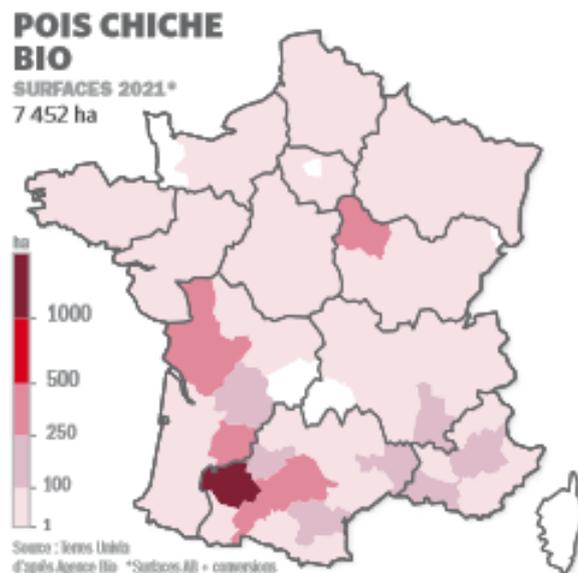
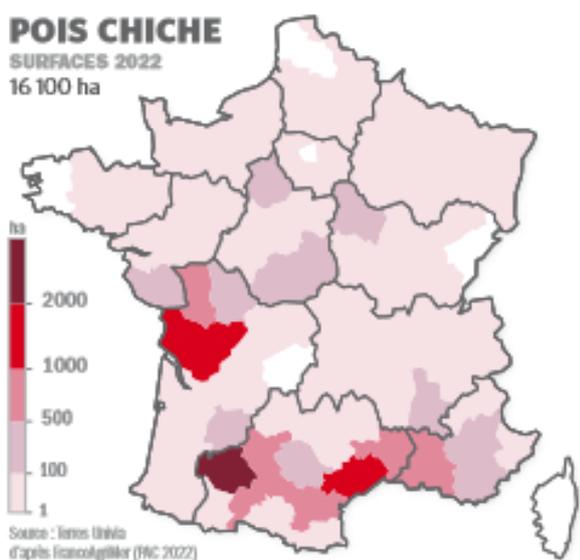


Figure 2 : Surfaces cultivées en pois chiche bio ou conventionnel en 2021

2.3.2. Impacts sur la récoltabilité

Le cycle de développement complet du pois chiche a lieu sur 1550 DJ en base 6 (Lambert, 2021) et celui du soja nécessite au minimum 1600 DJ en base 6. Actuellement cette somme de températures n'est pas atteinte dans certaines zones de Bretagne sur la période de culture, notamment pour le soja qui est semé plus tard, à partir de début mai et récolté fin septembre voire mi-octobre, ce qui fait que le grain n'a pas fini sa maturation avant la reprise des pluies en septembre et ne peut donc pas être récolté. L'augmentation des températures permettra d'accélérer la maturité des plantes, rendant ainsi la culture de pois chiche possible dans de nouvelles zones de Bretagne. Un semis plus précoce de soja est aussi à envisager car la date de semis dépend de la température moyenne du sol, idéalement supérieure à 12°C (Nieuwenhuis and Nieuwelink, 2005) et du risque de gel, ce qui repousse le semis à mi-mai dans la région actuellement.

Cependant la faisabilité d'une culture de soja ou de pois chiche dépend de nombreux facteurs en plus de la somme de températures : précipitations suffisantes, répartition des précipitations, températures suffisamment élevées pour éviter la coulure des fleurs, date de reprise des pluies, aire de répartition des ravageurs, dégâts d'oiseaux, stress hydrique.

2. Contexte breton et français

2.1. Hausse de la demande de légumineuses

La loi Egalim impose depuis 2020 un menu végétarien par semaine et au moins 20% des produits sous signe de qualité dans toutes les cantines scolaires. Cela a permis d'ouvrir un nouveau marché pour les protéagineux français en tant que substitut de la viande dans la restauration collective (2021a).

De plus, d'après une étude réalisée par Terres Inovia, 48% des français consomment des légumineuses au moins une fois par semaine et la tendance est à la hausse ; l'association LEGGO (Légumineuses à Graines du Grand Ouest) voit le fait que les légumineuses sont sans gluten, riches en protéines et peu allergènes comme une source de nouvelles opportunités pour la filière (2021b).

2.2. Consommation, production, import et export

L'UE est en déficit moyen de 68% pour les protéines à destination de l'alimentation animale sur les 10 dernières années. On observe notamment que le premier aliment consommé par les animaux d'élevage est le soja alors que très peu est produit en UE ; rien qu'en France l'importation de tourteau de soja est de 2 836 000 T par an (Terres Univia, 2023). En 2021 le soja bio représentait 47 886 ha en France et moins de 250 ha en Bretagne pour le soja en conventionnel c'est 182 000 ha mais toujours moins de 250 ha en Bretagne (Figure 1). Au total le soja occupe donc 229 886 ha soit 0.86% de la SAU française. La production de soja reste encore largement dominée par les deux bassins historiques : le Sud-Ouest et la Bourgogne.

A l'échelle mondiale, l'Inde reste le principal producteur de pois chiche avec 75% de la production mondiale, soit 11 910 kT/an. Entre 2015 et 2017 la production moyenne en France était de 23 000 T de pois chiche par an et la consommation de 22 000 T (Terres Univia, 2021). La France exporte chaque année en moyenne 11 000 T de pois chiches vers les pays voisins et en importe 5 000 T principalement en provenance du Mexique et de l'Inde, ce qui représente 9% de nos importations de légumes secs (Unilet, 2021). En 2021 le pois chiche Bio représentait 7 452 ha en France et 16 100 ha pour le conventionnel soit 23 552 ha au total et 0.09% de la SAU française (figure 2). Bien que la surface cultivée en pois chiche a plus que quadruplé dans l'UE

SURFACES › FRANCE – SOJA, POIS, FÉVEROLE, LUPIN, LENTILLE, POIS CHICHE EN CULTURE BIOLOGIQUE* • 2005-2021

* parcelles certifiées Agriculture Biologique (conduites depuis plus de deux ans en culture bio) + surfaces en conversion : C1 + C2 + C3. C1 : parcelles en 1^{ère} année de conversion ; destinées au secteur conventionnel. C2 : parcelles en 2^e année de conversion (2^e année de conduite en agriculture bio) ; valorisables en alimentation animale.

Source : Terres Univia d'après Agence Bio

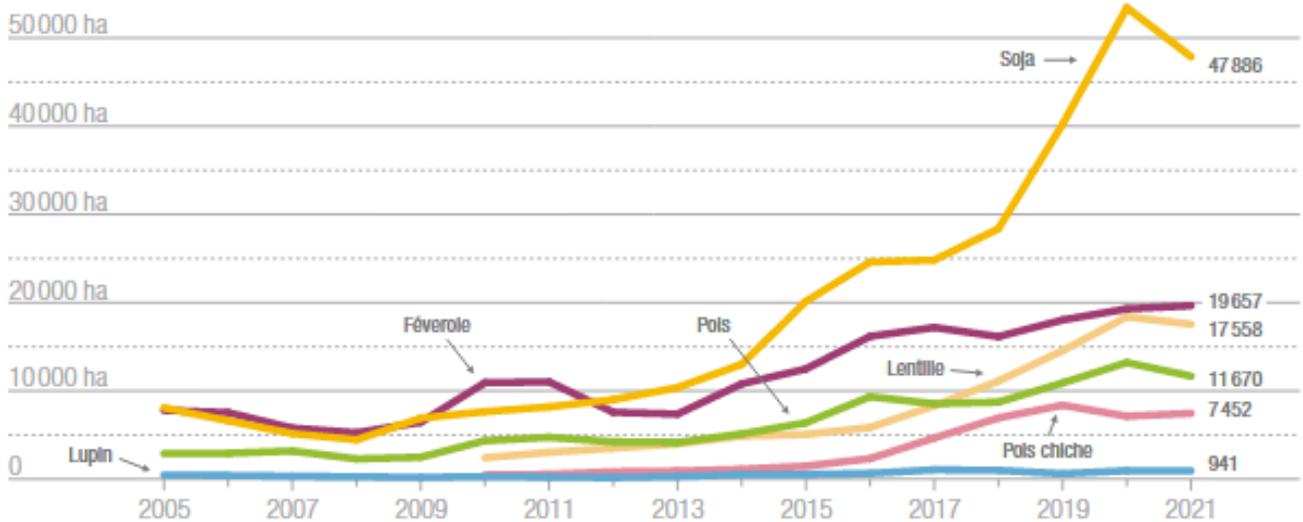


Figure 3 : évolution des surfaces cultivées en légumineuses entre 2005 et 2021

DÉBOUCHÉS › FRANCE – GRAINES DE SOJA • 2019-2023*

* dernière estimation FranceAgriMer du 05/06/23 Source : Terres Univia d'après FranceAgriMer

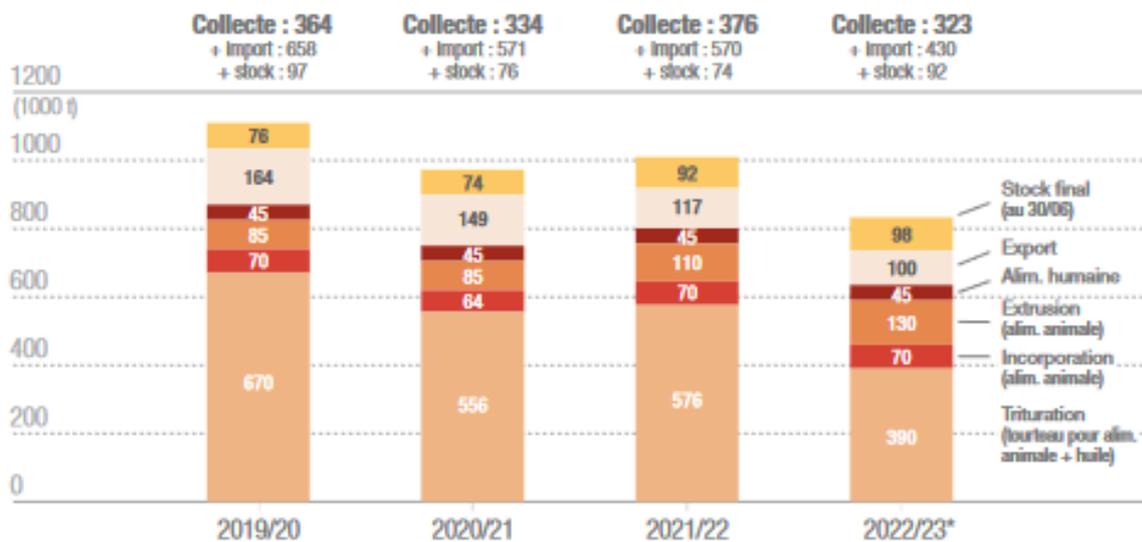


Figure 4 : devenir des graines de soja produites en France

depuis 2010, en Bretagne, le pois chiche reste encore une culture destinée à la vente directe ou aux essais et représente moins de 5 hectares. (Terres Univia, 2023).

La surface cultivée en soja bio a quand à elle été multipliée par 5 entre 2013 et 2020.

On remarque un pic dans la surface cultivée en protéagineux en 2020 (figure 3), suivi d'une régression. Cela peut s'expliquer par la mise en place d'une prime protéagineux : dans le cadre des écorégimes de la PAC, le fait d'avoir une culture de protéagineux permettait de gagner des points sur le critère diversité, ce qui représentait un paiement de 300€/ha. Cela a poussé de nombreux agriculteurs à se lancer dans la culture de protéagineux mais le succès a été faible (mauvaises conditions climatiques, faible prix de vente) ce qui explique la baisse de surface qui s'en est suivie. En 2020 de nouvelles filières ont commencé à se mettre en place pour répondre à une demande de soja non OGM, non déforestant (suite aux incendies dans la forêt amazonienne). Mais cela a été de courte durée en raison d'un prix non concurrentiel.

La même dynamique a été observée pour le pois chiche à l'échelle de la Bretagne, avec une demande des industriels comme l'atelier V de développer une filière pois chiche locale en partenariat avec la chambre d'agriculture. Cela avait conduit à la formation d'un groupe d'agriculteurs mais les résultats en termes de rendement et de qualité n'ont pas été satisfaisants (Rio, 2024).

2.3. Devenir des pois chiches et du soja français

Les débouchés des graines de soja produites en France sont par ordre d'importance : trituration, alimentation animale, export, alimentation humaine (figure 4) (Terres Univia, 2023). L'exportation concerne uniquement les graines car le tourteau de soja n'est pas exporté.

Le débouché des pois chiches français est uniquement l'alimentation humaine (Lambert, 2019a). Une partie est destinée à l'export vers le nord de l'Europe pour être transformée (Terres Univia, 2021), notamment sous forme de farine de pois chiches, les graines produites en France étant généralement de petite taille, elles sont peu recherchées pour la commercialisation sans transformation. Bien que la production corresponde à la consommation, la France importe aussi des pois chiches pour des raisons de qualité (taille des grains pour une consommation des graines entières). Le prix de vente du pois chiche est de 500€/T en conventionnel et 900€/T en bio (Guyomard, 2022).

2.4. Leviers et limites pour le développement de la filière soja et pois chiche bio

Pour l'instant il y a peu de contractualisation de longue durée pour les légumineuses à graines dans le Grand Ouest or c'est ce qui est le plus intéressant pour les agriculteurs car cela leur garantit un revenu, l'association LEGGO insiste sur le fait qu'en l'absence de contractualisation la filière aura du mal à se développer. Pour cela il faut un accord du côté de la grande distribution avec des prix qui rémunèrent les agriculteurs et permettent d'avoir de la demande côté consommateur (2021b). L'intérêt pour les légumineuses françaises se fait aussi sentir du côté des industriels puisque des entreprises comme Valorex, Minoterie Bertho ou Atelier V ont adhéré à LEGGO.

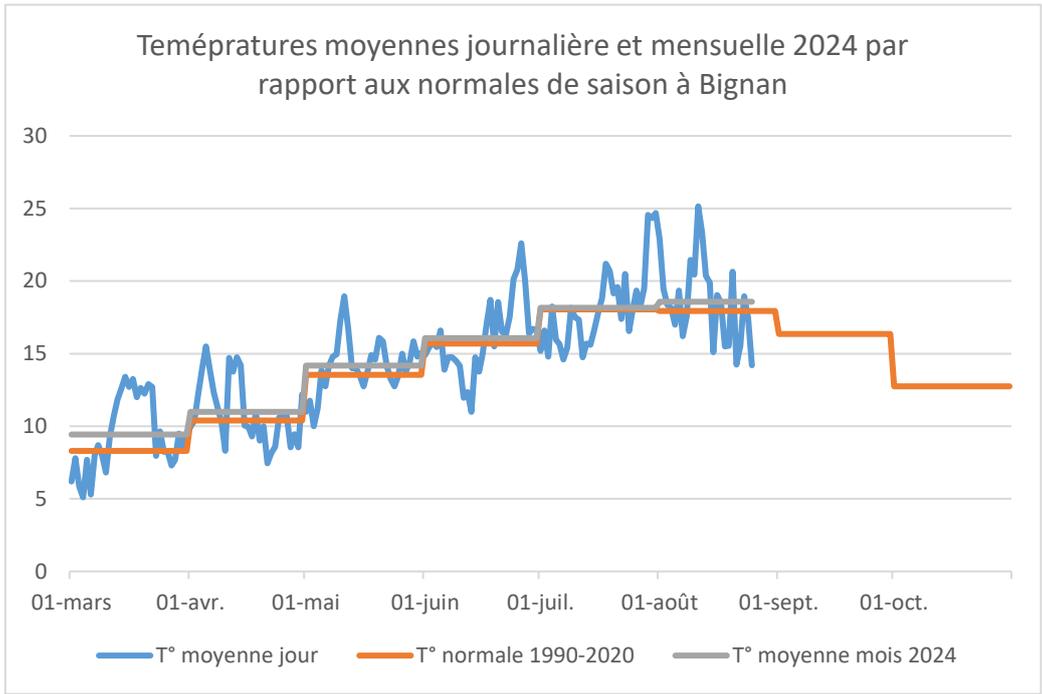


Figure 5 : Comparaison des températures journalières et mensuelles avec les normales de saison, à Bignan

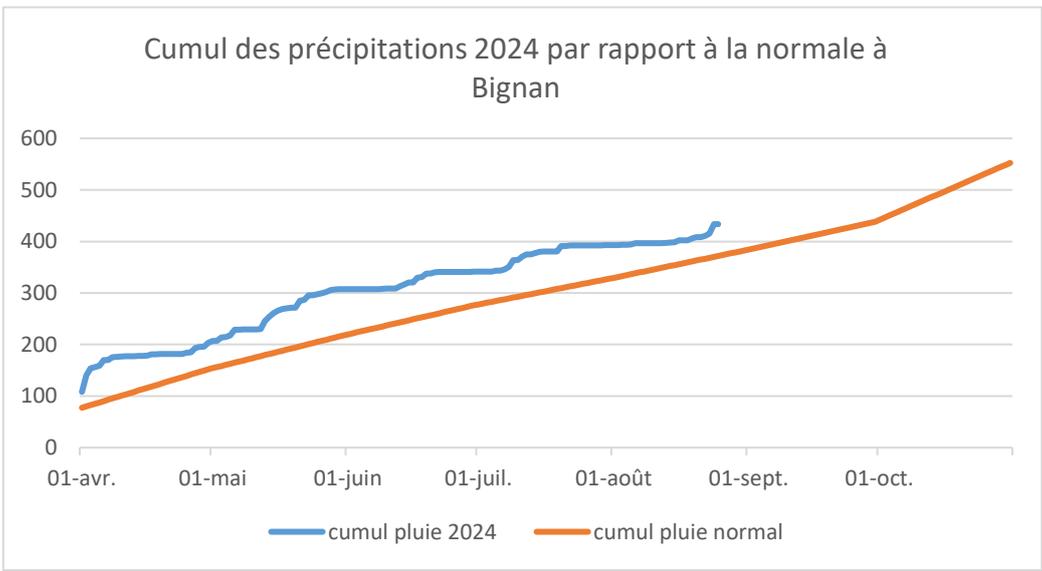


Figure 6 : comparaison du cumul de précipitations en 2024 avec la normale, à Bignan

Le soja en alimentation humaine souffre encore d'une mauvaise image (isoflavones, additifs dans les préparations) (M.B., 2022). Il y a donc un vrai travail de communication à mener pour améliorer la perception du soja, qui a actuellement du mal à se faire une place en particulier dans la restauration collective. Au niveau de l'alimentation animale, du soja breton ne peut pas être concurrentiel pour l'export mais une filière alimentation animale en circuit court ou en autoconsommation pourrait éventuellement voir le jour, cela nécessite cependant d'investir dans des équipements de collecte, trituration et de transformation.

La qualité du soja breton n'est pas la même que celle du soja produit sous des climats plus favorables : les graines ne sont pas aussi dures et donc pas transformables de la même manière pour l'alimentation humaine. L'usine Soja Sun de Rennes a notamment dû renoncer à un partenariat avec des agriculteurs bretons pour cette raison. Ce problème s'explique au moins en partie par la nécessité d'utiliser des variétés d'une classe de précocité 000 qui n'ont pas les mêmes caractéristiques que les variétés de classe 00, 0 ou I les plus répandues.

2.5. Le site expérimental

2.5.1. Climat et rotations

Les essais ont lieu sur la commune de Bignan (56), à la station expérimentale de Kerguéhennec. Cette station consacrée à la production végétale, d'une superficie de 80 ha dont 12 ha en bio appartient depuis 1972 à la chambre d'agriculture de Bretagne et cette année la plateforme protéagineux est située sur la parcelle « Lann Chebod ». La température annuelle moyenne à Bignan est de 12.0°C (Meteoblue, 2024) (Figure 5) et le volume annuel moyen de précipitations est d'environ 1000mm sur la période 1993-2023, d'après les relevés de la station météo de Kersuzan (Figure 6). La température moyenne actuelle est 1.4°C plus élevée que sur la période de référence 1951-1980. Sur la station, les rotations en dehors des essais restent classiques de type maïs – céréale (orge ou blé) – légumes industrie (sur certaines parcelles) et les expérimentations alternent avec des cultures d'homogénéisation (maïs –céréales). Les plateformes d'essais sont situées en milieu de parcelle et entourées par une autre culture ; par exemple cette année la plateforme protéagineux est entourée par un blé d'hiver bio.

2.5.2. Caractéristiques pédologiques

La station se trouve sur des brunisols : il s'agit de sols limono-argileux, d'épaisseur moyenne, non calcaires et caractérisés par des horizons assez peu différenciés, ainsi qu'un horizon intermédiaire comportant une forte porosité et une structure nette présentant des agrégats (Messant et al., 2021). D'après une analyse menée par Capinov en 2020, le sol est dans un état optimal : la CEC est de 114 méq/kg et le taux de saturation de 71%. Le pH est de 6.5 ce qui est trop acide pour que les bactéries réalisant des symbioses avec les pois chiches et le soja puissent s'y établir durablement mais ne présente pas de problème agronomique par ailleurs. Le taux de matière organique est de 4.7 % et le rapport C/N de 11.4, ce qui signifie que la matière organique et en particulier les acides humiques sont très stables mais que la vie du sol n'est pas favorisée. Les éléments nutritifs échangeables sont tous présents à des niveaux satisfaisants, mis à part le phosphore dont la concentration est très élevée. La parcelle dispose d'une excellente capacité au champ : 136mm par mètre de sol, de plus les concentrations en oligo-éléments (Cu, Zn, Fe) sont satisfaisantes. Seule la concentration en Mn reste faible, l'apparition d'une carence en manganèse est donc à surveiller.

3. Présentation des espèces étudiées

3.1. Le soja

Le soja (*Glycine max*) est une légumineuse originaire d'Asie orientale et domestiquée depuis au moins 5000 ans. Le soja possède la particularité d'avoir une bonne teneur en protéines et un ratio lysine/méthionine favorable, signe que les protéines sont assimilées efficacement par les animaux, ce qui en fait une culture privilégiée pour l'alimentation du bétail, de plus les graines sont aussi valorisables en alimentation humaine. Les variétés de soja sont réparties en 6 classes de précocité, allant de 0000 à II, le groupe 0000 correspond aux variétés dites « très très précoces » et ont une croissance déterminée à semi-déterminée tandis que le groupe II correspond aux variétés « tardives » qui ont une croissance indéterminée (la plante est capable de produire de nouveaux nœuds tant que les conditions climatiques le permettent) (Terres Inovia, 2023). La profondeur d'enracinement maximale du soja est d'environ 1m (Bisson and Robert, 2010). En Bretagne il s'agit d'une culture de printemps, semée entre mi-avril et début juin et récoltée entre mi-septembre et mi-octobre. Le soja est reconnu pour présenter des difficultés à la levée : le taux de germination des semences certifiées est compris entre 80 et 95% et un sol trop battant ou motteux peut freiner la croissance des plantules et entraîner jusqu'à 20% de pertes à la levée (Chambert et al., 2019). Le projet SOJASUR a par ailleurs été déposé par la chambre d'agriculture pour travailler sur les problématiques de levée du soja.

Le rendement moyen du soja en conduite conventionnelle non irriguée est autour de 27q/ha contre 20/ha en bio. Le prix de vente est d'environ 450€/T en conventionnel et 650€/T en bio (Charron and Leon).

3.2. Le pois chiche

Le pois chiche (*Cicer Arietinum*) est une dicotylédone de la famille des Fabacées, originaire de Turquie. Le pois chiche est un autogame strict, dont le cycle de vie dure environ 7 mois et produisant en général 1 graine et jusqu'à 3 graines par gousse (Lambert, 2019a) et dont la racine pivot peut descendre à 1m50 de profondeur (Marguerie, 2017a). Sa croissance est indéterminée, un stress hydrique d'une semaine minimum est donc nécessaire pour stopper la floraison et permettre le passage en phase maturation.

Il existe de nombreux cultivars de pois chiches, les trois principaux sont : Desi, Kabuli et Gulabi. En France c'est le type Kabuli qui est cultivé, il se caractérise par de grosses graines, plutôt lisses et de couleur crème (Terres Univia, 2019). La plante et particulièrement bien adaptée aux sols secs et drainés du sud de la France et son port rigide permet de la cultiver sur un sol caillouteux sans gêner la récolte. Il s'agit d'une culture résistante au manque d'eau, grâce à ses folioles et gousses qui sécrètent de l'acide oxalique et de l'acide citrique, permettant de tamponner l'évapotranspiration et de repousser la majorité des insectes phytophages. En Bretagne le climat est pour le moment peu adapté car il s'agit d'une culture sensible à l'excès d'eau et au froid. La densité idéale est de 50 plants par mètre carré mais la levée du pois chiche est souvent mauvaise, parfois en dessous de 50%. (Baguet et al., 2023) La densité visée lors du semis est de 45 plants/m² mais on estime cependant qu'au-dessus de 30 plants par mètre carré le rendement ne sera pas fortement impacté car la faible densité est en partie compensée par la ramification des plantes.

En agriculture conventionnelle le rendement moyen du pois chiche se situe entre 15 et 30 quintaux par hectare (Lambert, 2019a) et entre 10 et 20 q/ha en bio, pour le sud de la France (Marguerie, 2017a).

3.3. Choix de classe de précocité et de date de semis

Avec le changement climatique et l'augmentation des sommes de températures, un changement de classe de précocité en soja pourrait théoriquement être envisagé dans le sud-est de la Bretagne. Cependant il y a un plus grand risque de non récolte en passant à une classe 00 (récolte 8 années sur 10). D'après l'institut technique Terres Inovia l'augmentation de potentiel de rendement d'une variété 00 est compensée par le risque de non récolte. Il est donc recommandé de rester sur une classe 000 et d'utiliser au maximum son potentiel de rendement plutôt que de prendre le risque d'utiliser une variété à potentiel plus élevé mais qui serait récoltée dans de mauvaises conditions.

3.4. Le soja et le pois chiche : de bons candidats à la culture en bio

Le soja est peu sensible aux ravageurs après le stade 2 feuilles : seules les limaces peuvent éventuellement faire l'objet d'un traitement. Les gros oiseaux comme les choucas ou les palombes représentent un danger depuis la levée jusqu'au stade 2 feuilles car ils parviennent à tirer sur les pousses pour déterrer les graines et peuvent ainsi ravager des parcelles entières (Martin-Monjaret et al., 2019). L'usage d'effaroucheurs dès le semis est donc recommandé. La principale problématique pour la culture du soja en bio reste la gestion des adventices, en effet, la croissance chez le jeune soja est lente ce qui rend les adventices très concurrentielles pour la lumière et les nutriments. De plus, les adventices peuvent aussi être un réservoir de maladies.

Hormis la noctuelle héliotis, le pois chiche est peu sensible aux attaques d'insectes phytophages. La principale maladie à laquelle il fait face en France est l'ascochytose, causée par *Ascochyta Rabiei* (Terres Univia, 2019). La croissance du pois chiche est encore plus lente que celle du soja en début de cycle ce qui le rend très peu concurrentiel face aux adventices. Cependant il existe peu de solutions de désherbage chimique sur pois chiche qui est, de plus, une culture résistante au désherbage mécanique (peu de pertes de pieds lors du passage de la houe ou de la bineuse en inter rang). Cela explique que le pois chiche soit très répandu en bio : 1/3 de la surface cultivée est en bio.

4. Aspects techniques

4.1. Recherche variétale

Depuis 2000 plus de 70 nouvelles variétés de soja ont été inscrites au catalogue officiel. En 2022 et 2023 ce sont 9 et 10 nouvelles variétés qui ont été inscrites, dont 5 de précocité 000 (Fintz, 2022). Cela est encourageant pour le développement de la culture de soja en zone climatique habituellement peu favorable, car de plus en plus de variétés adaptées sont disponibles. Ces variétés doivent être testées afin de trouver l'itinéraire technique adéquat et de déterminer lesquelles sont les plus performantes dans le climat breton. De nouvelles variétés de pois chiches commencent aussi à être mises sur le marché et, même si elles sont moins nombreuses que les variétés de soja il est aussi nécessaire de valider leurs performances face au climat breton. De plus, le « plan protéines »(2021c) du gouvernement a permis un accompagnement financier des semenciers pour les inciter à développer des variétés de protéagineux adaptées à des régions plus froides.

4.2. Quelle gestion des adventices pour le soja et le pois chiche en bio ?

La lutte intégrée contre le salissement des cultures peut se décliner en trois méthodes : adapter l'itinéraire technique pour augmenter la compétitivité, utiliser des plantes compagnes ou réaliser un désherbage mécanique.

4.2.1. Augmenter la compétitivité

Les techniques visant à augmenter la compétitivité du soja face aux adventices consistent à adapter la densité de semis, l'espacement entre les rangs ou à utiliser des variétés plus compétitives (celles ayant la meilleure vigueur à la levée). Diminuer l'espacement entre les rangs permet d'avoir une fermeture plus précoce de la canopée et empêche ainsi l'accès à la lumière pour les adventices situées dans l'inter rang (Hock et al., 2006). De plus, semer en rangs étroits permet une meilleure tolérance aux adventices précoces et retarde la période critique pour le désherbage, ce qui permet de réaliser le désherbage mécanique sur des plantes plus âgées et donc de limiter leur fragilité au moment du passage des outils (Knezevic et al., 2003). Mais cela a un inconvénient majeur : le rapprochement des plantes induit une propagation des maladies plus élevée.

4.2.2. Utiliser le désherbage mécanique

Le désherbage mécanique est une solution largement utilisée et peut l'être en complément des méthodes détaillées précédemment. Les équipements les plus utilisés sur soja sont la herse étrille et la bineuse inter rang (Weber et al., 2016). La bineuse permet de ne travailler que l'inter rang, tandis que la herse travaille toute la surface du sol, mais il est aussi possible de rajouter des doigts sur la bineuse pour travailler l'intra rang, cependant aucun effet positif sur le rendement n'a pas été démontré (Richard et al., 2023). Dans les cultures de pois chiches semées en rangs, l'usage de la houe rotative en inter rang est courant, mais il faut veiller à l'utiliser suffisamment tôt pour éviter les dégâts sur les plants (Van Der Weide et al., 2008) l'usage de la herse étrille en prélevée ou après le stade 2 feuilles reste la solution de désherbage mécanique la plus répandue. La période critique de l'influence des adventices se situe du stade 4 feuilles au stade floraison complète (Mohammadi et al., 2005), il faut donc limiter au maximum la croissance des adventices durant cette période.

4.2.3. Semer des plantes compagnes

Il existe différents types d'associations : en bandes larges qui permettent une mécanisation traditionnelle, en rangs alternés, en mélange total ou en relais (semis d'une plante plus tardif donc récolte décalée). (Stomph et al., 2020).

Une plante de service ne sera en général pas récoltée pour être vendue en même temps que la culture principale, elle n'a donc pas d'intérêt économique mais sa fonction est de maîtriser le développement des adventices ou d'attirer les auxiliaires, elle peut aussi améliorer la structure du sol et constituer un apport de matière organique. Dans le cadre du projet CLIMATVEG on utilise des plantes compagnes avant tout pour le contrôle des adventices, même si certaines comme le sarrasin, la lentille et le lin peuvent aussi être récoltées.

L'association trouve son utilité quand les cultures employées sont complémentaires pour l'usage des ressources, que ce soit au niveau du mode d'utilisation, du temps ou de l'espace. On doit alors veiller à utiliser des espèces qui maximiseront l'utilisation des ressources plutôt que d'entrer en concurrence. Les plantes cultivées doivent donc cumuler plusieurs de ces critères : période de forts besoins en eau décalée, différentes profondeurs d'extraction de l'eau (racines traçantes vs pivot), différents modes d'extraction de l'azote : via les racines ou via symbiose (Stomph et al., 2020).

Un essai de cultures associées à base de soja avec tournesol, sorgho, sarrasin ou lentille, en rangs séparés ou non a montré une dynamique de trade-off entre la gestion des adventices et le maintien de la production de soja. Il faut donc s'agit chercher un compromis entre contrôle des adventices et limitation de la compétition avec le soja (Cheriere et al., 2020).

Plante	Système racinaire	Absorption azote	Croissance	Besoin en eau	Insertion dans la rotation	Allélopathie	Temps de retour	Remarques
Sarrasin	pivot, peu profond (25 cm)	racinaire	rapide, homogène	forts besoins jusqu'à la floraison	avant céréales (effet nettoyant)	oui	2 ans	peu demandeur d'azote
Seigle	fasciculé, très profond	racinaire	rapide	peu élevés	après une autre céréale	oui	3 à 5 ans	résistant aux maladies du pied = très bien en 2 ou 3 ème paille
Lentille	pivot, peu développé	via symbiose	assez lente	peu élevés	en tête de rotation, avant céréale	non	4 ans	
Moutarde	pivot, assez profond	racinaire	rapide	peu élevés	en couvert ou interculture	non	3 ans	
Lin	pivot, assez profond	racinaire	plutôt rapide	faibles besoins	en interculture ou après luzerne/blé	non	3 ans	enherbement peu toléré, triage facile
Orge	fasciculé, profond (1m)	racinaire	plutôt rapide	peu élevés	après blé, avant colza	non	2ans	
Soja	pivot, peu profond	via symbiose	plutôt lente	forts besoins pendant floraison - remplissage	s'intègre bien avec céréales, légumineuses, tournesol	non	3 ans	
Pois chiche	pivot, profond	via symbiose	lente	peu élevés	avant céréale	non	3 ans	PMG élevé = triage facile

Tableau 1 : résumé des caractéristiques des espèces utilisées

Le tableau 1 résume les caractéristiques des plantes semées sur l'essai protéagineux de cette année. On veille à choisir des plantes compagnes ayant une structure racinaire et un mode d'absorption de l'azote différents pour limiter la compétition.

Le sarrasin a des propriétés allélopathiques qui permettraient donc de limiter la croissance des adventices sur le rang, mais il est aussi compétitif du fait de sa taille élevée (Perrin, 2020).

Le lin, de taille modérée, fleurit avant le pois chiche et attire les pollinisateurs, de plus les graines de lin sont faciles à séparer des pois chiches. (Raison)

Le seigle est choisi car de toutes les céréales c'est celle qui fait la plus faible concurrence : il pousse plutôt en touffes ce qui laisse le reste de la parcelle plus aéré et limite la concurrence. La hauteur plus importante du seigle permet aussi de l'écimer si besoin : en cas de trop forte concurrence ou bien pour éviter le bourrage de la moissonneuse s'il n'est pas suffisamment sec au moment de la récolte (Johan and Maréchal, 2015).

La lentille est combinée au pois chiche pour la première fois cette année. Il est possible de récolter les deux espèces en même temps certaines années (Riquet and Le Bihan, 2019) mais si la lentille arrive à maturité avant le pois chiche cela reste intéressant car les graines tombées au sol peuvent germer et former un couvert pour l'hiver.

Il existe cependant des freins au développement des associations de cultures : l'utilisation de cultures associées aura tendance à faire revenir les espèces plus souvent sur une même parcelle, ce qui demande une vigilance supplémentaire dans le choix des rotations et de l'assolement. De plus, le choix de réaliser une association doit prendre en compte le contexte logistique et économique car toutes les coopératives n'acceptent pas les récoltes de cultures associées ; il est donc primordial de pouvoir trier efficacement les différentes espèces récoltées.

4.3. Insertion du pois chiche et du soja dans les rotations types Bretonnes

Le pois chiche a l'avantage de laisser des résidus azotés pour la culture suivante (environ 40 unités) dans les régions où les bactéries *Mesorhizobium Ciceri* et *Mesorhizobium Mediterraneum* sont présentes (Lambert, 2019b), ce qui n'est pas le cas en Bretagne. On peut donc le placer avant une céréale à paille. Le délai de retour minimal en bio est de 4 voire 5 ans pour réduire la pression de l'ascochytose et de la fusariose.

Le soja s'intègre très bien dans les rotations classiques : il peut par exemple se cultiver en alternance avec des céréales, d'autres légumineuses ou du tournesol, tous les 5 ans minimum. Il faut veiller à respecter le temps de retour de 3 ans minimum et à ne pas cultiver plus de deux années de suite d'autres cultures de printemps comme le maïs au risque de voir des adventices spécifiques se développer (Chambert, 2019). Afin de lutter contre le sclérotinia il faut veiller à ne pas avoir plus de 25% de plantes sensibles à cette maladie dans la rotation : colza, soja, lupin, pois protéagineux, tournesol (Agridea, 2007).

Les deux cultures sont sensibles au sclérotinia, un champignon dont la présence se caractérise par des lésions brun clair puis l'apparition de scléroties, des billes ovoïdes noires, qui sont l'organe reproducteur du champignon. Cependant un temps de retour de 6 ans entre deux cultures porteur sain ou sensibles, ainsi que l'utilisation de CONTENS WG, un mycoparasite des scléroties, permettent de limiter fortement l'impact du sclérotinia (Wang et al., 2024).

II. PROBLÉMATIQUE ET HYPOTHÈSES DE RECHERCHES

Dans le cadre de cette étude, il s'agira de répondre aux questions suivantes :

- 1) **Comment le changement climatique va-t-il influencer la faisabilité d'une culture de soja/ pois chiche en Bretagne ?**
- 2) **L'utilisation de plantes compagnes permet-elle de réduire efficacement le salissement des cultures de soja et de pois chiche bio ?**
- 3) **Quelles sont les variétés de soja et de pois chiche les mieux adaptées au climat breton ?**

Ce travail est construit autour de deux grandes parties : la réalisation de cartes représentant plusieurs indicateurs climatiques, et l'expérimentation au champ. Ces deux parties se complètent mutuellement, les résultats de l'expérimentation (ΣDJ , besoins en eau, etc) étant utilisés pour définir les seuils dans la construction des cartes de faisabilité, et la présentation des cartes pouvant contribuer à justifier l'intérêt des expérimentations.

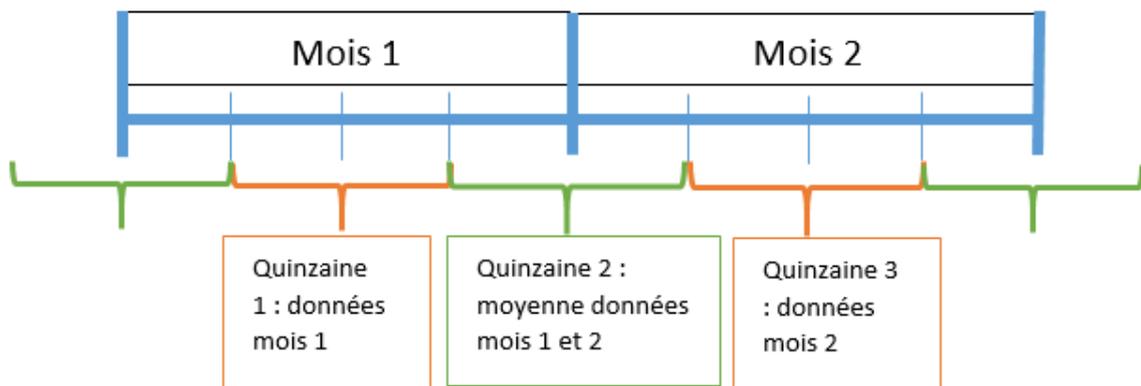


Figure 7 : méthode de découpage du jeu de données

```
# NORTAV : Température moyenne journalière (°C)
# NORTNAV : Température minimale journalière (°C)
# NORTXAV : Température maximale journalière (°C)
# NORPAV : Précipitations journalières moyennes (mm)
# NORRR : Cumul de précipitation (mm)
# NORRR1MM : Nombre de jours de pluie (jour(s))
# NORETPC : ETP cumulée (mm)
```

Figure 8 : présentation des indicateurs contenus dans le jeu de données

III. MATERIELS ET METHODES

1. Construction des cartes de faisabilité pois chiche et soja en 2050.

L'objectif est d'évaluer l'impact que pourrait avoir le changement climatique sur la culture de pois chiche et de soja en Bretagne en 2040-2050. Pour cela on utilise plusieurs indicateurs représentatifs de la faisabilité des cultures d'un point de vue uniquement climatique. La remontée possible de ravageurs ou le développement de maladies telles que l'ascochyose dans la région n'ont pas été pris en compte car leur impact serait impossible à évaluer : leur nuisibilité ne dépend pas uniquement du climat, elle est aussi liée à d'autres facteurs comme la place de la culture dans la rotation, ou la présence de ravageurs dans les parcelles avoisinantes.

Les indicateurs utilisés sont donc ceux directement liés au climat comme les conditions de récolte, le risque de coulure des fleurs, les conditions de désherbage ou encore l'impact du stress hydrique.

1.1. Les données

Le jeu de données utilisé est celui fourni par le Drias, pour le scénario RCP 8.5 et l'horizon 2040-2070. Il est issu du modèle ALADIN63_CNRM-CMS construit par Météo France et le Centre National de Recherches Météorologiques CNRM. Ces données sont disponibles pour l'ensemble du territoire français, avec une maille de 8km. Pour la Bretagne cela représente 415 points.

Des indicateurs climatiques avec soit un pas de temps annuel, mensuel, quotidien ou saisonnier sont disponibles.

Le choix a été fait de se baser sur les indicateurs mensuels, qui ont ensuite été redécoupés par quinzaine : du 09 au 23 on utilise les données du mois en cours et du 24 au 08 du mois suivant on utilise une moyenne des deux mois (voir Figure 7) pour avoir un pas de temps assez précis tout en limitant le volume du jeu de données. Les indicateurs utilisés sont présentés dans la Figure 8.

En complément, on utilise les données de réserve hydrique mesurées quotidiennement à la station de Kerguéhennec par une sonde Sentek placée sur la parcelle témoin, ainsi que les mesures de température min et max journalière de la station météo de Kersuzan.

1.2. Choix des indicateurs et des références

Peu de références sont actuellement disponibles sur les besoins en eau et la tolérance au stress hydrique notamment du pois chiche, aussi le choix des indicateurs et des seuils s'est fait avant tout suite à des entretiens avec des experts de ces cultures chez Terres Inovia : Quentin Lambert pour le pois chiche et Hélène Tribouillois pour le soja. Les seuils de Ks pour déterminer l'impact du stress hydrique sur le soja sont les mêmes que ceux utilisés par Terres Inovia et la méthode de calcul du Ks est aussi similaire. Le seuil de 2.5 jours de pluie par semaine pour une bonne récoltabilité a été proposé par Quentin Lambert et les autres seuils ont eux aussi été validés par lui ou Hélène Tribouillois.

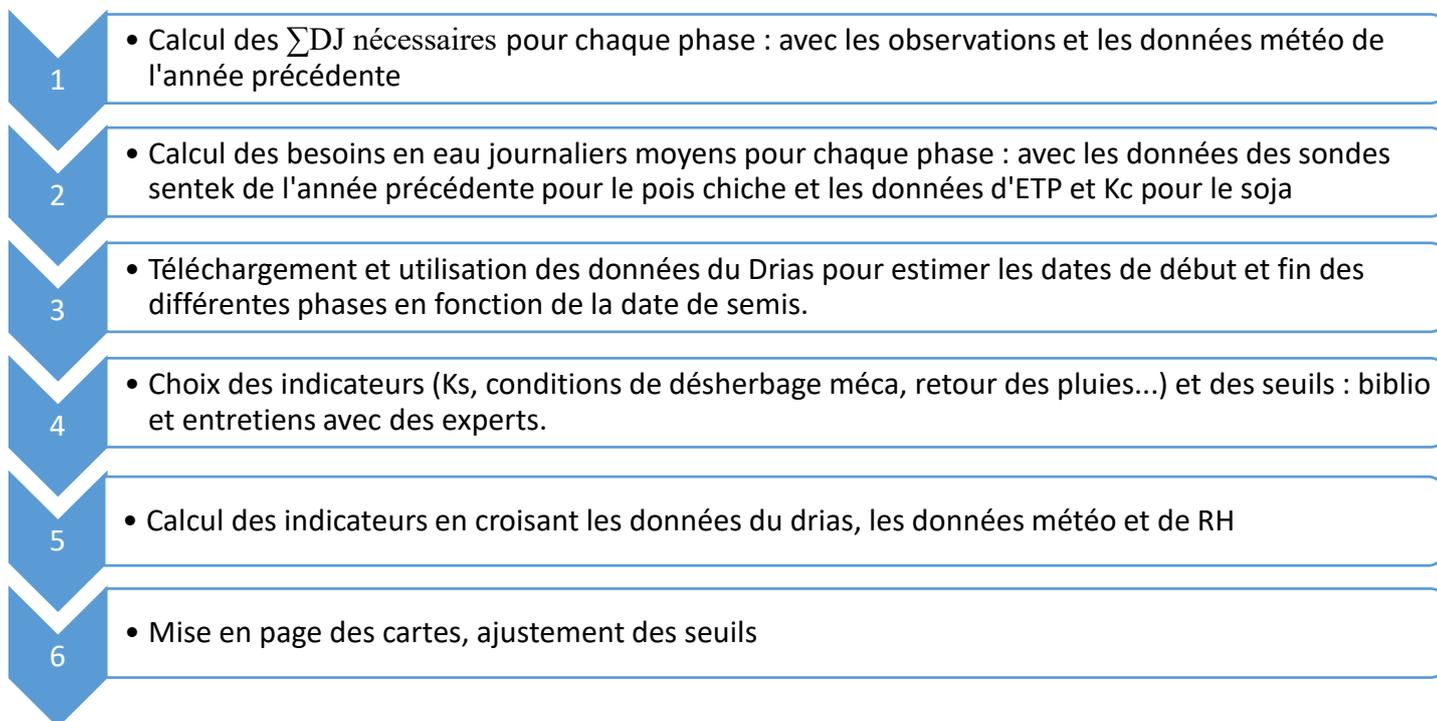


Figure 9 : démarche de calcul des indicateurs

Stade	$\sum DJ$	Besoins en eau
2 feuilles	110	2.6mm/j
Floraison	500	3.05mm/j
Remplissage	700	2.84mm/j
Maturation	1000	2.71mm/j
Récolte	1550	

Stade	$\sum DJ$	Besoins en eau
2 feuilles	150	2.3 mm/j
Floraison	550	3.3 mm/j
Remplissage	800	3.6 mm/j
Maturation	1250	1.51 mm/j
Récolte	1650	

Figure 10 : résumé des besoins en DJ et en eau au cours du cycle du pois chiche (à gauche) et du soja (à droite)

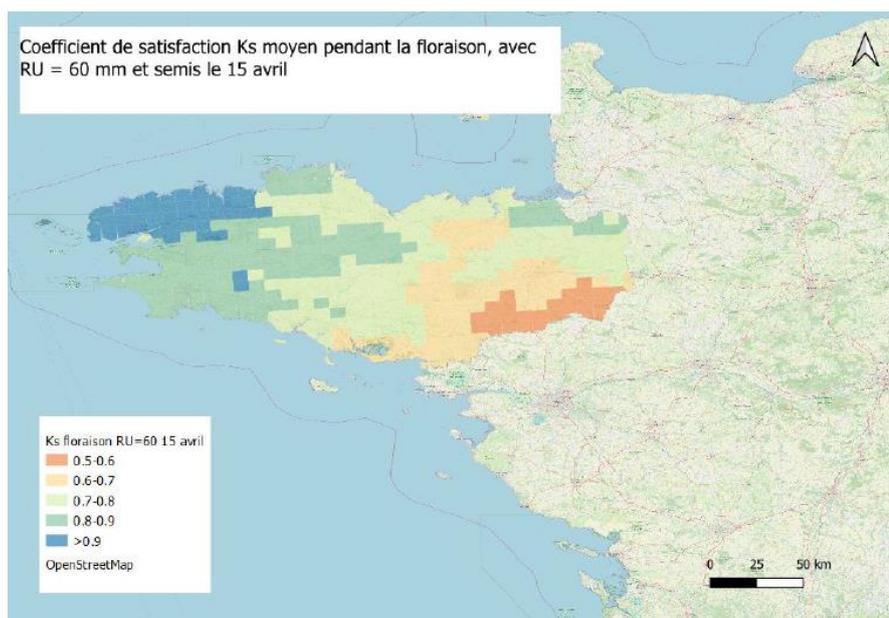


Figure 11 : Carte représentant le Ks moyen pendant la floraison, avec RU=60mm et semis le 15/04

1.3. Calcul des indicateurs

Pour simplifier la démarche, on sépare le cycle des cultures en 5 phases :

- 4) Semis-2feuilles
- 5) 2feuilles-floraison
- 6) floraison
- 7) remplissage
- 8) maturation

La somme de degrés jours nécessaire à chaque phase est calculée à partir des dates de début et fin des phases observées en 2023 et des températures relevées par la station de Kersuzan cette même année. De même les relevés quotidiens de la RH du sol permettent de déterminer la quantité d'eau utilisée chaque jour par les plantes et d'en déduire les besoins moyens journaliers par phase. Ces résultats sont présentés dans la Figure 10. Pour le soja, où des références précises de Kc sont disponibles (voir Annexe 1) (CA Lot et Garonne) on utilise la méthode $ETM = ETP * Kc$ pour déterminer les besoins en eau.

Enfin on croise ces informations et les données du Drias pour calculer les dates de début et de fin de chaque phase puis les autres indicateurs présentés dans le Tableau 2 en page suivante

Cette démarche est résumée par la Figure 9.

1.4. Exemple de la construction de la carte « Ks floraison soja, semis le 15 avril »

Ici on définit le Ks comme le rapport des besoins en eau de la plante (ETM) et de l'eau disponible (RFU + précipitations).

On dispose des données de sommes de températures, des précipitations journalières moyennes et de l'ETP, redécoupées en quinzaine.

On commence par calculer les dates du stade 2 feuilles et de début et fin de floraison, en regardant à quelle date la somme de degrés jours nécessaire est atteinte.

Ensuite on calcule les besoins en eau du stade 2 feuilles au début de la floraison, avec la méthode $ETM = ETP * Kc$, et les précipitations sur cette période, en utilisant les prévisions du DRIAS des précipitations moyennes journalières.

Au stade 2 feuilles la RH est encore maximale, c'est-à-dire égale à la RU. On peut donc calculer la RH au début de la floraison en faisant $RH_{\text{début flo}} = RU + \text{précipitations}_{2 \text{ feuilles-flo}} - ETM_{2 \text{ feuilles-flo}}$. On répète l'opération pour la période de floraison : calcul des dates de début et fin, des besoins en eau et des précipitations. Au final, on a $Ks = ETM_{\text{flo}} / (\text{précipitations}_{\text{flo}} + RH_{\text{début flo}})$.

Après transfert dans Qgis et mise en forme, on obtient la carte suivante : Figure 11

Indicateur	Culture(s) concernée(s).	Critère	Seuils
Risque de coulure des fleurs	Pois chiche	Risque présent si Tmoy pendant la floraison < 15.5 °C	2 catégories : risque important/ risque peu important. Uniquement pour le pois chiche
Conditions de désherbage mécanique : hersage	Pois chiche et soja	Part des jours pluvieux sur la période de hersage : de semis à stade 2 feuilles	Mauvaises si pluie >1jour sur 3, bonnes si pluie<1 jour sur 4, moyennes sinon
Conditions de désherbage mécanique : binage	Soja	Part des jours pluvieux sur la période de binage : de stade 2 feuilles à floraison	Mauvaises si pluie >1jour sur 3, bonnes si pluie<1 jour sur 4, moyennes sinon
Ks moyen floraison	Pois chiche et soja	= besoins floraison / (précipitations + eau disponible)	Répartis en 6 catégories : < 0.5, 0.5-0.6 ; 0.6-0.7 ; 0.7-0.8 ; 0.8-0.9 ; >0.9
Impact du stress hydrique floraison soja	Soja	En fonction du Ks	Fort si Ks<0.5, moyen si 0.5<Ks<0.7 ; faible si 0.7<Ks<0.9, très faible si Ks>0.9
Ks moyen remplissage	Pois chiche et soja	= besoins remplissage / (précipitations + eau disponible)	Répartis en 6 catégories : < 0.5, 0.5-0.6 ; 0.6-0.7 ; 0.7-0.8 ; 0.8-0.9 ; >0.9
Impact du stress hydrique remplissage soja	Soja	En fonction du Ks	Fort si Ks<0.5, moyen si 0.5<Ks<0.7 ; faible si 0.7<Ks<0.9, très faible si Ks>0.9
Ru minimale pour Ks>0.9	Pois chiche et soja	RU initiale minimale pour impact très faible du stress hydrique pendant le floraison et le remplissage	Ks>0.9
Date de récolte	Pois chiche et soja	Date à laquelle la culture aura atteint 1600 DJ pour le soja et 1550 DJ pour le pois chiche	
Risque de non récolte	Pois chiche et soja	Comparaison de la date de maturité (1600 DJ) et de la date de retour des pluies à 2.5jours/semaine	Fort si retour des pluies > 10 jours avant date de maturité, Faible si > 10 jours après date de maturité, moyen sinon.
Note globale	Soja	Sur critères : risque de non récolte (coefficient 2), conditions binage, conditions hersage, impact du stress hydrique floraison, impact du stress hydrique remplissage	Sur 5 points
Note globale (Stress hydrique pendant le remplissage non pris en compte).	Pois chiche	Sur critères : risque de non récolte (coefficient 2), risque de coulure des fleurs (coefficient 2), conditions hersage, impact du stress hydrique floraison.	Sur 5 points

Tableau 2 : résumé des indicateurs et des seuils utilisés pour la construction des cartes de faisabilité

1.5. Construction des arbres de décision

Afin de construire les arbres de décision pour la culture du soja et du pois chiche, on a commencé par classer les indicateurs par ordre d'importance :

Ici on a choisi de placer l'absence de coulure des fleurs et le risque de non récolte en premier car ce sont les conditions essentielles à la viabilité de la culture ;

Puis viennent le stress hydrique et les conditions de désherbage mécanique qui peuvent être compensées par l'arrosage ou le désherbage chimique.

Pour le soja, le choix de la date de semis doit aussi prendre en compte le risque de gel pour un semis au 15 mars ou au 15 avril.

Les arbres de décisions ne prennent pas en compte les facteurs biotiques comme les ravageurs ou les maladies et ne peuvent donc pas suffire à eux seuls pour décider de la conduite de la parcelle.

2. Expérimentation

2.1. Présentation des modalités

L'essai pois chiche comporte 15 modalités : 7 variétés, un témoin, un témoin désherbage manuel, et 6 associations. L'essai soja comporte 21 modalités : 2 associations avec du sarrasin, 2 densités de semis différentes ; 1 témoin et 16 variétés. Pour les micro-parcelles en association, on utilise toujours la même variété de référence : Flamenco pour le pois chiche et Aurelina pour le soja.

Les Annexes 2 et 3 résument les modalités et les variétés testées cette année.

2.2. Le plan expérimental

On met en place deux alpha-plans, ce type de plan est utilisé si le nombre de traitements ou de combinaisons est supérieur à 15. Les micro-parcelles de pois chiche font 2 m10 de large et 15 m de long, entre chaque micro parcelle on laisse un espace de 20 cm et entre chaque bloc un espace de 2.5m. Les micro-parcelles de soja mesurent 1.80 m de large, 15 m de long et comportent 5 rangs de soja espacés de 36 cm. On laisse aussi un espace de 20 cm entre chaque micro parcelle et de 2.5m entre chaque bloc. La répétition en quatre blocs permet de prendre en compte le gradient horizontal (pente). Toutes les modalités sont répétées une fois dans chaque bloc, à chaque fois dans un bloc ligne différent, ce qui permet de prendre en compte un gradient latéral et une hétérogénéité locale. Sur les bords des parcelles, des bandes tampons sont semées, il s'agit de lin autour de l'essai pois chiche, dont le but est d'attirer les altises afin qu'elles ne s'attaquent pas à la moutarde, et d'orge ainsi que de moutarde autour du soja.

La Figure 12 présente le plan expérimental.

2.3. Paramètres et indicateurs mesurés.

Les Annexes 4 et 5 décrivent les mesures et comptages à effectuer sur l'essai, de la préparation du semis à la récolte et les Figures 13 et 14 résument les dates auxquelles ces différentes opérations ont été effectuées. En plus des comptages et prélèvements, des visites de parcelles sont effectuées au moins deux fois par semaine.

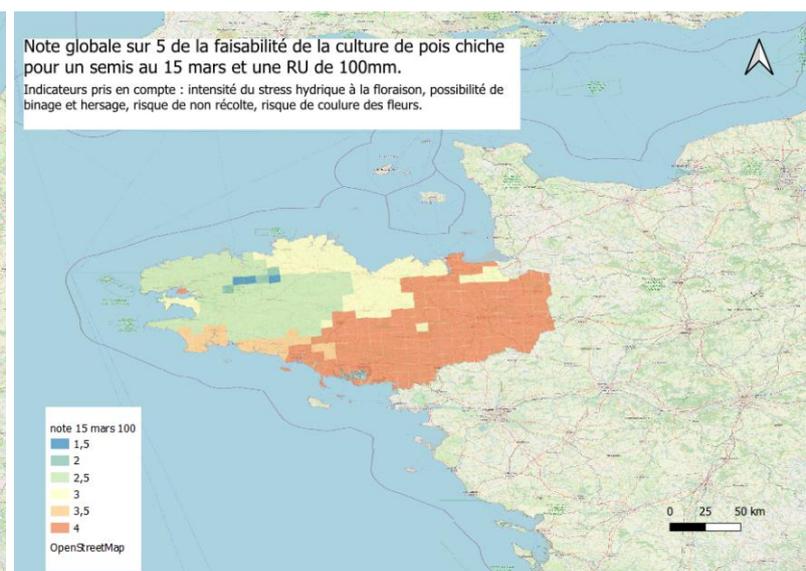
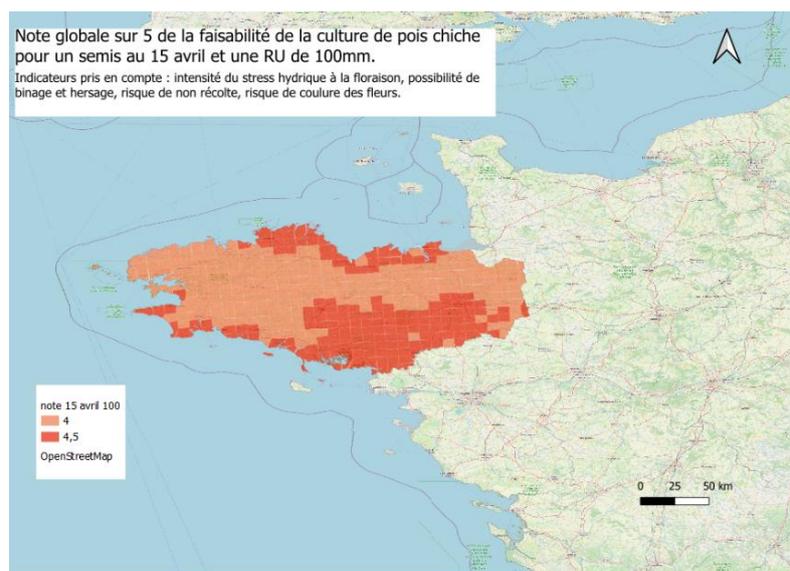
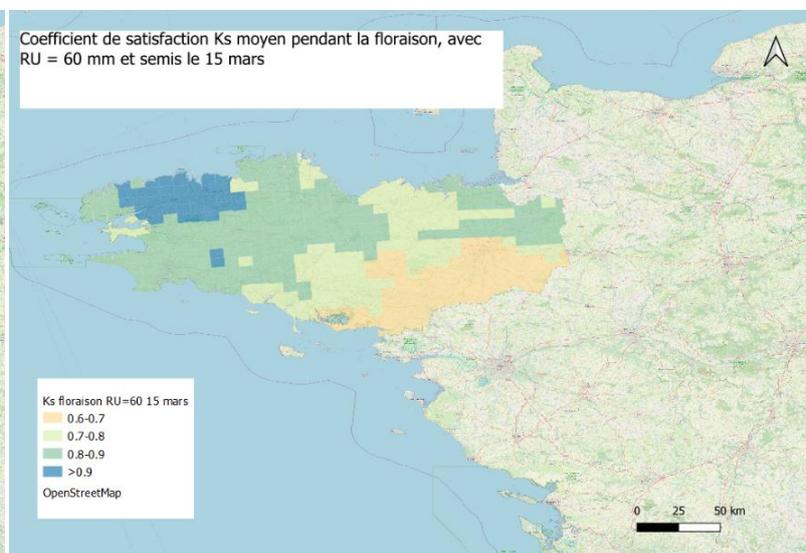
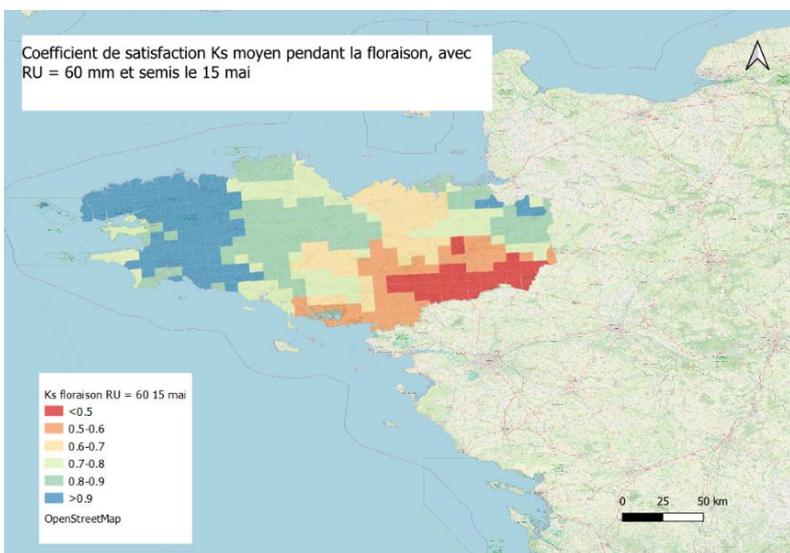
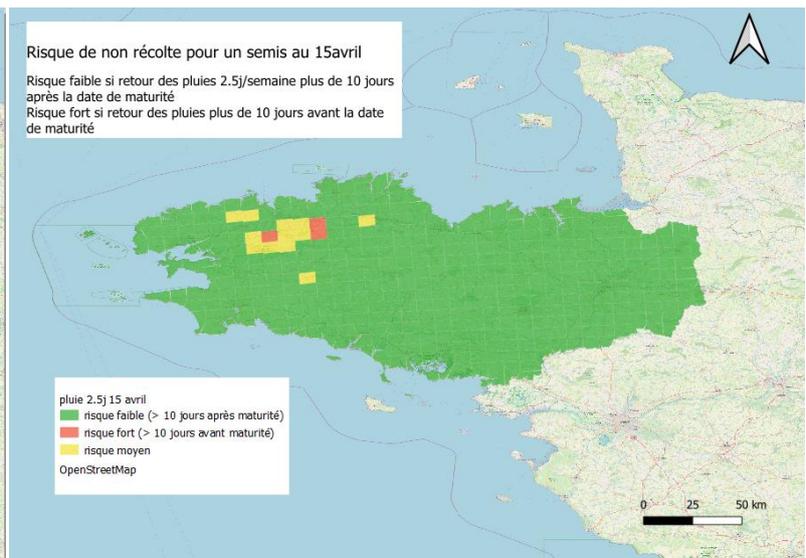
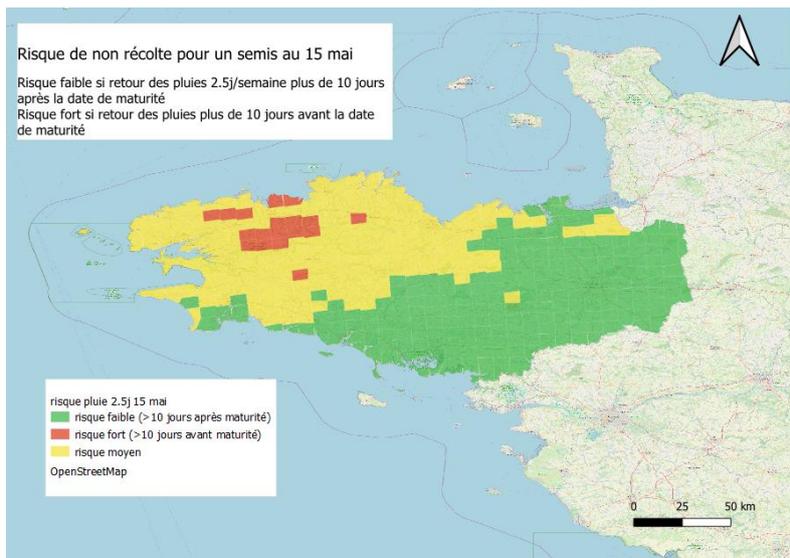


Figure 15 : exemple de six cartes montrant des indicateurs pour des dates de semis différentes

IV. RÉSULTATS ET DISCUSSION

1. Cartes de faisabilité des cultures à l'horizon 2050.

50 cartes ont été réalisées, pour 2 RU : 60 et 100 mm et 2 dates de semis différentes : 15 avril et 15 mars dans les cas du pois chiche et 3 dates différentes: 15 mars, 15 avril et 15 mai dans le cas du soja. Un extrait de six cartes a été choisi ; il est présenté sur la Figure 15, les autres cartes sont présentées dans un livret à part. Les résultats sont cohérents dans l'ensemble : plus le semis est tardif plus les températures et les ETM seront élevés pendant la floraison et plus le stress hydrique sera important. Les conditions de désherbage mécaniques sont meilleures pour un semis tardif car dans ce cas les pluies sont moins fréquentes. De même les résultats obtenus sur les risques de non récolte et de stress hydrique sont cohérents avec ce qui est observé actuellement : le nord du Finistère et le nord de l'Ille-et-Vilaine sont moins impactés par le stress hydrique mais ont aussi de moins bonnes conditions de désherbage mécanique et des dates de récoltes plus tardives.

On observe un gradient est-ouest assez net pour les notes de faisabilité globale, ce qui correspond là encore aux observations actuelles. Une problématique majeure était que les facteurs « risque de non récolte » et « stress hydrique avaient tendance à se compenser : dans les zones avec peu de températures et beaucoup de pluie la risque de non récolte était fort et les conditions de désherbage mauvaises mais cela était compensé par l'absence de stress hydrique.

Pour le pois chiche le choix été fait de ne pas prendre en compte le stress hydrique au remplissage dans la note globale car les cartes devenaient alors incohérentes et ne permettaient plus de distinguer les zones climatiques entre elles, les notes étant trop homogènes. De plus, le stress hydrique au remplissage n'est pas forcément négatif pour le pois chiche car il permet à la plante de stopper sa floraison et d'entrer en phase maturation (Lambert, 2024), quand un excès de pluie entrainera une floraison continue et un risque accru de maladies.

2. Arbres de décision pour la culture du soja et du pois chiche.

Le but de ces arbres (Figure 16 et Annexe 6) est d'aider l'utilisateur à déterminer si la culture de soja ou de pois chiche est envisageable sur ses parcelles et à choisir la date de semis et la conduite la plus adaptée. On reprend les seuils fixés pour la construction des cartes : bonnes conditions de désherbage mécanique si pluie moins de 1 jour sur 4, risque de non récolte si retour des pluies 2.5 jours par semaine avant la date de maturité supposée. L'importance des conditions de désherbage mécanique ne doit pas être négligée car l'enherbement reste la principale problématique pour la culture de soja ou pois chiche biologique.

3. Itinéraires techniques

La plateforme de protéagineux est implantée sur un précédent de flageolets suivi d'un couvert de moutarde (l'Annexe 7 résume les cultures qui se sont succédées sur la parcelle depuis 2020). La préparation de la parcelle commence donc par un broyage du couvert suivi d'un premier travail du sol assez profond, dont le but est de remonter et faire germer les graines d'adventices afin de les détruire par la suite. Les opérations de travail du sol sont de moins en moins profondes : elles ont pour but de détruire les graines d'adventices ayant germé, sans en faire remonter de nouvelles à la surface).

La saison 2023-2024 a été marquée par de fortes pluies au printemps ce qui a beaucoup retardé le semis de pois chiche et même de soja : le pois chiche a été semé 3 semaines en retard et le soja 2 semaines après la date prévue, ce qui explique les nombreuses opérations de travail du sol avant le semis. Les conditions de désherbage mécanique ont été très mauvaises pour le pois chiche : en raison de la fréquence trop importante des pluies il était impossible de trouver un créneau adéquat (conditions séchantes pendant au moins une journée) pour le passage de la herse étrille. La parcelle de pois chiches est donc restée fortement enherbée pendant la suite de l'essai. La forte humidité et les températures assez basses ont aussi impacté le taux de levée du pois chiche, la plupart des graines ayant pourri sans le sol avant de germer.

Concernant le soja, les conditions de désherbage mécanique étaient meilleures ce qui a permis de réaliser 3 passages de herse étrille en conditions optimales et un binage. La parcelle est restée faiblement enherbée.

Les Annexes 8 et 9 résument l'itinéraire technique des cultures.

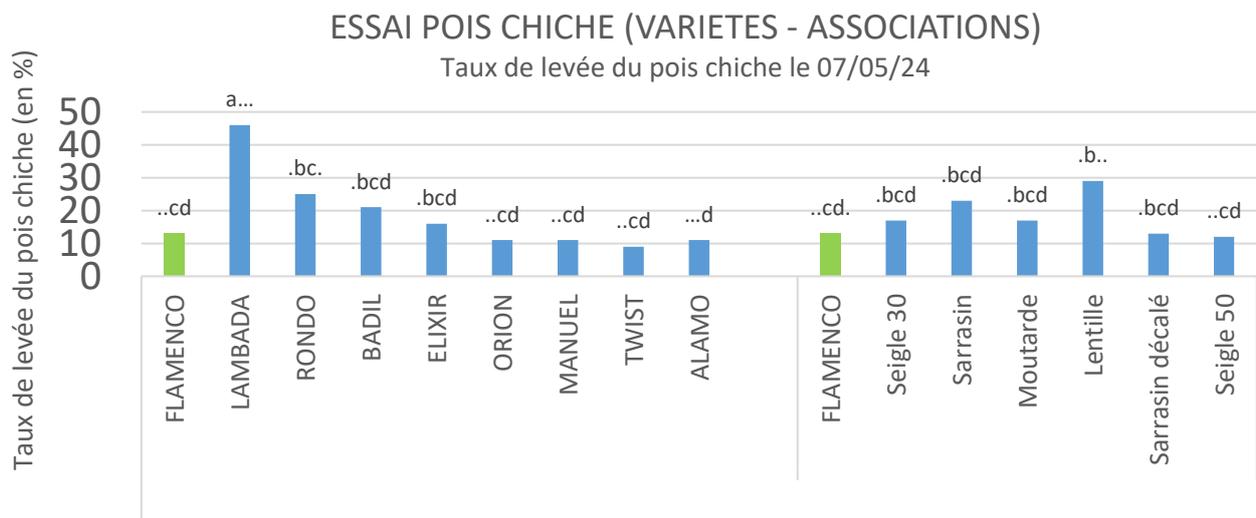


Figure 17 : Taux de levée du pois chiche, le 07/05/24

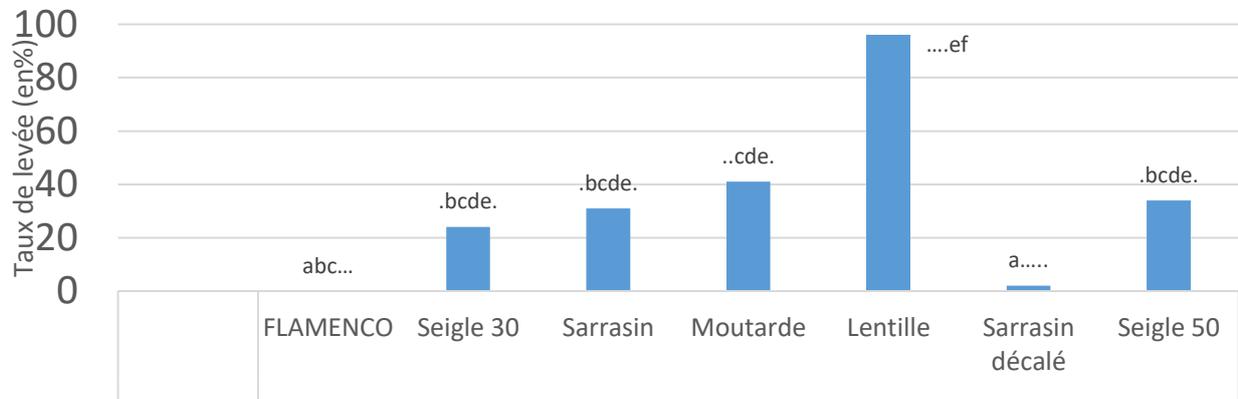


Figure 18 : Taux de levée des plantes compagnes, le 07/05/24

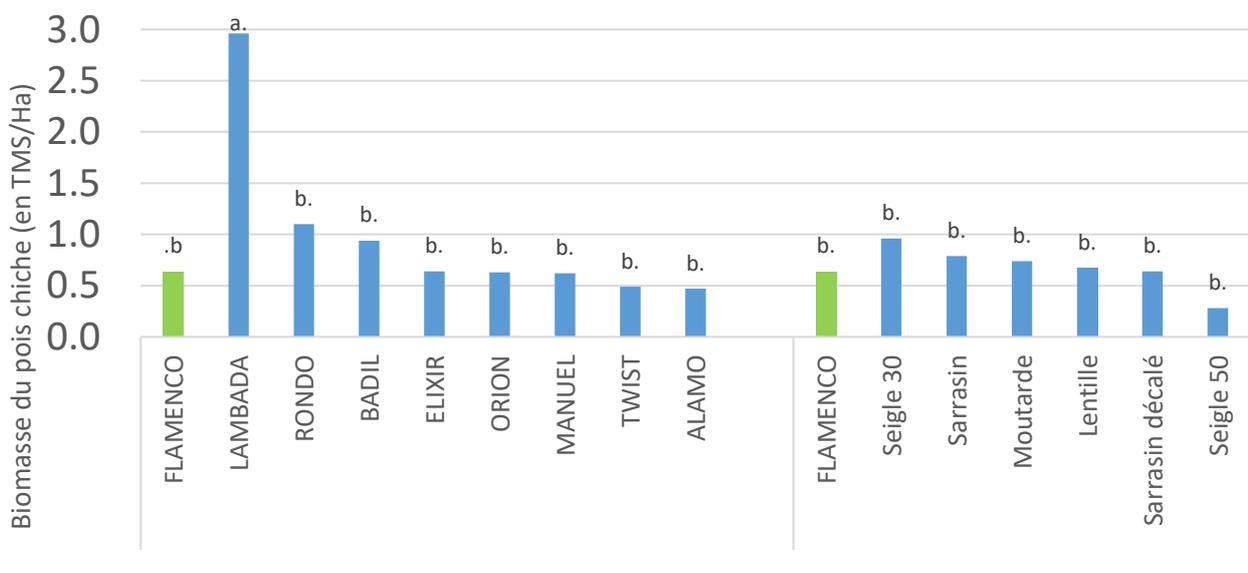


Figure 19 : Biomasse du pois chiche, le 17/06/24

4. Analyse des résultats de l'essai pois chiche

4.1. Présentation des résultats

On utilise l'extension Expé-R pour le traitement des données. Il s'agit d'un logiciel développé par Arvalis et conçu spécialement pour l'analyse statistique de données d'expérimentation en agronomie.

Le logiciel fournit pour chaque critère une analyse statistique complète, une cartographie des résidus ainsi que des tests post hoc (Tukey et Dunnett).

Les CVR sont élevés en comparaison de ce qui est habituellement rencontré en essais analytiques (autour de 20-30 contre 5 en moyenne) et cela est vrai en particulier pour les biomasses. Il s'agit cependant d'un résultat prévisible car les variabilités sont toujours élevées en essai légumineuses. La valeur de 5 pour un CVR correspond plutôt à un essai céréales. Un paramètre important qui doit être vérifié est l'ETR (écart type résiduel) ; il est important qu'il reste faible, pour montrer une bonne fiabilité des résultats. Idéalement l'ETR doit être inférieur à 5, ce qui était le cas dans les résultats qui seront présentés.

La présence d'un bloc anormal peut être détectée sur la cartographie des résidus ou en comparant les ETR de chaque bloc, tandis que la présence de résidus suspects et l'existence d'un effet bloc sont directement indiquées par le logiciel.

Cette année, le taux de levée moyen du pois chiche est de 14,6 %, ce qui est très faible comparé aux résultats obtenus les années précédentes et au taux de germination mesuré en laboratoire avant le semis (de 76 à 97%). Cela peut s'expliquer par les températures assez faibles et la pluviométrie très importante dans les semaines qui ont suivi le semis, et par des éventuels dégâts d'oiseaux. Ces conditions ayant entraîné un fort enherbement de l'essai, les taux de recouvrement n'ont pas pu être mesurés car les adventices étaient bien trop développées par rapport au pois chiche, aussi les résultats n'auraient pas été exploitables.

On remarque une forte variabilité dans la levée (Figure 17). On peut expliquer cette hétérogénéité par un effet variétal, en particulier pour la variété Lambada qui a beaucoup mieux levé que les autres : 46% contre une moyenne à moins de 15%, mais aussi par la présence de plantes compagnes : l'analyse avec ExpéR montre un effet significatif de la plante compagne sur le taux de levée (p-value de 0.01). La modalité en association avec des lentilles a plutôt bien levé tandis que la modalité associée à du seigle a connu une moins bonne levée. Une hypothèse pour expliquer l'influence des plantes compagnes sur le taux de levée est qu'elles permettent de limiter les attaques d'oiseaux en rendant le pois chiche moins visible.

ESSAI POIS CHICHE (VARIETES - ASSOCIATIONS)

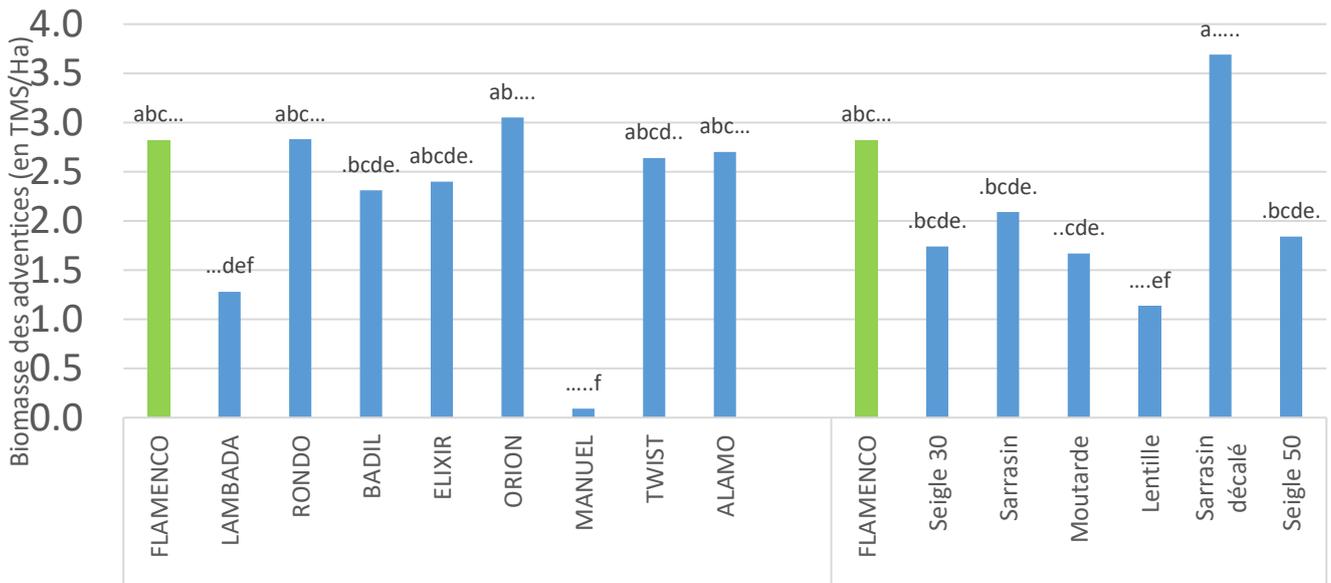


Figure 20 : Biomasse des adventices la 17/06/24

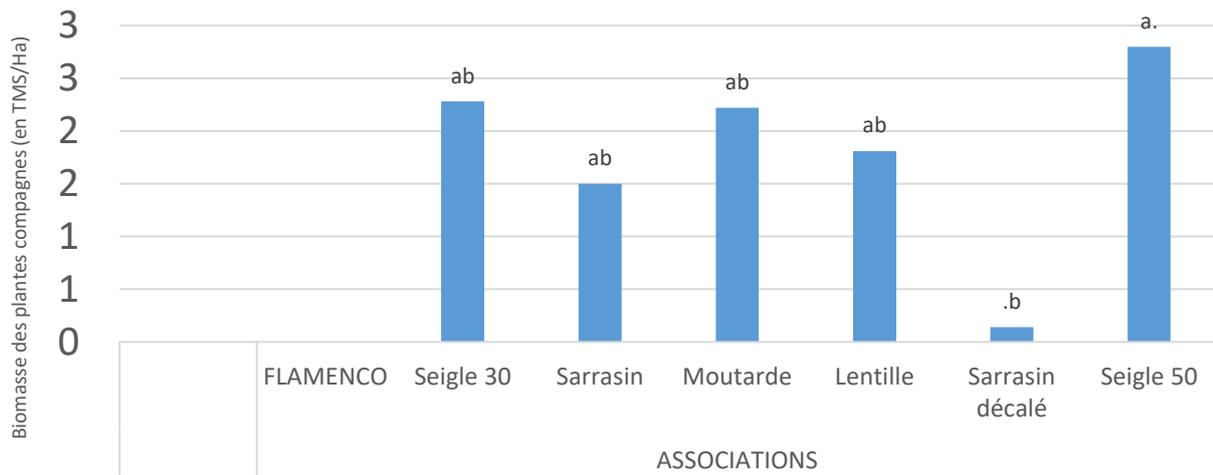


Figure 21 : Biomasse des plantes compagnes du pois chiche le 17/06/24

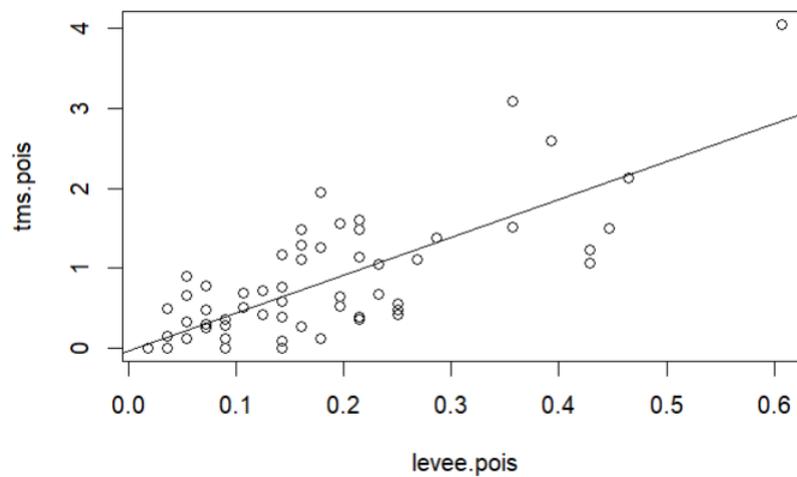


Figure 22 : biomasse du pois chiche en fonction de son taux de levée.

Les biomasses des pois chiches reflètent l'hétérogénéité observée lors de la levée, avec la variété LAMBADA, dont la biomasse est nettement plus élevée (Figure 19). En dehors de cette variété, aucun effet significatif de la modalité sur la biomasse n'est constaté.

La régression linéaire de la biomasse du pois chiche en fonction du taux de levée montre un résultat très significatif, avec une p-value de 4.92×10^{-12} (voir Figure 22). L'influence de la levée sur la biomasse de pois chiche est donc très marquée, comme on a pu l'observer sur les Figures 17 et 19.

Concernant la biomasse des adventices ; les modalités en association sont parmi les moins enherbées, à l'exception de pois chiche-sarrasin semis décalé mais cela peut s'expliquer par une quasi absence du sarrasin suite au passage de herse étrille. En moyenne les modalités en association ont 2.24 T de matière sèche (TMS) d'adventices par hectare (1.95 si on exclut le sarrasin en semis décalé) contre 2.5 pour les modalités de pois chiche seul (Figure 20). Cette tendance peut être confirmée par une Anova sur la biomasse des adventices en fonction de la biomasse de la plante compagne. On obtient une p-value de 0.003, ce qui montre que la biomasse de la plante compagne a un effet assez significatif sur la biomasse des adventices. Cela peut s'expliquer par la concurrence pour la lumière, ou bien par un effet d'allélopathie dans le cas du sarrasin et du seigle.

Aucun effet significatif de la présence de plantes compagnes sur la biomasse du pois chiche n'est observé (toutes les modalités en association sont dans le même groupe d'après le test de Tukey). Cependant, au vu du faible taux de levée, on peut s'interroger sur la place qu'occupe la concurrence dans la croissance du pois chiche : les adventices et plantes compagnes font-elles vraiment concurrence ? Ou bien la levée est-elle tellement faible que le pois chiche ne consomme que peu de ressources et ne subit pas de concurrence, car il y a assez d'eau et de nutriments pour toutes les plantes ?

De plus, au début de la floraison, moment où ont été réalisées les mesures de biomasses, le pois chiche ne présente pas encore de jaunissement caractéristique d'un manque d'azote, et les précipitations sont très abondantes ce qui fait que l'eau n'est pas une ressource limitante. La concurrence est donc certainement très faible, ce qui explique pourquoi on n'observe pas de différence significative entre les biomasses des modalités avec et sans plantes compagnes.

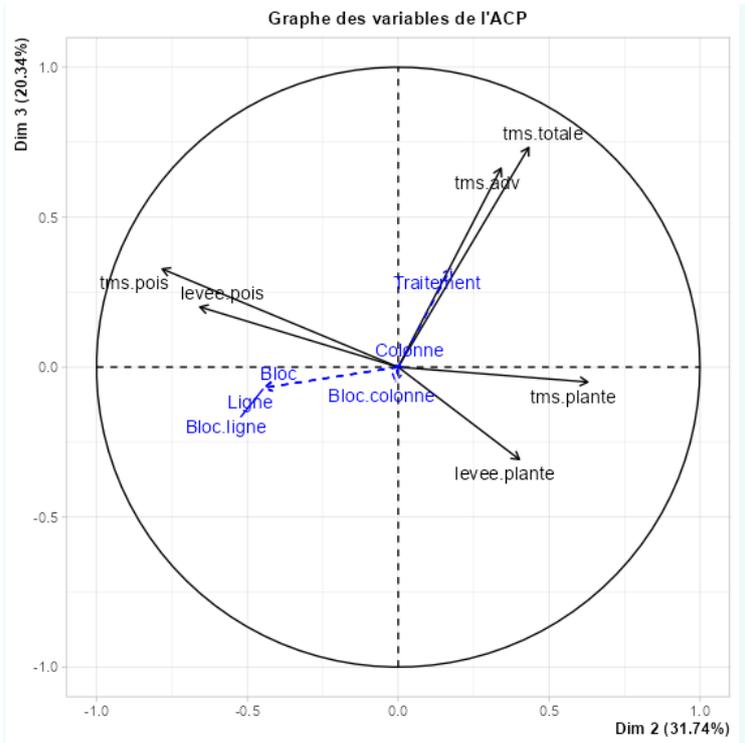
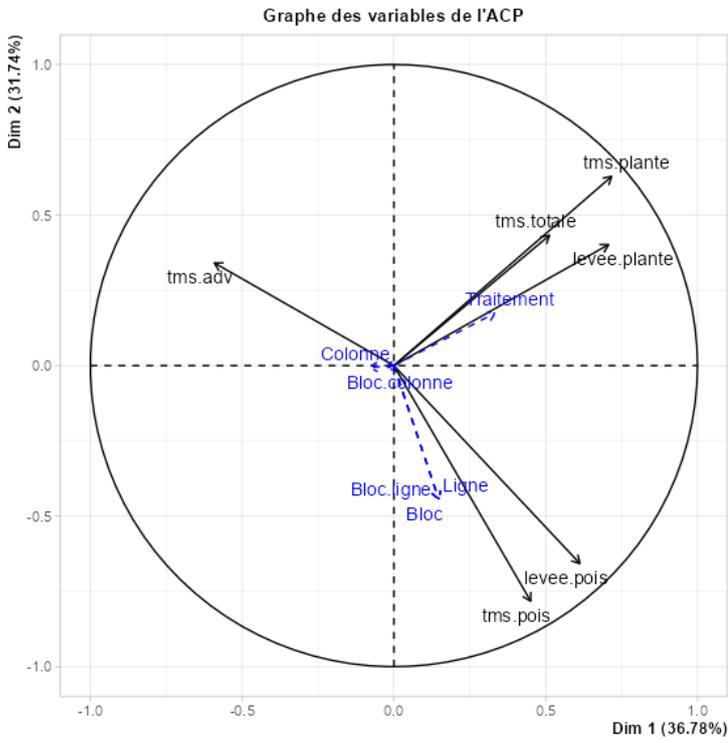


Figure 23 : graphes des variables dans les trois premières dimensions de l'ACP

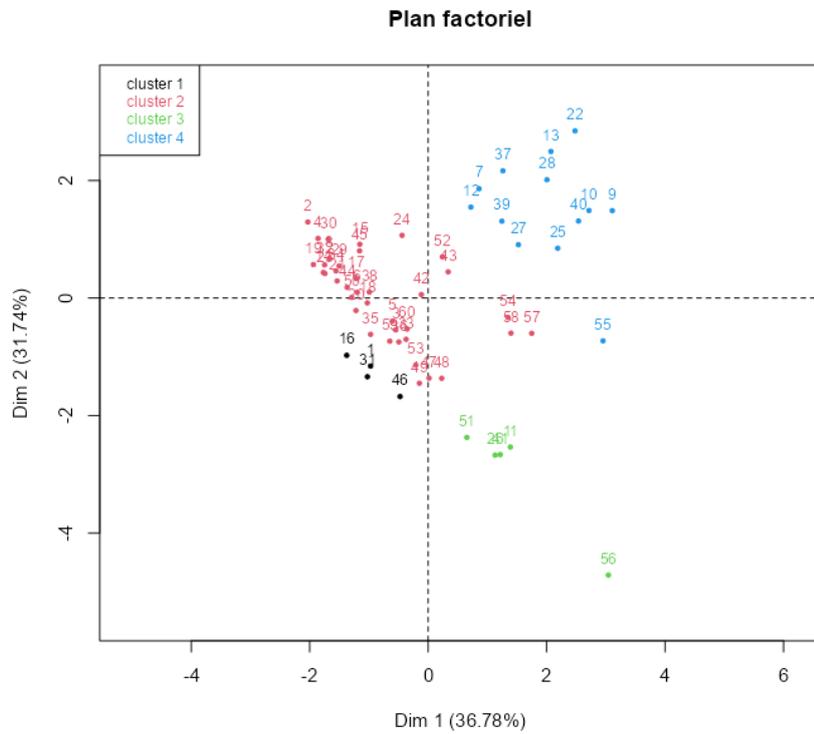
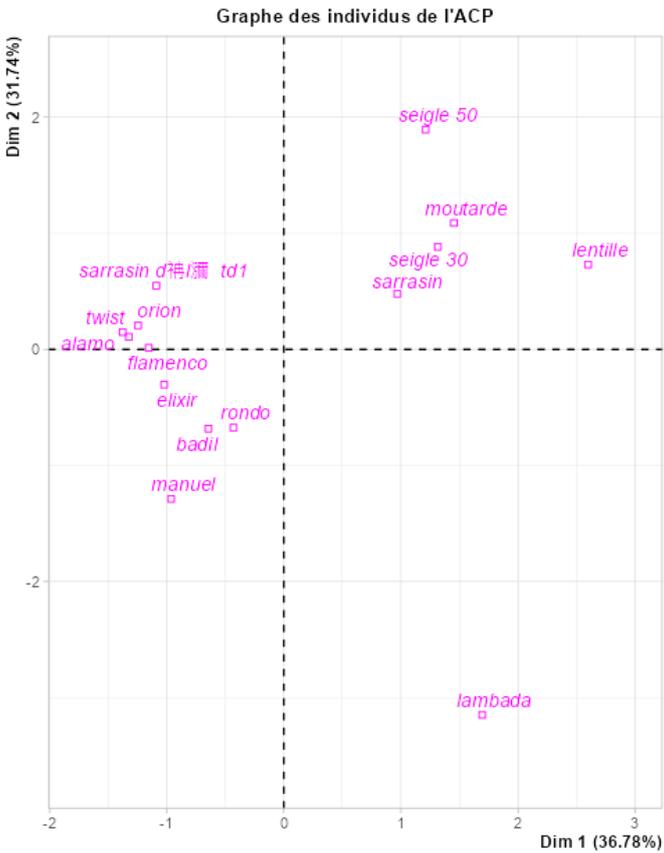


Figure 24 : graphiques des modalités est des individus sur le premier plan de l'ACP

4.2. Analyse statistique

Afin de comparer l'intensité des corrélations entre les différents facteurs (biomasse adventices, taux de levée, biomasse plante compagne, etc) et de mettre en évidence les différents comportements des variétés et des plantes compagnes, on réalise une ACP suivie d'une classification (Figures 23 et 24).

On peut interpréter les dimensions d'inertie supérieure à $1/J$ avec J le nombre de variables actives. $J=6$ donc $1/J=0.17$; on peut utiliser les dimensions expliquant plus de 17% d'inertie. Ici cela concerne les 3 premières dimensions qui représentent respectivement 36.78, 31.74 et 20.34 % de l'inertie soit 88.85 % au total. Ces trois premiers axes permettent donc d'expliquer de manière très fiable le jeu de données. Cependant la représentation graphique de l'ACP ne permet pas de distinguer avec certitude les variables expliquant chaque dimension. On peut toutefois analyser les corrélations entre variables.

Les variables dont le nom commence par « tms. » représentent les biomasses, en TMS/Ha.

On remarque que les variables « levée pois » et « biomasse pois » sont très étroitement corrélées sur les deux premiers plans de l'ACP. On peut en conclure que la biomasse du pois chiche dépend surtout de la qualité de la levée. Sur le premier plan, les variables « levée pois » et « biomasse pois » sont inversement corrélées à « biomasse adventices », ce qui correspond aux résultats observés précédemment : les modalités ayant le mieux levé, en particulier LAMBADA ont une biomasse du pois chiche plus élevée et sont moins enherbées. La projection de l'effet bloc est visible sur le graphe et corrélée positivement à « biomasse pois » et « levée pois », il y a donc un effet bloc sur le pois chiche (plus le numéro de bloc est élevé, plus la biomasse/la levée du pois chiche est grande).

Afin de caractériser les différents groupes de modalités (individus), on réalise une classification. La classification permet de séparer les modalités en plusieurs groupes dont les caractéristiques sont similaires, et d'explicitier les caractéristiques propres à chaque groupe.

La classification distingue 4 clusters d'individus. Le cluster 1 est caractérisé par une très faible biomasse d'adventices, une mauvaise levée et l'absence de plantes compagnes. Le cluster 2 est caractérisé par une mauvaise levée, une forte biomasse d'adventices et l'absence de plante compagne. Il s'agit des variétés de pois chiches seules ayant un faible taux de levée (<25%). Le cluster 3 correspond à la variété Lambada : très bonne levée, faible biomasse d'adventices, pas de sarrasin et enfin le cluster 4 représente les modalités associées au sarrasin. Sur le graphique des individus, on remarque que la modalité « sarrasin semis décalé » se comporte comme une modalité en pois chiche pur. Autrement dit il n'y a eu aucun intérêt à semer du sarrasin une semaine après le pois chiche, car le passage de herse étrille a détruit les jeunes pousses de sarrasin.

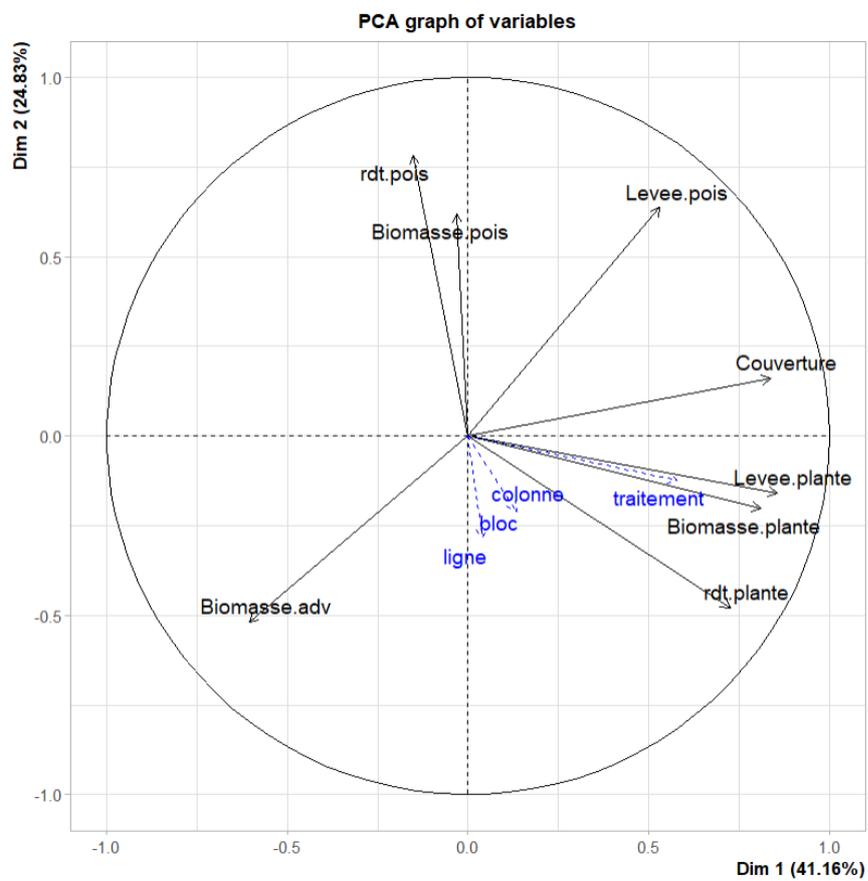


Figure 25 : graphe des variables de l'ACP sur les résultats de 2023

4.3. Discussion et comparaison avec les résultats de l'année précédente.

Les CVR élevés montrent que les expériences ont besoin d'être répétées sur plusieurs années, ou plusieurs parcelles. Les signes du manque d'azote qui peuvent être révélateurs de la concurrence sont apparus assez tardivement, après que les mesures de biomasses aient eu lieu. Ces mesures étaient donc trop précoces et n'ont pas permis de prendre en compte certains facteurs comme la concurrence pour l'azote et l'eau mais aussi la sensibilité au sclérotinia, qui a touché la parcelle quelques semaines plus tard. Il pourrait donc être intéressant d'effectuer une deuxième série de prélèvements vers la fin de la floraison les années suivantes.

Cette année la récolte de pois chiches sera plus tardive, les résultats de rendement ne sont donc pas encore disponibles. L'analyse de l'essai pourrait aussi être complétée par des données de nombre de gousses, impact du sclérotinia ou encore mesure de hauteur des plants.

Au vu de l'influence qu'ont eu les conditions climatiques sur le taux de levée cette année, il est important de comparer ces résultats avec ceux obtenus l'année précédente, car une variété ou une plante ayant bien levé dans des conditions froides et humides ne lèvera pas forcément aussi bien si le printemps est sec, et inversement (exemple de la variété TWIST qui a normalement un rendement supérieur à la moyenne).

Sur les résultats 2023, l'ACP dégage deux dimensions principales, expliquant respectivement 41% et 25% de l'inertie totale. Le graphe de l'ACP est de meilleure qualité et permet de caractériser efficacement les dimensions (Figure 25). La première dimension est représentée par les variables « taux de couverture », « biomasse plante compagne » et « levée de plante compagne » tandis que la deuxième dimension est représentée par les variables « rendement pois » et « biomasse pois ». On peut donc supposer que la première dimension correspond à la présence de plantes compagnes et que la deuxième dimension correspond à la réussite de la culture.

La variable « biomasse adventices » est négativement corrélée au rendement du pois chiche, au taux de couverture et à la présence de plantes compagnes. Cela montre donc que les plantes compagnes ont un effet bénéfique sur le contrôle des adventices. On observe également que le taux de levée du pois semble être positivement corrélé à la dimension 2, ce qui semble logique, mais aussi à la dimension 1, ce qui est contre intuitif car on pourrait penser au premier abord que la présence de plante compagne impacterait négativement la levée du pois chiche en lui faisant concurrence.

4.4. Conclusion partielle

Pour conclure, l'analyse des données 2023 et 2024 montre trois choses essentielles : Les biomasses des adventices et du pois chiche sont plus fortement corrélées à la levée du pois chiche qu'aux autres variables ; le choix de la variété et les conditions climatiques peuvent impacter fortement le taux de levée, et la présence de plantes compagnes influence positivement la levée du pois chiche.

L'analyse ne permet pas de faire de distinction entre les plantes compagnes, même si les modalités associées à la lentille semblent avoir un meilleur taux de levée. On observe peu de différence entre les modalités seigle 30gr/m² et seigle 50gr/m², ce qui laisse penser que le seigle à plus forte densité a moins bien thallé en plus d'avoir un taux de levée plus faible. Il est donc plus intéressant de rester sur une densité plus faible de seigle si le résultat est le même.

ESSAI SOJA (VARIETES - DENSITES - ASSOCIATIONS)

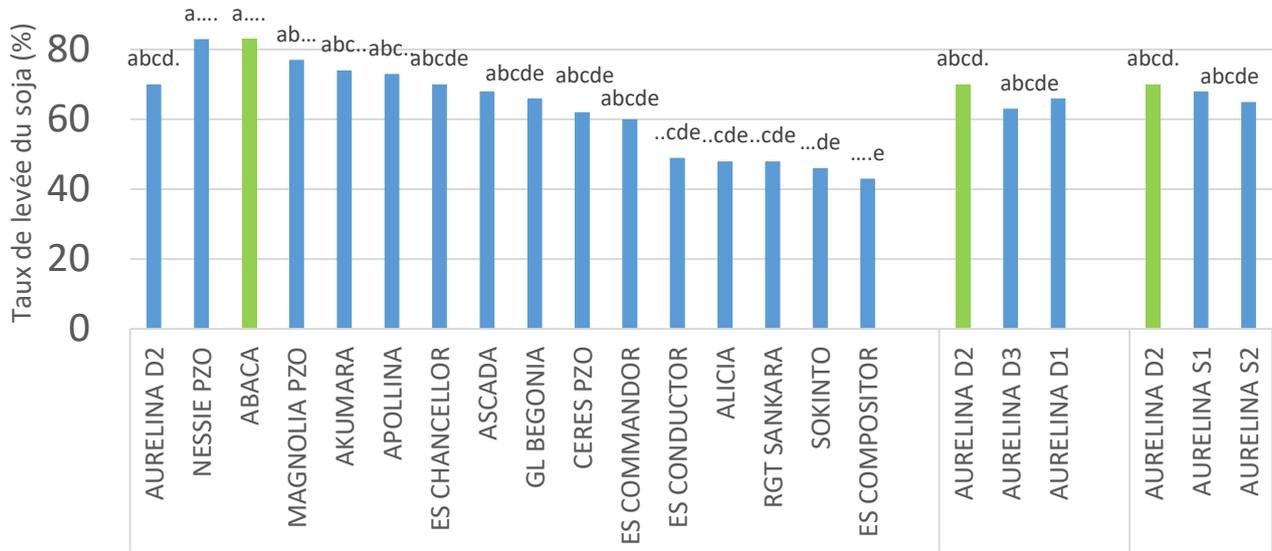


Figure 26 : Taux de levée du soja, le 25/06

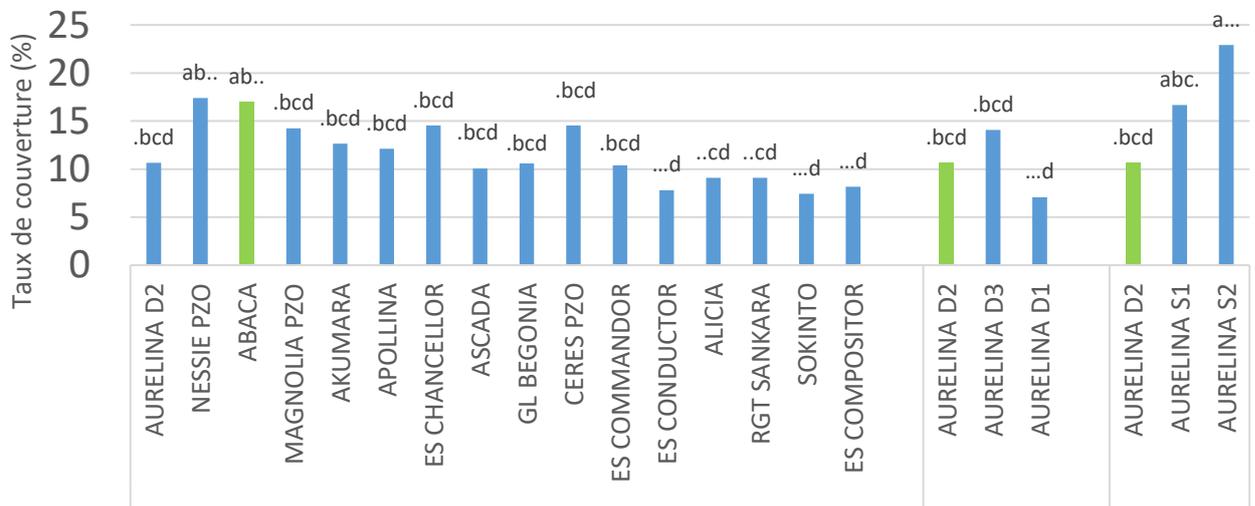


Figure 27: Taux de couverture du sol au stade 2 feuilles, le 27/06

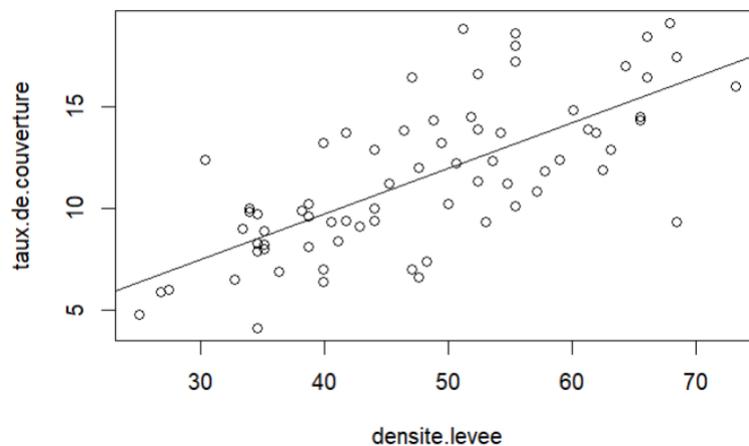


Figure 28: régression linéaire du taux de couverture en fonction de la densité de plants

On peut de même constater que le semis de sarrasin en décalé est un échec : l'idée était de limiter la concurrence du sarrasin sur le pois chiche mais un passage de herse-étrille en post levée du pois chiche est essentiel et intervient donc lorsque le sarrasin est en train de lever, ce qui le détruit. Pour la suite des essais on peut donc envisager l'arrêt de cette modalité.

5. Analyse des résultats de l'essai soja

5.1. Présentation des résultats

Un comptage réalisé le 25 juin montre qu'en moyenne 77% des graines de soja ont donné lieu à un plant. Les taux de levée du sarrasin sont 55% pour la densité 1 (20gr/m²) et 57% pour la densité 2 (40gr/m²).

C'est un bon résultat compte tenu des passages de herse étrille et des attaques d'oiseaux qui ont eu lieu en cours de levée. Les taux de levée, de même que les taux de couverture sont assez hétérogènes d'une variété à l'autre, pouvant varier du simple au double.

On constate que NESSIE et ABACA, qui sont les deux variétés avec le meilleur taux de levée ont aussi le taux de couverture le plus élevé, et que la modalité semée à plus faible densité, AURELINA D1 ainsi que les variétés ayant le moins bien levé comme SOKINTO ou COMPOSITOR ont les taux de couvertures les plus faibles. (Figures 26 et 27).

Cela montre que le taux de couverture est plus influencé par le nombre de plants levés que par la taille des feuilles ou le port des plants (Cette déduction pourra être confirmée par une ACP).

La Figure 28 présente la régression linéaire du taux de couverture en fonction de la densité de levée. Ici on utilise la densité de levée plutôt que le taux de levée car les modalités AURELINA D1 et AURELINA D3 sont semées à des densités différentes. On exclut aussi les modalités semées en sarrasin, car la présence de sarrasin influence fortement le taux de couverture (voir Figure 27), autrement dit les modalités en sarrasin ont un taux de couverture plus élevé, mais cela n'est pas lié à la levée du soja.

Ces résultats sont confirmés par une anova qui montre une influence très nette et presque linéaire, de la densité levée sur le taux de couverture (p-value = 2.97 e-12).

On peut supposer que le taux de couverture a un effet sur la compétition pour la lumière et donc sur la biomasse des adventices. Les modalités en association avec du sarrasin auraient alors une biomasse d'adventices plus faible. Cette hypothèse pourra être vérifiée par l'analyse de la biomasse d'adventices en fonction du taux de couverture.

ESSAI SOJA (VARIETES - DENSITES - ASSOCIATIONS)

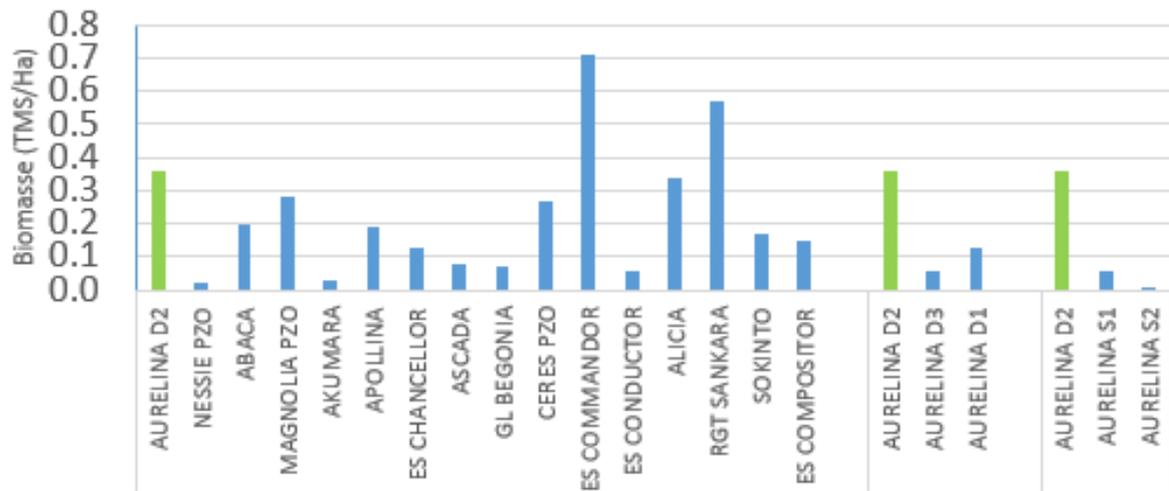


Figure 29 : Biomasse des adventices, le 07/08

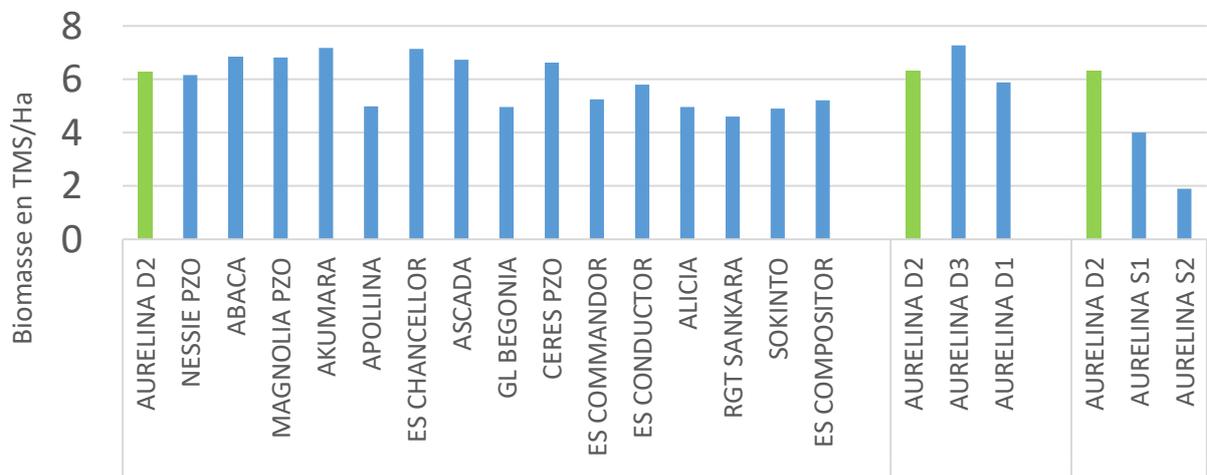


Figure 30 : Biomasse du soja le 07/08 (pleine floraison)

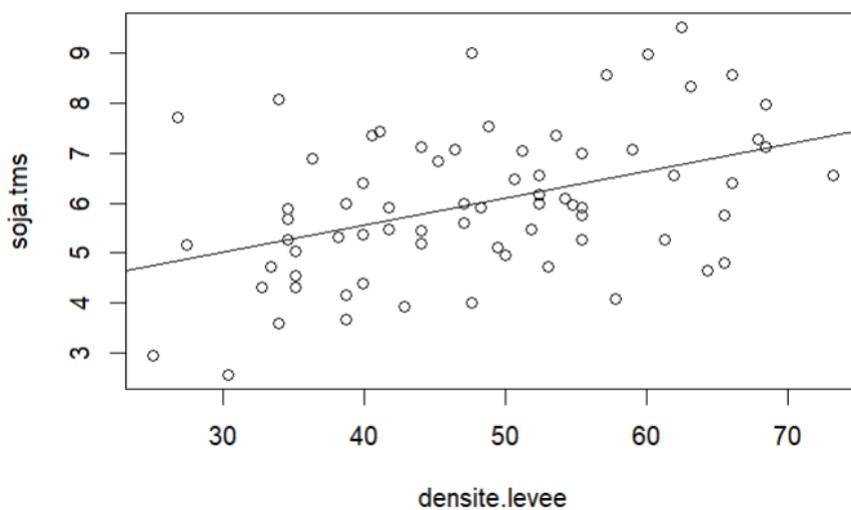


Figure 31 : Régression linéaire de la biomasse de soja en fonction de la densité levée

On considère qu'une parcelle est sale au-delà de 1 TMS/Ha d'adventices, or cette année l'enherbement est très faible, entre 0.06 et 0.7 TMS/Ha. C'est ce qui explique que d'après le test de Tukey il n'y a pas de différence significative de la biomasse des adventices selon les modalités (toutes sont dans le même groupe statistique). Les données de biomasse des adventices sont difficilement exploitables statistiquement, car la densité d'adventices est très faible et variable, même au sein d'une micro-parcelle (Figure 29).

Cela peut s'expliquer parce que les seuls adventices présents sont quelques individus de grande taille (ex : chardon ou chénopode blanc) qui, même si ils sont peu nombreux, peuvent être présents sur le quadra de prélèvement et engendrer une biomasse d'adventices anormalement élevée pour cette modalité. C'est notamment ce qui a été observé sur une micro parcelle de ES COMMANDOR et une autre de SANKARA, ce qui explique la forte biomasse constatée pour ces modalités. Le logiciel ExpéR indique donc des valeurs de biomasse adventices aberrantes pour les parcelles de SANKARA et ES COMMANDOR concernées. Les hypothèses de normalité des résidus ne sont d'ailleurs pas vérifiées (p -value < 1%).

On constate une plus faible variabilité dans les biomasses de soja que dans les taux de levée (Figure 30) ou de couverture, à l'exception des modalités en association où la concurrence exercée par le sarrasin est très nette : la biomasse de la modalité AURELINA S2 est environ trois fois inférieure à la moyenne des modalités en soja pur.

Une anova montre une relation très nette entre la biomasse de soja et la densité de levée (p -value = 0.00015), il y a donc un effet positif marqué de la densité de plants levés sur la biomasse de soja. Sur la Figure 31 sont représentés la droite de régression linéaire et les valeurs pour toutes les modalités sauf celles en association. En effet, la concurrence avec le sarrasin entraîne une biomasse plus faible du soja, ces résultats n'étaient donc pas utilisables pour représenter l'effet de la densité sur la biomasse du soja.

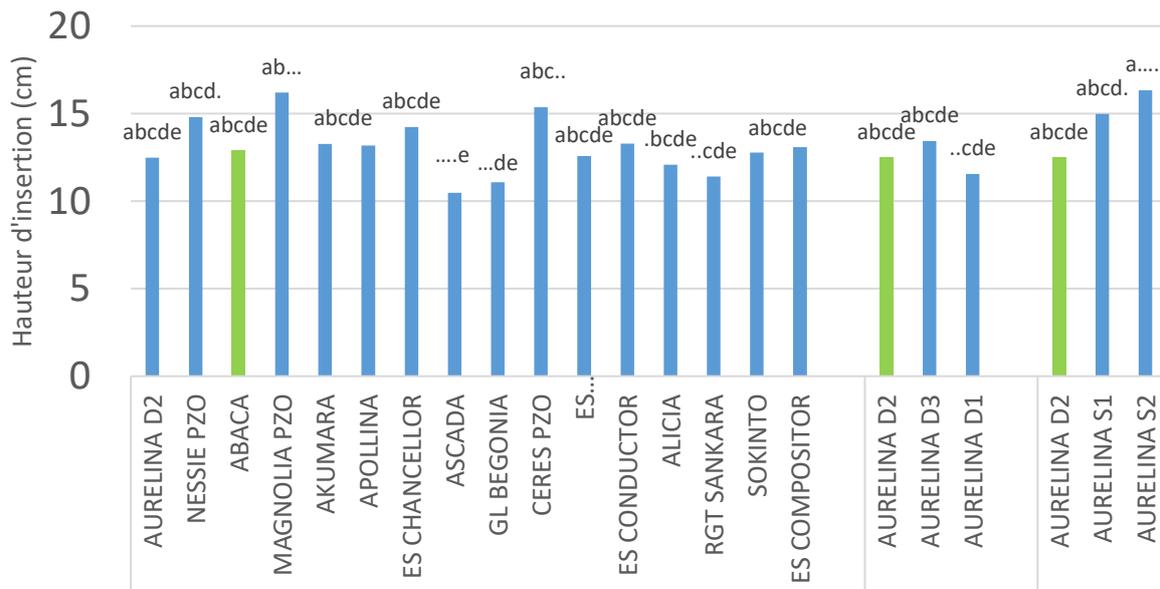


Figure 32 : Hauteur d'insertion de la première gousse, le 14/08

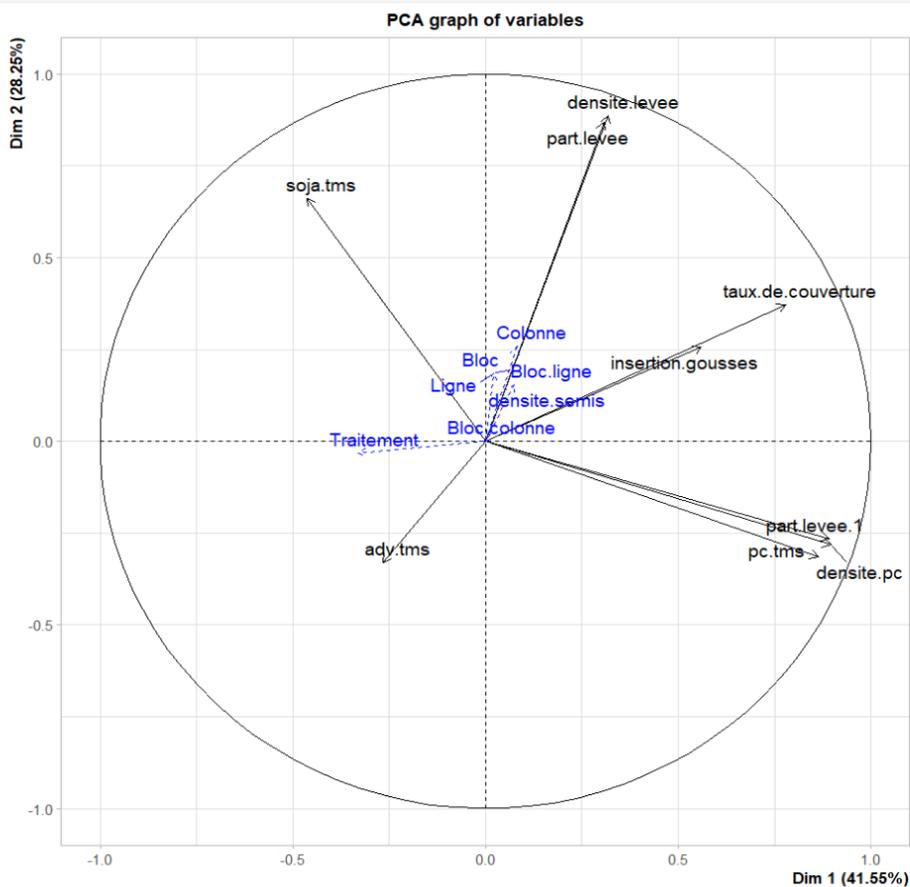


Figure 33 : graphique des variables de l'ACP sur les données de l'essai soja 2024

Une mesure de la hauteur d'insertion de la première gousse à mi floraison a été réalisée sur 10 plants par micro parcelle, sur l'ensemble des blocs et des modalités (Figure 32). La hauteur d'insertion des gousses est un paramètre important dans l'évaluation d'une culture de soja ; en effet sur les terrains caillouteux des gousses trop basses entraînent un risque de non récolte du premier étage car la moissonneuse ne peut pas couper la tige assez bas sans être endommagée par les cailloux. Il existe en théorie un effet variétal : les variétés sont réparties en trois groupes de hauteur du premier étage de gousses.

Cependant ici aucun lien n'a pu être fait entre le groupe de hauteur d'insertion des gousses et les hauteurs mesurées au champ. En effet, seules deux variétés implantées cette année n'appartiennent pas à la classe « hauteur moyenne » ; il s'agit de ES CONDUCTOR qui appartient à la classe « haute » et de AKUMARA qui appartient à la classe « basse », et les hauteurs mesurées étaient similaires entre ces deux variétés.

L'analyse avec ExpéR montre une influence très significative de la modalité sur la hauteur d'insertion des gousses (p.value = 0.000). En particulier la modalité en association avec le sarrasin à plus forte densité a une hauteur d'insertion des gousses plus élevée, on remarque que la deuxième modalité en association ainsi que celle semée à forte densité ont elles aussi une hauteur de la première gousse parmi les plus élevées, tandis que la modalité semée à plus faible densité est parmi les plus basses.

On peut en conclure que la concurrence pour la lumière, entre plants de soja ou entre espèces, joue un rôle important dans l'établissement de la hauteur d'insertion de la première gousse. Les plants soumis à une plus forte concurrence pour la lumière ont tendance à être plus hauts de manière générale et donc à avoir des gousses plus hautes. Pour confirmer cette hypothèse il serait intéressant de réaliser des mesures de hauteur totale des plants puis d'analyser le lien avec la hauteur d'insertion de la première gousse.

5.2. Analyse statistique

Ici on peut interpréter les dimensions expliquant plus de 14% de l'inertie totale, soit les 2 premières dimensions, qui représentent environ 70% de l'inertie totale et permettent donc de bien représenter la variabilité des données.

La première dimension est caractérisée par les variables liées à la présence de plantes compagnes et les variables « taux de couverture » et « insertion gousses ». La variable « biomasse du soja » joue aussi un rôle dans la construction de cette dimension. Il semblerait donc que la première dimension reflète l'intensité de la concurrence entre les plantes compagnes et le soja.

La deuxième dimension est caractérisée par les variables « densité levée », « biomasse soja » et « densité adventices ». Elle oppose les modalités ayant des fortes valeurs de densité et biomasse soja et de faibles valeurs de biomasse adventices aux modalités ayant le profil inverse. On peut donc supposer qu'elle reflète les différences de qualité du peuplement de soja pur.

Sur le graphe de l'ACP (Figure 33), on constate que la variable « hauteur d'insertion 1ère gousse » est bien plus corrélée au taux de couverture qu'aux autres variables. Il semblerait que le taux de couverture soit le paramètre le plus important pour déterminer la hauteur d'insertion de la première gousse.

La variable « biomasse adventices » n'est pas très bien projetée sur le graphe, mais elle est plus corrélée aux taux de couverture et à la densité levée qu'à la biomasse du soja.

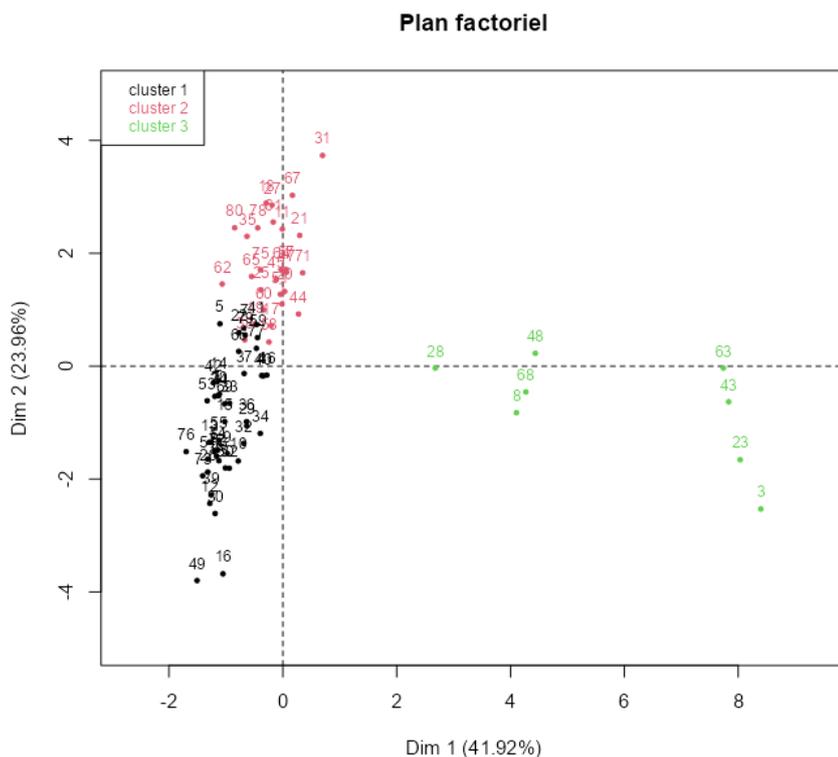


Figure 34 : graphique des individus sur le plan factoriel de l'ACP

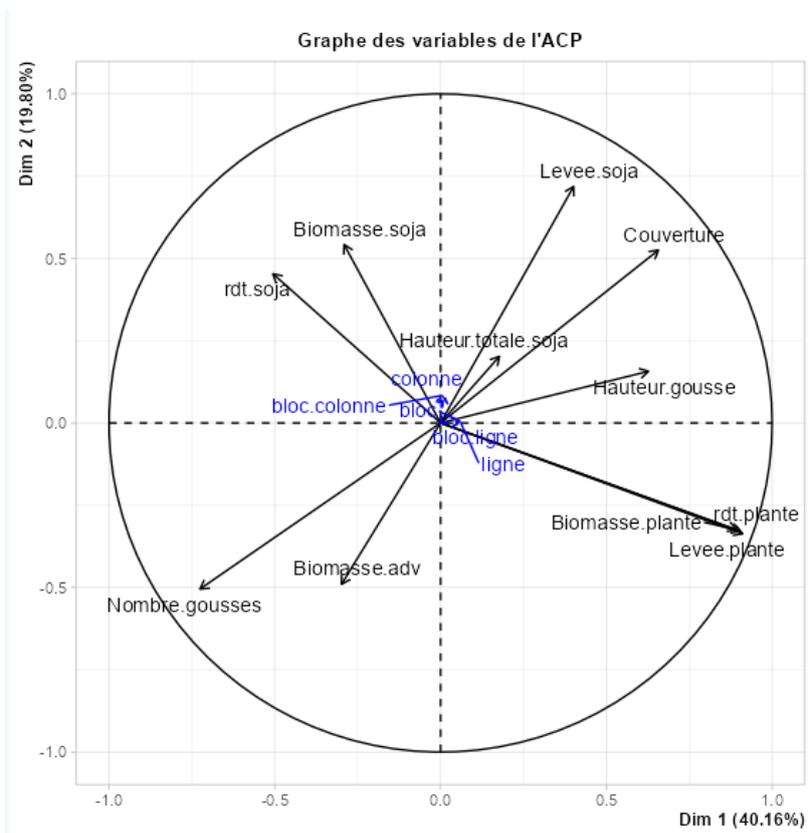


Figure 35 : graphique des variables de l'ACP sur les données de 2023

On peut en déduire que la biomasse des adventices est avant tout influencée par la concurrence en début de cycle, mais qu'elle n'influence pas la biomasse du soja par la suite.

L'ACP montre une corrélation légèrement négative entre la biomasse des adventices et la biomasse des plantes compagnes. Il y a donc bien un effet de la plante compagne sur la biomasse des adventices, ce qui correspond au but recherché, mais la corrélation reste faible (les valeurs de biomasse des adventices étant peu significatives, la variable « biomasse adventices » est mal projetée).

Enfin, on observe une corrélation négative assez marquée entre la biomasse du sarrasin et celle du soja. Cela reflète donc la forte concurrence exercée par le sarrasin.

Afin de caractériser les différents groupes de modalités, on réalise une classification ascendante hiérarchique. La classification sépare les modalités en trois clusters (voir Figure 34). Le premier cluster correspond aux variétés de soja ayant de faibles taux de levée et de couverture ainsi qu'une biomasse peu élevée. Les variétés caractéristiques de ce groupe sont comme ES COMPOSITOR, ES CONDUCTOR et RGT SANKARA. Le second cluster représente les variétés ayant une bonne levée ainsi qu'une biomasse et un taux de couverture élevés, il est caractérisé par des variétés comme NESSIE PZO, MAGNOLIA PZO et ABACA. Enfin, le dernier cluster correspond aux modalités associées au sarrasin.

On peut remarquer sur la figure qu'il y a une nette distinction entre la modalité semée à 20gr/m² de sarrasin et celle semée à 40gr/m². Autrement dit, la densité de semis du sarrasin a une influence importante mais l'ACP n'a pas bien permis de la mettre en évidence.

5.3. Discussion et comparaison avec les résultats de l'année précédente

Les valeurs de CVR élevées constatées avec le logiciel ExpÉR soulignent l'importance de répéter les essais. La récolte ayant lieu en octobre, cette analyse devra être complétée par les informations de rendement, précocité, nombre de gousses ou encore taux de protéines. De plus, vers la mi-août un début de sclérotinia a été constaté sur le soja. Des notations d'intensité du sclérotinia devront donc être effectuées et permettront de distinguer éventuellement les variétés les plus résistantes.

En 2023 ; les modalités mises en place étaient légèrement différentes : deux modalités en association avec de la cameline à des densités différentes ont été testées en plus du sarrasin, et certaines variétés n'étaient pas les mêmes qu'en 2024.

L'ACP sur les données de 2023 (Figure 35) montre encore une fois une corrélation entre la variable « hauteur des gousses » et les variables associées aux plantes compagnes ainsi que la variable « taux de couverture ». Le rendement du soja est corrélé très négativement à la biomasse et au rendement des plantes compagnes, ce qui révèle un effet de concurrence marqué.

On remarque que les variables « nombre de gousses » et « levée soja » sont corrélées négativement : il semblerait que la mauvaise levée de certaines variétés soit compensée par un plus grand nombre de gousses, et inversement, sans influence nette sur le rendement.

5.4. Conclusion partielle

Trois informations essentielles ressortent des analyses des essais 2023 et 2024 : les plantes compagnes exercent une très forte pression de concurrence sur le soja, ce qui entraîne une biomasse et un rendement plus faible ; et une bonne levée du soja est essentielle pour maintenir une faible biomasse d'adventices, en revanche une mauvaise levée peut être en partie compensée par un plus grand nombre de gousses. Enfin, la présence de plantes compagnes entraîne une hauteur d'insertion de la première gousse plus élevée.

Le sarrasin peut avoir un intérêt si la parcelle est caillouteuse et rend la récolte des gousses basses compliquée. Une association avec du sarrasin à densité modérée permettra d'avoir une plus grande hauteur d'insertion de la première gousse et de faciliter la récolte. Cependant il s'agit de trouver un équilibre entre récolte plus efficace et perte de rendement potentiel à cause du sarrasin.

De plus, en 2024 les modalités associées au sarrasin, et en particulier celle à plus forte densité, ont connu un floraison nettement plus tardive (environ une semaine). On peut supposer qu'il en sera de même pour la récolte. Il s'agit donc d'un paramètre à prendre en compte avant d'implanter une association soja-sarrasin ; si le semis est tardif, l'utilisation du sarrasin risque de repousser la date de récolte et ainsi faire qu'elle se déroule dans de mauvaises conditions.

Au vu de l'influence négative de la compétition avec le sarrasin sur la biomasse de soja, on peut envisager d'implanter du sarrasin à des densités plus faibles dans les prochains essais : 10 et 15 graines/m² contre 20 et 40graines/m² cette année.

V. CONCLUSION

Les conditions climatiques sont encore un problème pour la culture de soja et surtout de pois chiche en Bretagne, entraînant des retards de semis, une mauvaise levée ou une récolte en conditions difficiles.

Cependant l'analyse des prévisions climatiques montre qu'il sera possible de cultiver du pois chiche à l'horizon 2050, à condition d'avoir un semis tardif (autour du 15 avril). Les zones les plus appropriées sont l'est du Morbihan, le sud de l'Ille et Vilaine ainsi que le Nord des Côtes d'Armor, tandis que le Finistère conserve un climat trop frais et pluvieux pour garantir la viabilité de cette culture. Le soja pourrait quant à lui devenir largement plus répandu : en choisissant la date de semis adéquate on peut envisager d'en implanter dans toute la région, mis à part le nord du Finistère. De plus, la recherche variétale dynamique, en particulier sur le pois chiche avec l'arrivée de variétés à floraison déterminée et la mise en place d'une filière de collecte et transformation des légumineuses devraient encourager le développement du pois chiche et du soja en Bretagne.

Les essais analytiques ont montré que la réussite de la culture était avant tout déterminée par la qualité de la levée. Il s'agit donc du paramètre le plus important pour un agriculteur qui voudrait implanter du pois chiche ou du soja et il faut alors veiller à réaliser le semis dans de bonnes conditions, quitte à le retarder. Cependant, on manque encore de références sur les facteurs influençant la levée (T° idéale du sol, attaques d'oiseaux, climat) c'est pourquoi il est important de continuer à mettre en place des expérimentations comme le projet Sojasur qui vise à étudier la levée du soja et à proposer des solutions pour en assurer la qualité.

L'analyse des résultats 2023 et 2024 ne permet pas de distinguer une plante compagne qui permettrait d'améliorer la rentabilité du pois chiche, ou de montrer que la baisse de rendement est compensée par la gestion des adventices et une éventuelle double récolte dans le cadre d'une association soja-sarrasin. Le choix de la variété semble donc avoir un effet plus important sur le rendement que l'utilisation d'une plante compagne.

Afin de préciser ces premiers résultats et d'affiner les recommandations, il serait intéressant de poursuivre les essais en intégrant de nouveaux paramètres, comme l'interaction variété*plante compagne, la comparaison de deux dates de semis ou bien la dimension économique : en plus de leur éventuel effet sur le rendement, les plantes compagnes peuvent conduire à des marges brutes variées en fonction des divers produits (ventes des graines si tri possible) et charges (achat de la semence) qu'elles entraînent.

VI. BIBLIOGRAPHIE

Agridea (2007) 4.7.11-32_Soja. 6

Amiot L, Bonnardot V, Dubreuil V (2022) Le changement climatique en Bretagne et Pays de la Loire. 10

Baguet C, Fichet E, Champion J, Thibaud O, Bourrel S, Mialon A, Farré E, Cipolla L (2023) Fiche technico-économique pois chiche conventionnel. 4

Bisson M, Robert L (2010) Compaction, racines et rendement. 5

CA Lot et Garonne Tableaux coefficient culturaux Kc.

Chambert C (2019) Le soja dans la rotation culturale. Terres Inovia, <https://www.terresinovia.fr/web/guest/-/le-soja-dans-la-rotation-culturale?inheritRedirect=true&redirect=%2Fweb%2Fguest%2Frecherche%3Fq%3Dsoja>

Chambert C, Le Gall cecile, Lecomte V (2019) Optimiser le peuplement du soja pour maximiser son rendement et sa rentabilité. Terres Inovia, <https://www.terresinovia.fr/-/optimiser-le-peuplement-du-soja-pour-maximiser-son-rendement-et-sa-rentabilite>

Charron M, Leon F PEI santé végétal Produire du soja en agriculture biologique en pays de la loire.

Cheriere T, Lorin M, Corre-Hellou G (2020) Species choice and spatial arrangement in soybean-based intercropping: Levers that drive yield and weed control. *Field Crops Res* **256**: 107923

Fintz C (2022) 9 nouvelles variétés de Soja - GEVES. <https://www.geves.fr/>

Guyomard S (2022) Lin oléagineux, lentilles, pois chiche : des agriculteurs témoignent. Terre-Net, <https://www.terre-net.fr/productions-vegetales/article/222950/lin-oleagineux-lentilles-pois-chiche-des-agriculteurs-temoignent>

Hock SM, Knezevic SZ, Martin AR, Lindquist JL (2006) Soybean row spacing and weed emergence time influence weed competitiveness and competitive indices. *Weed Sci* **54**: 38–46

Johan G, Maréchal G (2015) Fiche technique N°15 SEIGLE. 2

Knezevic SZ, Evans SP, Mainz M (2003) Yield Penalty Due to Delayed Weed Control in Corn and Soybean. *Crop Manag* **2**: 1–7

Lambert Q (2021) Guide de culture pois chiche terres Terres Innovia.

Lambert Q (2019a) Les caractéristiques et les atouts du pois chiche. Terres Inovia, <https://www.terresinovia.fr/-/les-caracteristiques-et-les-atouts-du-pois-chiche>

Lambert Q (2019b) Mesorhizobium et pois chiche. Terres Inovia, <https://www.terresinovia.fr/-/mesorhizobium-et-pois-chiche>

Lambert Q (2024) Physiologie du pois chiche.

Marguerie M (2017a) Culture du pois chiche en bio. 3

Martin-Monjaret, Quartier, Sausse (2019) Dégâts d'oiseaux dans les cultures d'oléoprotéagineux. 2

M.B. (2022) Soja en restauration collective : les recommandations d'Agores. Restaur. Collect.

- Messant A, Lehmann S, Moulin J, Lagacherie P, Jalabert S, Noraz A, Lemercier B, Chafchafi A** (2021) Diffusion des Référentiels Régionaux Pédologiques sous la forme d'une carte des sols dominants (France métropolitaine hors- Corse) accessible sur le Géoportail. *Etude Gest. Sols*
- Meteoblue** (2024) Changement climatique Bignan. meteoblue, https://www.meteoblue.com/fr/climate-change/bignan_france_3032685
- Mohammadi G, Javanshir A, Khoorie FR, Mohammadi SA, Zehtab Salmasi S** (2005) Critical period of weed interference in chickpea. *Weed Res* **45**: 57–63
- Moss RH, Edmonds JA, Hibbard KA, Manning MR, Rose SK, Van Vuuren DP, Carter TR, Emori S, Kainuma M, Kram T, et al** (2010) The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature* **463**: 747–756
- Nieuwenhuis R, Nieuwelink J** (2005) La culture du soja et d'autres légumineuses.
- Perrin A** (2020) 2.5- Fiche technique Sarrasin - 1. 5
- Raison M** Fiche technique | Lin et Chanvre bio. Lin Chanvre Bio
- Richard D, Leimbrock-Rosch L, Keßler S, Stoll E, Zimmer S** (2023) Soybean yield response to different mechanical weed control methods in organic agriculture in Luxembourg. *Eur J Agron* **147**: 126842
- Rio J** (2024) Opportunités et obstacles pour le développement de la filière légumineuses à graines dans le grand Ouest.
- Riquet G, Le Bihan Z** (2019) Le cycle de la culture de la lentille. Terres Inovia, <https://www.terresinovia.fr/-/le-cycle-de-la-culture-de-la-lentille>
- Saguez J** (2017) Impact des changements climatiques et mesures d'adaptations pour les ravageurs présents et potentiels en grandes cultures au Québec.
- Stomph T, Dordas C, Baranger A, de Rijk J, Dong B, Evers J, Gu C, Li L, Simon J, Jensen ES, et al** (2020) Chapter One - Designing intercropping for high yield, yield stability and efficient use of resources: Are there principles? *In* DL Sparks, ed, *Adv. Agron.* Academic Press, pp 1–50
- Terres Inovia** (2023) Soja, conseil variétal territorialisé pour les semis 2023. 12
- Terres Univia** (2023) Chiffres clés 2022.
- Terres Univia** (2021) Legvalue-FR-pois-chiche. Terres Univia
- Terres Univia** (2019) Pois chiche - Les espèces cultivées - Cultures & utilisation - Terres Univia. <https://www.terresunivia.fr/cultures-utilisation/les-especes-cultivees/pois-chiche>
- Unilet** (2021) LES LÉGUMES EN CONSERVE ET SURGELÉS BILAN ÉCONOMIQUE. 52
- Van Der Weide RY, Bleeker PO, Achten VTJM, Lotz L a P, Fogelberg F, Melander B** (2008) Innovation in mechanical weed control in crop rows. *Weed Res* **48**: 215–224
- Wang S-Y, Jiang Y-H, Chen X, Herrera-Balandrano DD, Simoes MF, Shi X-C, Laborda P** (2024) Biocontrol strategies for the management of *Sclerotinia sclerotiorum* in *Brassica* species: A review. *Physiol Mol Plant Pathol* **130**: 102239

Weber JF, Kunz C, Roland G (2016) Chemical and mechanical weed control in soybean (*Glycine max*).

(2021a) Restauration scolaire : tout savoir sur le menu végétarien hebdomadaire. Ministère Agric. Souveraineté Aliment., <https://agriculture.gouv.fr/restauration-scolaire-tout-savoir-sur-le-menu-vegetarien-hebdomadaire>

(2021b) La structuration d'une filière légumineuses se concrétise dans le Grand Ouest - LEGGO. LEGGO, <https://www.leggo-asso.fr/legumineuses-grand-ouest/>

(2021c) Bâtir notre souveraineté alimentaire en protéines végétales. Ministère Agric. Souveraineté Aliment., <https://agriculture.gouv.fr/batir-notre-souverainete-alimentaire-en-proteines-vegetales-0>

VII. ANNEXES

Soja	
stades	Kc
Première feuille trifoliée	0,2
2 -4 nœuds	0,3
4 -6 nœuds	0,5
6 - 8 nœuds	0,6
Première fleur apparaissant sur la plante	0,8
Floraison	1
Premières gousses 2 - 3 cm	1,05
Dernières gousses - 3 cm	1
Premières graines remplissant cavité/gousse	0,9
Gousses jaunissantes	0,8
Première gousse marron	0,6
Jaunissement feuillage	0,5

Annexe 1 : Tableau récapitulatif des Kc au cours des phases de croissance du soja

Modalité	Paramètres testés	Densité semis pois chiche (gr/m2)	variété	Plante compagne/variété	Densité semis
Désherbage manuel	Influence adventices	80	FLAMENCO		
Seigle 2	Densité/plante compagne	80	FLAMENCO	Seigle	50
Seigle 1	Densité/plante compagne	80	FLAMENCO	Seigle	30
Lentille	Plante compagne	80	FLAMENCO	Lentille	150
Sarrasin	Plante compagne	80	FLAMENCO	Sarrasin	30
Sarrasin semis décalé	Plante compagne/semis	80	FLAMENCO	Sarrasin	30
Moutarde	Plante compagne	80	FLAMENCO	Moutarde	50
FLAMENCO	TEMOIN	80	FLAMENCO		
RONDO	Variété	80	RONDO		
TWIST	Variété	80	TWIST		
ELIXIR	Variété	80	ELIXIR		
BADIL	Variété	80	BADIL		
CDC ORION	Variété	80	CDC ORION		
LAMBADA	Variété	80	LAMBADA		
ALAMO	Variété	80	ALAMO		

Modalité	Paramètres testés	Densité semis soja (gr/m2)	variété	Plante compagne/ variété	Densité semis plante compagne (gr/m2)
Sarrasin 1	Densité/plante compagne	75	Aurelina	Sarrasin	20
Sarrasin 2	Densité/plante compagne	75	Aurelina	sarrasin	40
AURELINA D1	Densité semis	60	Aurelina		
AURELINA D3	Densité semis	90	Aurelina		
AURELINA	TEMOIN	75	Aurelina		
ES COMPOSITO R	Variété	75	ES Compositor		
GL BEGONIA	Variété	75	GL Begonia		
ES CONDUCTOR	Variété	75	ES Conductor		
RGT SANKARA	Variété	75	RGT Sankara		
APOLLINA	Variété	75	Apollina		
AKUMARA	Variété	75	Akumara		
ES CHANCELLO R	Variété	75	ES Chancellor		
ABACA	Variété	75	Abaca		
ALICIA	Variété	75	Alicia		
ASCADA	Variété	75	Ascada		
CERES PZO	Variété	75	Ceres PZO		
MAGNOLIA PZO	Variété	75	Magnolia PZO		
SOKINTO	Variété	75	Sokinto		
ES COMANDOR	Variété	75	ES Commander		
NESSIE PZO	Variété	75	Nessie PZO		

Annexe 2 : Résumé des modalités implantées sur les essais pois chiche et soja

Variété	Semencier	Année d'inscription	Précocité à maturité	Classe de PMG	Teneur en protéines	Hauteur de récolte	Port de la plante
Badil	ID Grain	2005	P -1/2P	280-320	Très élevée	Courte	Demi-dressé
CDC Orion	LIDEA	2020	P	390-430	Faible	Courte	Étalé
Elixir	Arterris	2014	½ P	320-360	Moyenne	Moyenne	Demi dressé
Flamenco	Top Semence	1991	½ P	280-320	Très élevée	Court	Dressé
Lambada	Top Semence	1992	T	360-390	Elevée	Haute	Demis-dressé
Rondo	Top semence	2019	½ T	320-360	Elevée	Moyenne	Étalé
Twist	Arterris	1991	T	360-390	Elevée	Moyenne	Dressé
Alamo	APSOV	2023	T	390-430	Moyenne	Haute	Demi-dressé

Variété	Semencier	Année d'inscription	Rendement	Teneur en protéines	Hauteur 1 ères gousses	Précocité
Magnolia PZO	Semences de France	2021	Moyen/élevé	Moyenne	Moyenne	Début 000
Ascada	Secobra	2021		Faible	Moyenne	000
Ceres PZO	Florimond Desprez	2020	Moyen/élevé	Moyenne	Moyenne	Début 000
Akumara	Semences de France	2022		Moyenne	Basse	000
ES Commandor	Caussade Semences PRO	2016	Faible	Moyenne	Moyenne	Début 000
Abaca	Saatbau France	2019				Début 000
Sokinto	Florimond Desprez	2023	élevé	Moyenne		000
Alicia	Soufflet Seeds	2020	Moyen/élevé	Moyenne	Moyenne	000
Nessie PZO	Sem-partners	2019	Moyen	Moyenne	Moyenne	Début 000
ES Compositor	Caussade Semences PRO	2020	Très élevé	Moyenne	Moyenne	000
Aurelina	Saatbau France	2019	Moyen/élevé	Moyenne/élevée	Moyenne	000
ES Conductor	Caussade Semences PRO	2021	Moyen/élevé	Moyenne	Haute	000
RGT Sankara	RAGT Semences	2022	Moyen/élevé	Moyenne/élevée	Moyenne	Début 000
Apollina	Saatbau France	2021	Très élevé	Moyenne	Moyenne	000
GL Begonia	Agri Obtentions	2023	Moyen/élevé	Moyenne/élevée		000
ES Chancellor	Caussade Semences PRO	2021	Moyen/élevé	Moyenne	Moyenne	000

Annexe 3 : Présentation des variétés de pois chiche et soja testées cette année2

Source : comparateur de variétés Myvar, par Terres Inovia

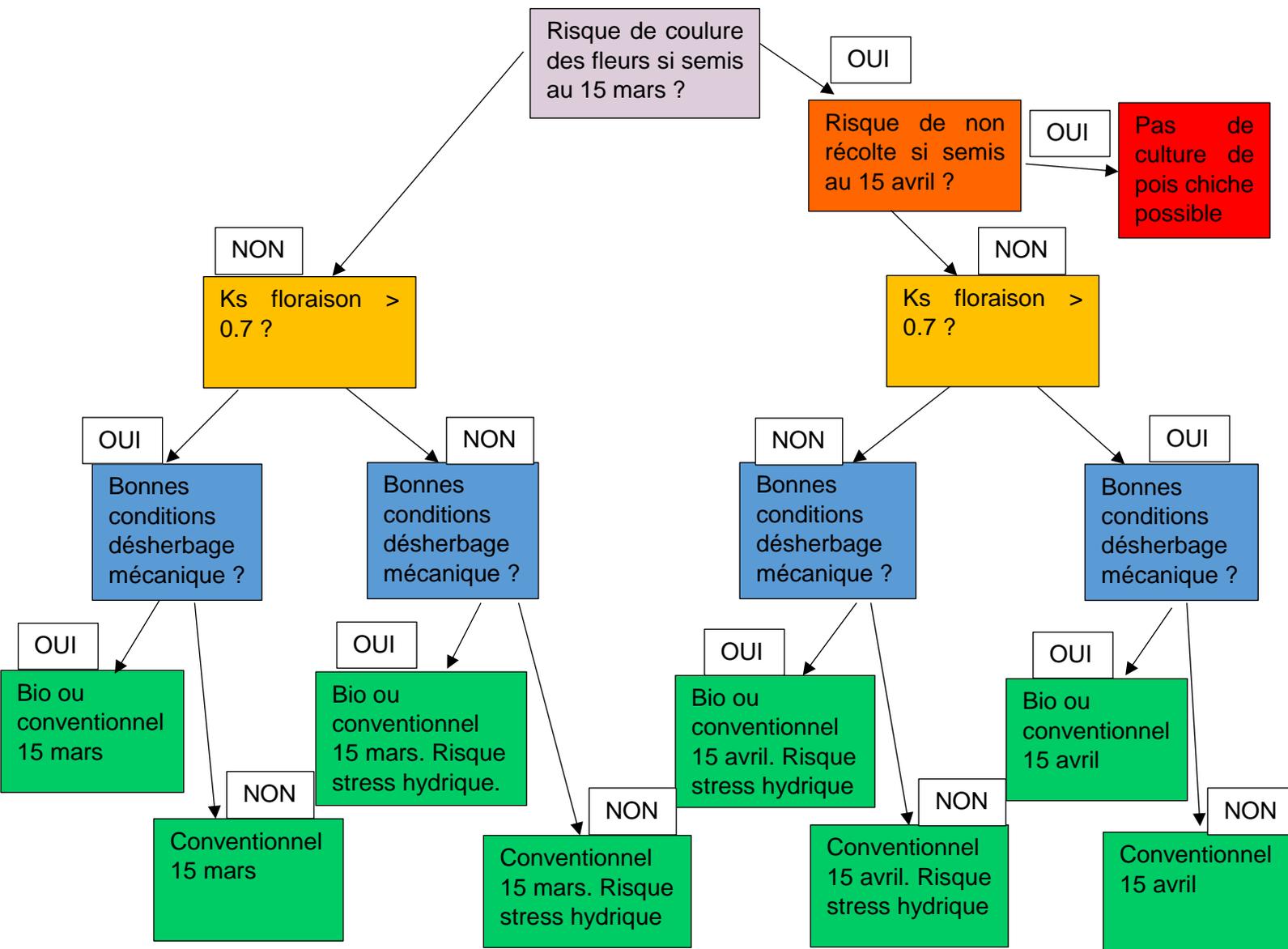
Stade de réalisation	Opérations à réaliser	Seuil de déclenchement	Unité
A la levée	Date de levée	Obligatoire	Date
En végétation	Peuplement	Obligatoire	Plantes/m ²
4 à 8 semaines après semis	Couverture de sol	Obligatoire	% de couverture
Début floraison	Date de début floraison	Obligatoire	Date
	Nodulation	Obligatoire	Note de 1 à 9 1 = absence
A mi- floraison	Biomasses sèches	Obligatoire	T MS/ha
	Hauteur totale	Obligatoire	En cm
	Hauteur d'insertion de la première gousse	Obligatoire	En cm
Après floraison fin	Nombre de gousse fertiles/tige	Facultatif	Nb de ramifs fructi par plante Nb de gousses par plante Nb graines par plante
Maturité physiologique	Précocité à maturité (note de maturité)	Obligatoire	Note de 1 à 9 1 tardif 9 précoce
	Date de maturité	Facultatif	En quantième
Avant récolte	Hauteur à la récolte	Obligatoire	En cm
Récolte	Poids brut	Obligatoire	En Kg
	Humidité à la récolte	Obligatoire	En %
	Poids net après tri	Obligatoire	En q/ha
	PMG à 14%	Labo Terres Inovia	En g
Laboratoire	Teneur en protéines (% MS)	Labo Terres Inovia	En %/MS
	Calibres	Labo Terres Inovia	En %

Annexe 4 : Résumé des mesures, comptages et prélèvements à effectuer sur l'essai soja

Stade de réalisation	Opérations à réaliser	Niveau de traitement	Seuil de déclenchement	Unité	Date disponibilité
A la levée	Date de levée	Parcelle	Obligatoire	Date	Récolte
En végétation	Peuplement	Parcelle	Obligatoire	Plantes/m ²	Récolte
Lorsque la première variété couvre complètement le sol, sinon au stade boutons floraux	Note de couverture du sol par le pois chiche	Parcelle	Systematique en bio (VAB)	note de 1 à 9 (1 : <10%, 2 : 10-25% ;3 :25-50%, 4 :50-75%, 5 :>75%)	Récolte
Début floraison	Date de début floraison	Variété	Obligatoire	Date	Récolte
	Nodulation	Bordure essai	Obligatoire	Note de 1 à 9 1 = absence	Récolte
	Note densité adventices	Parcelle	Systematique en bio (VAB)	note de 1 à 9	Récolte
Après fin floraison	Nombre de gousse fertiles/tige	Variété	Facultatif	Nb de ramifs fructi par plante Nb de gousses par plante Nb graines par plante	Récolte
Maturité physiologique	Précocité à maturité (note de maturité)	Variété	Obligatoire	Note de 1 à 9 1 tardif 9 précoce	Récolte
	Date de maturité	Variété	Facultatif	En quantième	Récolte
Avant récolte	Hauteur à la récolte	Variété	Obligatoire	En cm	Récolte
	Note densité adventices	Parcelle	Systematique en bio (VAB)	note de 1 à 9 C6417	Récolte
Récolte	Poids brut	Parcelle	Obligatoire précision de ± 5%	En Kg	Récolte
	Humidité à la récolte	Parcelle (à défaut variété)	Obligatoire Partenaires (à défaut labo TI)	En %	Septembre

	PMG à 14%	Variété	Si partenaire équipé Si pas équipé = labo TI	En g	Septembre
Laboratoire	Teneur en protéines (% MS) - DESI	Variété	Labo TI	En %/MS	Octobre
	Calibres (KABULI)	Variété	Labo TI	En %	Octobre

Annexe 5 : Résumé des mesures, comptages et prélèvements à effectuer sur l'essai pois chiche



Annexe 6 : arbre de décision pour la culture du pois chiche



Annexe 7 : place de l'essai protéagineux dans la rotation sur la parcelle Lann Chebod

Date	Opération	Description	Objectif
14/03	Destruction du couvert (moutarde)		
19/03	Passage du canadien	15 cm de profondeur	Remonter et faire germer les graines d'adventices
11/04	2 nd passage du canadien	10 cm de profondeur	Détruire les adventices et faire germer les graines restantes
12/04	Passage de la herse rotative Semis Roulage	En rangs, 4cm de profondeur, semoir expérimental de type semoir à céréales.	Préparer le semis en affinant le sol Favoriser la germination par un meilleur contact sol-graine
17/04	1 ^{er} passage de herse étrille	Agressivité 1, 2km/h, à l'aveugle	Détruire les adventices au stade filament blanc
10/05	2 nd passage de herse étrille	Agressivité 2, 3km/h, stade 2 feuilles	Détruire les adventices au stade filament blanc
23/05	3 ^{ème} passage de herse étrille	Agressivité 3, 3km/h, stade 4 feuilles	Détruire les adventices au stade filament blanc

Annexe 8 : itinéraire technique de l'essai soja

Date	Opération	Description	Objectif
14/03	Destruction du couvert	Broyage de la moutarde	
19/03	1 ^{er} passage du canadien	15 cm de profondeur	Remonter et faire germer les graines d'adventices
11/04	2 nd passage du canadien	10 cm de profondeur	Détruire les adventices et faire germer les graines restantes
17/04	Faux semis	Avec vibroculteur	Détruire les adventices, en particulier les graminées
19/04	1 ^{er} passage de herse étrille	Agressivité 7	Déchausser les graminées
02/05	2 nd faux semis	Avec vibroculteur	Détruire les adventices, préparer le semis
27/05	Scalpage		Détruire les graminées et les chardons laissés par le vibroculteur
03/06	Passage de Herse étrille Semis Roulage	Agressivité 6 Profondeur 4 cm, semoir expérimental de type semoir à céréales	Préparer le semis en éliminant les adventices au stade filament blanc Favoriser la germination par un meilleur contact sol-graine
07/06	Passage de herse étrille	Agressivité 3, 2km/h, à l'aveugle en prélevée	Détruire les adventices au stade filament blanc
18/06	Passage de herse étrille	Agressivité 1, 2.5km/h sur soja au stade 2 feuilles	Détruire les adventices au stade filament blanc
25/06	Passage de herse étrille	Agressivité 5, 4Km/h	Détruire les adventices au stade filament blanc
04/07	Binage		Éliminer les adventices entre les rangs

Annexe 9 : itinéraire technique de l'essai pois chiches

Auteur : Solène DAVID

Date de naissance : 29/11/2001

Nb pages : 29 Annexes : 8

Année de soutenance : 2024

Organisme d'accueil : Chambre d'Agriculture de région Bretagne

Adresse : Station expérimentale de Kerguéhennec, 56500 BIGNAN

Maître de stage : Caroline COCOUAL

Titre français : Étude de la faisabilité et adaptation des itinéraires techniques pour la culture du soja et du pois chiche bio en Bretagne, dans un contexte de changement climatique.

Titre anglais : Study of the feasibility and adaptation of technical itineraries for growing organic soybeans and chickpeas in Brittany, in a context of climate change.

Résumé : Les cultures de pois chiche et de soja représentent une opportunité pour la Bretagne : elles permettent d'enrichir et de diversifier les rotations, ainsi que d'améliorer l'autonomie protéique des élevages dans le cas du soja, de plus le changement climatique devrait rendre la Bretagne plus propice à l'implantation de ces cultures. On cherche donc à préciser les itinéraires techniques à mettre en place pour cultiver du pois chiche et du soja en Bretagne et à évaluer leur faisabilité dans la région en 2050.

L'étude se décompose en deux temps : mise en place d'essais analytiques pour l'acquisition de références (sur les rendements, besoins en eau, en degrés jours) et le test de variétés et d'associations, puis utilisation de ces références et de données de projection climatique pour calculer et cartographier des indicateurs de faisabilité.

L'essai analytique de soja comporte 21 modalités : 16 variétés, 1 témoin, 2 associations, 2 densités de semis différentes. L'essai analytique du pois chiche comporte 15 modalités : 7 variétés, 1 témoin, 6 associations et un témoin désherbage manuel. Les deux essais sont construits en alpha plan et des mesures des taux de levée et de couverture, de hauteur des gousses, de nombre de gousses, de PMG ainsi que de rendement sont réalisées. L'analyse des résultats avec les logiciels R et ExpéR permet de mettre en évidence la concurrence entre cultures et plantes compagnes ainsi que l'importance d'assurer une bonne levée.

Le calcul d'indicateurs de faisabilité montre que le climat sera propice à la culture du pois chiche dans toute la Bretagne, à l'exception d'une zone au nord du Finistère, et à condition d'avoir un semis tardif. Pour la culture de soja, un semis précoce est à privilégier dans la partie nord-ouest pour éviter les risques de non-récolte. La culture de soja serait, elle aussi, envisageable dans toute la région, excepté une partie du nord Finistère.

Abstract : The cultivation of chickpeas and soya represents an opportunity for Brittany: it can diversify crop rotations, and improve the protein autonomy of livestock farms in the case of soya. Moreover, climate change should make Brittany more favourable to the establishment of these crops. The aim is therefore to specify the technical itineraries that need to be put in place to grow chickpeas and soya in Brittany, and to assess their feasibility in 2050.

The study is divided into two phases: setting up analytical trials to acquire references (on yields, water requirements, temperatures) and testing varieties and associations, then using these references and climate projection data to calculate and map feasibility indicators.

The soybean analytical trial comprises 21 trials: 16 varieties, 1 control, 2 associations and 2 different sowing densities. The chickpea analytical trial comprises 15 conditions: 7 varieties, 1 control, 6 associations and a manual weeding control. The two trials were constructed in an alpha plan and measurements were taken of emergence and coverage rates, pod height, number of pods, PMG and yield. Analysis of the results using R and ExpéR software highlighted the competition between crops and intercrops and the importance of ensuring good emergence. The feasibility indicators show that the climate will be favourable for growing chickpeas throughout Brittany, with the exception of an area in the north of Finistère, and on condition that the crop is sown late. For soya, early sowing is preferable in the north-west to avoid the risk of non-harvesting. Soya can also be grown throughout the region, with the exception of part of northern Finistère.

Mots-clés : Soja, pois chiche, changement climatique, cultures associées, agriculture biologique, pluviométrie, itinéraire technique, sarrasin, seigle, moutarde, lentille.

Key Words: Soybean, chickpea, climate change, intercropping, organic agriculture, rainfall, technical route, buckwheat, rye, mustard, lentils.