



itab

l'Institut de l'agriculture
et de l'alimentation biologiques

PROJET SOLBLEBIO

Rapport d'expérimentation



FINANCÉ PAR



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



MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, DE L'AGRO-ALIMENTAIRE ET DE LA SOUVERAINETÉ ALIMENTAIRE

*Égalité
Territoires*

La responsabilité du Ministère en charge de l'agriculture ne saurait être engagée.

LA VIGUEUR DES SEMENCES DE BLE TENDRE EN TANT QUE LEVIER POUR RENFORCER LES SYSTEMES ARTICULANT AGRICULTURE BIOLOGIQUE DE CONSERVATION ET SEMENCES PAYSANNES

Rapport d'expérimentation dans le cadre du projet
SOLBLEBIO : Identifier et sélectionner des variétés paysannes
de blé tendre adaptées à la culture en agriculture bio de
conservation des sols en Pays de la Loire

Table des matières

I.	Introduction	4
II.	Matériel et méthodes	7
A.	Échantillons de semences	7
B.	Tests de germination à froid	7
C.	Modélisation des courbes de germination et calcul des indices de vigueur	9
D.	Observations au champ	9
1.	Implantation de la plateforme d'essais et contexte pédoclimatique	9
2.	Notations de vigueur précoce au champ	10
3.	Récolte et établissement du rendement	11
E.	Analyse des données	11
III.	Résultats et discussion	12
A.	Indices de vigueur germinative observés	12
B.	Identifier les variétés-populations prometteuses en vue d'une utilisation dans des systèmes d'ABC	14
C.	Évaluer la vigueur des semences paysannes et fermières produites dans le réseau de fermes	18

IV.	Perspectives et recommandations	21
A.	Apprentissages concernant la sélection et la multiplication de semences pour ABC :	21
B.	Apprentissages concernant les méthodes pour évaluer les semences pour ABC :	22
	Remerciements	24
	Bibliographie	24

I. Introduction

L'Agriculture Biologique de Conservation (ABC) telle que définie par l'association "Les Décompacté.e.s de l'ABC" est une boîte à outils mélangeant des pratiques de l'agriculture de conservation des sols (AC) et de l'agriculture biologique (AB) : couverts végétaux, préparations naturelles peu préoccupantes (PNPP), cultures associées, agroforesterie, non travail du sol (TCS/SD), rotations diversifiées... (Les décompacté.e.s de l'ABC 2025). La mobilisation de ces outils poursuit l'objectif de s'affranchir à la fois du labour et de l'utilisation de substances herbicides pour le contrôle de la flore adventice, ce pour préserver la vie du sol ainsi que la biodiversité en général. En effet, le travail du sol, en l'absence d'herbicide, est utilisé pour maîtriser les adventices. En l'absence d'engrais de synthèse, il ameublisse le sol, favorisant ainsi le développement des végétaux. Limiter le travail du sol en AB et repenser des successions et associations complexes sont donc un vrai défi à relever.

SOLBLEBIO (Identifier et sélectionner des variétés paysannes de blé tendre adaptées à la culture en agriculture bio de conservation des sols en Pays de la Loire) est un projet régional réunissant 5 partenaires. Son objectif est d'articuler le développement des semences paysannes dans la région Pays de la Loire avec les pratiques de l'ABC. Nous adaptons pour ce projet la définition établie par l'association Réseau Semences Paysannes, *selon laquelle les semences [...] paysannes sont un commun inscrit dans une co-évolution entre les plantes cultivées, les communautés et les territoires [...]. Elles sont issues de populations dynamiques [...] reproduites par le cultivateur, au sein d'un collectif ayant un objectif d'autonomie semencière. Elles sont et ont toujours été sélectionnées et multipliées avec des méthodes non transgressives de la cellule végétale et à la portée du cultivateur final, dans les champs, les jardins, les vergers conduits en agriculture paysanne, biologique ou biodynamique. Ces semences sont renouvelées par multiplications successives en pollinisation libre et/ou en sélection massale, sans auto-fécondation forcée sur plusieurs générations. Les semences paysannes, avec les savoirs et savoir-faire qui leur sont associés, sont librement échangeables dans le respect des droits d'usage définis par les collectifs qui les font vivre.*

On fait la distinction entre les variétés paysannes d'une part et les semences fermières de variétés commerciales, inscrites au catalogue officiel des variétés et répondant aux critères DHS (Distinction Homogénéité Stabilité) et VATE (Valeur Agronomique Technologique et Environnementale).

Le projet se base sur les variétés et pratiques précédemment en place dans le réseau de fermes en AB de 2 partenaires (GABB Anjou et GAB44). En termes de semences paysannes, le blé tendre (*Triticum aestivum* subsp. *aestivum*) est l'espèce la plus représentée dans ces réseaux, sa production ayant une grande importance pour les fermes concernées au niveau économique. En termes de pratiques de conservation du sol, on y trouve les pratiques suivantes pour la culture de blé : (i) semis sans labour (semis direct ou itinéraire simplifié avec passage d'outils à dents ou à disques), (ii) semis dans une culture fourragère déjà en place (semis dans une luzerne ou d'autres types de prairies à base de légumineuses), (iii) semis en association avec une prairie ou une légumineuse fourragère (pour avoir une prairie déjà implantée lors de la récolte du blé).

Par une couverture permanente du sol et le non-labour, l'AC apporte des bénéfices en termes de structure sol, améliorant l'infiltration d'eau et limitant son évaporation (Cutforth et McConkey 1997, Verhulst et al. 2010). Cependant, elle présente aussi des facteurs limitants pour le développement précoce des cultures. Un sol plus dense (Chan et al. 1989) peut constituer un obstacle à la croissance des jeunes racines et les résidus de culture à la surface du sol peuvent entraver et inhiber la croissance aérienne (Wuest et al. 2000). La minéralisation d'azote peut aussi être différée dans le temps (Grahmann et al. 2014), ce qui n'est pas compensé par des engrais minéraux en AB. Une étude réalisée au Mexique montre que la vigueur précoce mesurée à 4 semaines après semis est le principal caractère favorisé lorsque des populations ségréantes de blé dur (*Triticum durum*) sont soumises à la sélection environnementale dans un système sans labour sur 4 ans (entre les générations F2 et F5) (Honsdorf et al., 2020).

Différentes études concordent dans l'observation que la vigueur précoce plus faible dans les systèmes en AC en comparaison avec des systèmes labourés sont compensées à des stades ultérieurs (Cornish et Lymbery 1987, Riley 1998, Verhulst et al. 2011, Vyn et al. 1991). En ABC, un manque de vigueur précoce peut au contraire s'avérer préjudiciable à la réussite de la culture, puisque la vigueur précoce est un caractère clé pour concurrencer les adventices. Sur base d'une méta-analyse et de données expérimentales sur le blé tendre, Kissing Kucek et al. (2021) concluent que la vigueur précoce au stade de 4-5 feuilles est le caractère secondaire le mieux corrélé à une mesure directe de la capacité à concurrencer les adventices, qui est un caractère complexe et fastidieux à mesurer expérimentalement. Pour l'ABC, où la gestion des adventices est le défi majeur, il semble donc pertinent d'assurer une bonne vigueur précoce.

Selon l'Association Internationale des Essais de Semences (ISTA), la vigueur des semences est la somme des propriétés de la semence déterminant le niveau d'activité et de développement du lot de semences au cours de la germination et de la levée des plantules dans différents environnements (ISTA 2022). Elle conditionne la résilience de semences et plantules, donc leur capacité à germer et lever sous la contrainte de facteurs stressants. Des résultats de recherches expérimentales indiquent que les conditions du sol en AC ne limitent pas la germination et la levée, et que les principaux facteurs limitants n'interviennent qu'ultérieurement (Chan et al. 1987, Cornish et al. 1987). Dans certains cas, les conditions de l'AC peuvent néanmoins avoir un impact négatif sur la levée (Tessier et al. 1991). Une bonne vigueur des semences est cependant identifiée comme élément important pour une levée rapide et homogène, contribuant à la résilience des plantules face à diverses aléas biotiques (microorganismes pathogènes, notamment telluriques) et abiotiques. Cela est d'autant plus vrai en AB (Klaedtke *et al.* 2022), où l'on dispose de peu de moyens d'intervention pour compenser un démarrage inadéquat de la culture. Les expériences pratiques dans les réseaux de fermes impliquées dans ce projet concordent : lors d'échanges dans le cadre du projet SOLBLEBIO, la vigueur à la levée est le premier critère cité par des praticiens de l'ABC pour une culture de céréale en condition d'ABC dans le Maine et Loire. Certains travaux de recherche ont associé une diminution du développement précoce de plantules de blé en AC à une plus forte présence de certains microorganismes dans le sol, qui peuvent avoir un effet inhibiteur sur la croissance des végétaux (Chan et al. 1987, 1989, Simpfendorfer et al. 2002). D'un autre côté, des études ont démontré

que les maladies racinaires sont moins présentes en AB, grâce à une meilleure santé des sols par comparaison avec l'agriculture conventionnelle (van Bruggen et Finckh, 2026). En cas de stress biotique en ABC, une germination et une levée rapides peuvent être un levier pour en atténuer les effets.

La vigueur des semences et plantules est dépendante à la fois de la génétique végétale et des conditions de production et de stockage des semences (Basu et Groot 2023). La vigueur précoce des plantules est également un caractère qui dépend du génotype (Botwright et al. 2002, Rebetzke et Richards 1999) végétal et d'interactions avec l'environnement (Kissing Kucek et al. 2021). Rebetzke et al. (2013) observent que les variétés à fort vigueur précoce expriment également ce caractère en conditions d'AC. Les leviers à mobiliser pour assurer, voire améliorer, la vigueur des semences et plantules sont donc le choix variétal et la sélection végétale d'une part, et les pratiques semencières à la ferme.

La vigueur des semences se définit par leur capacité à germer et lever sous la contrainte de facteurs stressants. Il n'existe pas de méthode directe unique et universelle pour mesurer cette vigueur, puisqu'elle dépend du stress que l'expérimentateur décide d'appliquer en fonction du facteur de stress principal attendu au champ. La vitesse de germination est aussi un indicateur de vigueur des semences, puisque des dommages physiques et l'âge physiologique des semences ralentissent le processus. La méthode dépend également de l'espèce végétale et de sa physiologie. Pour le blé tendre, la méthode standard préconisée par l'ISTA est un "test d'émergence de radicule" : les échantillons de semences sont mis à germer entre deux feuilles de papier buvard à une température constante de 15°C et les radicules de plus de 2mm de longueur sont comptées après 48h afin d'établir la proportion de graines ayant produit une radicule (ISTA 2022). Ce test de vigueur est différent du test de germination standard qui a pour objectif d'établir la faculté germinative finale et dans lequel les plantules sont comptés après 7 jours à 20°C (ISTA 2018).

Prenant en compte les facteurs "génotype" et "pratiques semencières" explicatifs de la vigueur des semences, l'objectif du travail expérimental présenté ici est triple :

- (i) **Evaluer des variétés-population** présentes dans la collection du GABB Anjou, partenaire de SOLBLEBIO, en ce qui concerne la vigueur des semences et la vigueur précoce des plantules, **afin d'identifier les variétés-populations prometteuses en vue d'une utilisation dans des systèmes d'ABC**
- (ii) **Evaluer les semences paysannes et fermières produites dans le réseau de fermes** associé au projet, **afin de faire l'état de leur vigueur** et, le cas échéant, identifier des pistes d'amélioration des pratiques semencières pour mieux assurer la qualité des semences.
- (iii) Sur le plan méthodologique, **expérimenter un test de vigueur des semences qui soit simple à mettre en œuvre** sans matériel de laboratoire spécifique et à interpréter, reproductible à la ferme ou à l'échelle d'un collectif ou d'une association travaillant avec des semences paysannes.

II. Matériel et méthodes

A. Échantillons de semences

Les échantillons de blé tendre d'hiver (*Triticum aestivum* supsp. *aestivum*) collectés en 2023 et 2024 viennent de deux types de sources. Premièrement, il s'agit de semences reproduites et ressemées au sein de la plateforme d'expérimentation et de démonstration du GABB Anjou à Bouchemaine. Deuxièmement, des semences fermières et paysannes sont collectées auprès de fermes associées aux GABB49 et au GAB44, ayant un intérêt pour les pratiques de l'ABC. Le Tableau 1 donne un aperçu de ces échantillons.

		Année	
		2023	2024
Nombre d'échantillons de lots issus de la plateforme d'essais		12	12
Contribution d'échantillons par les fermes	Nombre d'échantillons	4	12
	Nombre de fermes contributrices	3	9

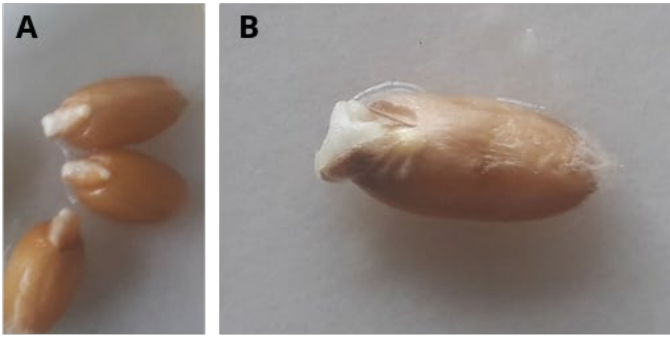
Tableau 1 : Nombre et types d'échantillons de blé tendre d'hiver incluses dans l'essai en 2023 et 2024

B. Tests de germination à froid

Pour mesurer la vigueur des semences, le choix est fait d'établir une cinétique de germination à froid. Ce test simule des conditions de levée rendues plus difficiles par de basses températures : le test de germination est réalisé dans un réfrigérateur réglé à 6°C, quand la température préconisée par l'ISTA (2018) pour un test de germination classique est de 20°C. Le froid a pour effet de ralentir la germination et permet une meilleure définition de sa cinétique.

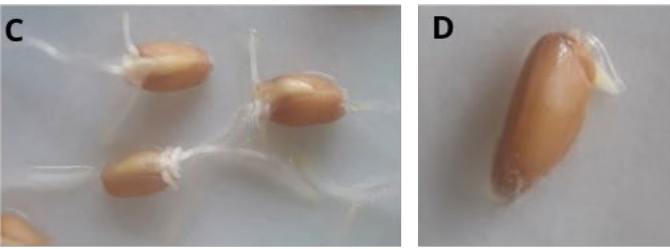
Pour chaque échantillon, 50 grains entiers sont pesés afin d'établir le poids de mille grains (PMG) en grammes. Ils sont ensuite déposés dans une boîte de Petri de 10 cm de diamètre tapissée d'un papier filtre imbibé de 5mL d'eau. La germination a lieu dans l'obscurité entre 5 et 6°C dans un réfrigérateur domestique (modèle ESSENTIELB ERTL85-55hob1), pendant 10 jours. Les grains germés sont comptés et retirés des boîtes tous les jours entre le 3ème et le 7ème jour. Le comptage final a lieu le 10ème jour. Les germes anormaux sont comptés séparément. La Figure 1 montre le stade auquel sont comptés les germes, ainsi que les types d'anomalies observées.

Germes « normaux » (A, B)

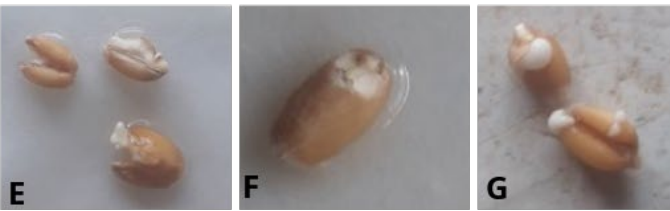


Germes comptés comme « normaux » dans les essais de germination à froid

Germes « anormaux » (C, D)



Grains cassés (E, F, G)



Germes anormaux ou grains cassés, moisissus ou pourris considérés comme non-germés

Grains moisissus ou pourris (H, I, J)



Figure 1 : Exemples en photo de germes comptés comme normaux (A, B), ainsi que de germes anormaux (C, D) ou grains cassés (E, F, G) ou pourris ou moisissus (H, I, J), considérés comme non-germés.

L'essai est répété en 4 séries consécutives avec les échantillons de l'année, chaque série constituant un bloc complet randomisé. La présence de grains cassés lors de la préparation d'un sous-échantillon ou en cours de germination est notée, ainsi qu'une coloration rose de grains en cours de germination, indiquant la présence de *Fusarium* sp., champignon pouvant être pathogène pour le blé.

C. Modélisation des courbes de germination et calcul des indices de vigueur

A partir de chaque test de germination, une courbe de germination est modélisée en utilisant l'approche proposée par Onofri *et al.* (2022) pour ce type de données *time-to-event*. Trois indices de vigueur sont ensuite calculés à partir de cette courbe.

- (i) Le taux de germination indique la proportion grains germés au bout de 10 jours à 6°C.
- (ii) La latence de germination indique le niveau d'homogénéité de la germination. Il s'agit du temps nécessaire pour passer de 30% à 70% de semences germées (T70-T30). Plus ce temps est court, plus la levée est homogène.
- (iii) Le temps médian de germination est un indice de vélocité de la germination. C'est le temps nécessaire pour voir 50% des semences germées (T50)

La Figure 2 représente ces indices sur base d'un exemple de courbe de germination.

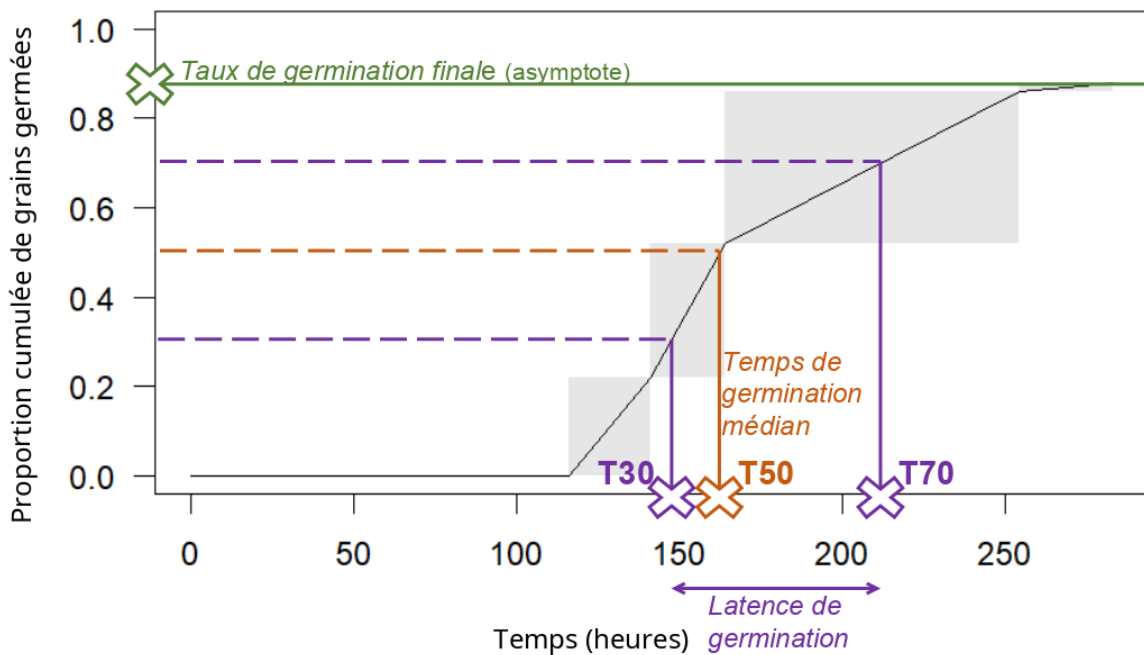


Figure 2 : Illustration du calcul des indices de vigueur germinative à partir d'un exemple de courbe de germination modélisée.

D. Observations au champ

1. Implantation de la plateforme d'essais et contexte pédoclimatique

Les blés sont semés en micro-parcelles sans répétition en plateforme d'essais par le GABB Anjou le 11 novembre 2023 et 2024, respectivement, sur une ferme conduite en agriculture biologique depuis 1995 (GAEC du Pont de l'Arche, Bouchemaine, 47,41558°N, -0,65330°W). Les parcelles

accueillant les plateformes sont sablo-limoneuses « à structure fragile et faible potentiel » (Florent Mercier, communication personnelle), avec un précédent de trèfles annuels fauchés en 2023 et de trèfles annuels pâturés en 2024. Les semis sont réalisés avec un semoir à essais (Wintersteiger) en 4 rangs à une profondeur de 1-2 cm, après un déchaumage à disques, un labour et un passage de herse rotative.

La Figure 3 montre les conditions de températures et la pluviométrie pour les deux années de l'essai. L'automne 2023 et 2024 ont été particulièrement humides (octobre 2023 et 2024 : pluviométrie supérieure à 100mm, moyenne de 71,9mm sur la période 1991-2020) entraînant dans la région des semis tardifs en assez mauvaises conditions, suivi d'hivers doux. Le printemps et l'été 2025 présentent une pluviométrie et des températures proches des normales de saison, contrairement à 2024 au printemps frais et humide.

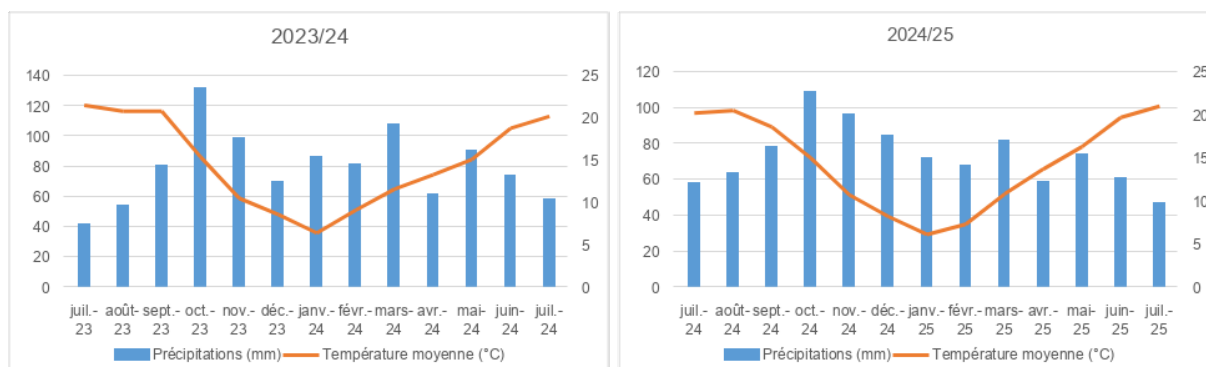


Figure 3 : Diagrammes ombrothermiques selon les données de la station Météo France de Beaucoz, pour les campagnes 2023/24 (gauche) et 2024/25 (droite).

2. Notations de vigueur précoce au champ

Des notations de vigueur précoce au stade 5 feuilles sont réalisées suivant la méthode préconisée par Kissing Kucek et al. (2021). Les notations ont eu lieu les 02.02.2024 et 20.01.2025. Des notes de 1 (vigueur la plus faible) à 9 (vigueur la plus forte) sont attribuées par des binômes ou trinômes d'observateurs, en commençant par la sélection de repères pour les notes 1, 5, 9 au sein de la plateforme. Il ne s'agit donc pas d'une notation absolue, mais d'une notation permettant de comparer la vigueur des différentes populations dans l'environnement donné. Pour illustrer la démarche, la Figure 4 montre les repères pour les notes 1, 5 et 9 choisis en 2024.




Référence Note 1 (très peu de vigueur)	Référence Note 5 (moyenne vigour)	Référence Note 9 (très forte vigueur)
		
PI 636151	'Talisman'	'Mélange d'Iran'

Figure 4 : Photos des peuplements établis comme référence pour la notation de vigueur précoce en février 2024.

3. Récolte et établissement du rendement

Les récoltes ont lieu les 20.7.2024 et 19.7.2025, respectivement. Chaque micro-parcelle de blé est récoltée grâce à une moissonneuse à essai (Haldrup, Figure 5). Les lots bruts sont pesés puis triés par deux passages au nettoyeur séparateur. Les lots triés sont de nouveau pesés afin d'établir les rendements en grain nets.



Figure 5 : Moissonneuse d'essais utilisée pour récolter les micro-parcelles des plateformes d'essais à Bouchemaine en 2024 et 2025.

E. Analyse des données

L'analyse et la représentation graphique des données a lieu dans le logiciel R. La modélisation des courbes de germination est réalisée suivant Onofri (2023), en mobilisant les packages 'drcte', 'drcSeedGerm'. La représentation graphique des résultats et l'analyse statistique mobilisent les packages 'ggplot2' 'ggpubr', 'ggbeeswarm' et 'ggh4x'. L'effet du lot de semences, de la répétition et leur interaction sur les PMG et indices de vigueur germinative est testé par une analyse de variance (ANOVA) lorsque la structure des données le permet (homoscédasticité). Sinon, le test non-paramétrique de Kruskal-Wallis est employé pour tester l'effet du lot de semences et de la répétition. Les corrélations sont

établies par l'indice rho de Spearman, basé sur les rangs et non les valeurs absolues. Ces corrélations sont établies à partir de la moyenne des indices de vigueur de chaque lot de semences dans les 4 séries de tests de germination. Le seuil de $p < 0,05$ est choisi pour considérer une corrélation significative statistiquement.

III. Résultats et discussion

A. Indices de vigueur germinative observés

La Figure 6 montre pour chaque lot de semences testé la moyenne et l'écart type du poids de 1000 graines (PMG) et des indicateurs de vigueur germinative relevés lors des tests de germination à froid pour en 4 séries réalisées pour les 2 années d'essais, 2023/24 et 2024/25. On y aperçoit de manière générale des écarts types relativement importants pour les indicateurs de vigueur germinative, qui s'expliquent en partie par des conditions de température variables d'une série (ou répétition) à l'autre. Ces écarts types sont particulièrement importants pour les lots de semences ayant une faculté germinative moindre et une germination plus lente et hétérogène. En termes de physiologie des semences, cela illustre le fait qu'un lot de semence moins vigoureux présente généralement une plus grande hétérogénéité dans le lot, qui mène à plus d'hétérogénéité entre sous-échantillons testés. Les différences de PMG sont importantes entre les lots testés, allant de 31,4g à 52,9g en 2023/24 et de 23,4g à 51,0g en 2024/25.

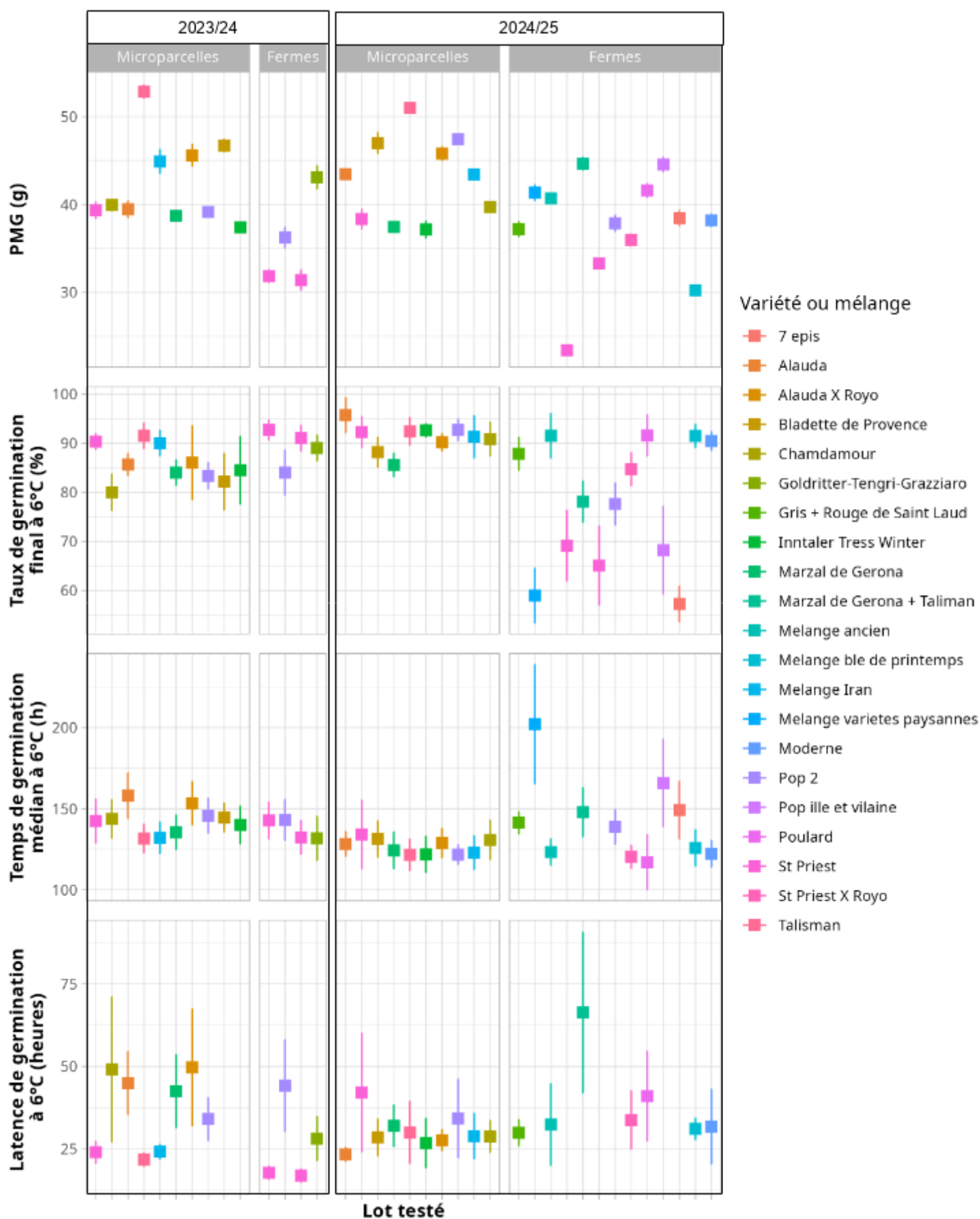


Figure 6 : Moyennes et écarts-type du poids de 1000 graines (PMG, g) et des indices de vigueur germinative établis dans le cadre des tests de germination à froid réalisés en 4 séries en 2023/24 et 2024/25 avec des lots collectés l'année respective.

Le Tableau 2 montre les résultats d'analyses de variances (ANOVA) ou de test de Kruskal-Wallis pour le PMG et les trois indices de vigueur germinative établis par les tests de germination à froid en 2023/24 et 2024/25. Pour toutes ces variables, un effet statistiquement significatif du lot de semences est détecté, sauf pour la vitesse de germination dans l'essai de 2023/24. Sauf dans ce cas-là, cela signifie que ces tests ont permis de repérer des différences entre lots. L'effet de la répétition est également significatif pour les indices de vigueur germinative, sauf pour la latence de germination dans l'essai de 2024/25. Cela illustre une différence de conditions de tests d'une série de tests de germination à l'autre, expliqué par la difficulté de maintenir une température stable d'une série à l'autre. Lorsque cela peut être testé par ANOVA, aucune interaction lot x répétition statistiquement significative n'est repérée. Malgré ces différences de températures d'une série à l'autre, les tests de germination permettent globalement de différencier les lots de semences en fonction de leur taux de germination finale, leur vitesse et leur latence de germination.

Indicateur de vigueur	Année d'essais	Type de test appliqué	Effet significatif du lot de semences	Effet significatif de la répétition du test (série)	Effet significatif de l'interaction lot * répétition
PMG (g)	2023/24	ANOVA	***	ns	ns
	2024/25	ANOVA	***	ns	ns
Taux de germination final (%)	2023/24	Kruskal-Wallis	*	**	/
	2024/25	ANOVA	***	***	ns
Temps de germination médian (h)	2023/24	Kruskal-Wallis	ns	***	/
	2024/25	ANOVA	***	***	ns
Latence de germination (h)	2023/24	Kruskal-Wallis	*	ns	/
	2024/25	ANOVA	**	***	ns

Tableau 2 : Résultats d'analyses de variances (ANOVA) ou de test Kruskal-Wallis indiquant la significativité statistique des effets du lot de semences et de la répétition (série de test de germination), ainsi que leur interaction lorsque testé par ANOVA. *** $p < 0.001$, ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$, ns = non significatif. / interaction non testé par le test Kruskal-Wallis.

On y aperçoit une hétérogénéité importante entre les séries, expliquée par une difficulté à maintenir une température stable à 6°C dans le réfrigérateur d'une série à l'autre.

B. Identifier les variétés-populations prometteuses en vue d'une utilisation dans des systèmes d'ABC

Selon les travaux de Kissing Kucek et al. (2021), la vigueur précoce au stade de 4-5 feuilles est le caractère secondaire le mieux corrélé à la capacité à concurrencer les adventices. La Figure 7

(page 17) montre les corrélations entre la vigueur précoce et respectivement le rendement au champ, ainsi que les 3 indices de vigueur des semences évalués dans les tests de germination à froid, pour les lots de semences présent sur la plateforme d'essais en 2023/24 et 2024/25. Dix populations sont observées en 2023/24, six en 2024/25.

Globalement, les indicateurs de vigueur germinative établis en 2023/24 étaient plus hétérogènes qu'en 2024/25. Les taux de germination finaux étaient globalement inférieurs en 2023/24 (80-91,5%) par comparaison à 2024/25 (88-92,5 %). La germination était plus lente en 2023/24 qu'en 2024/25, avec des moyennes de temps de germination médian de 132h à 158h et de 122h à 134h, respectivement. Cela peut s'expliquer par des conditions humides (Figure 3 : Diagrammes ombrothermiques selon les données de la station Météo France de Beaucouzé, pour les campagnes 2023/24 (gauche) et 2024/25 (droite).) au printemps 2024 jusqu'en juillet : les grains arrivés à maturité ont pu sécher et reprendre de l'humidité à plusieurs reprises avant la récolte, ayant des effets néfastes sur la vigueur et la faculté germinative. Les rendements étaient globalement inférieurs en 2023/24 (7,8-22,2Qx/ha) qu'en 2024/25 (18,5-34,6Qx/ha)

Regardons premièrement le lien entre les indicateurs de vigueur germinative et la vigueur précoce observée au champ, pour chacune des deux années. En 2023/24, on observe une corrélation moyenne et statistiquement non significative entre le taux de germination final ($\rho=0,48$, $p=0,16$) et la vitesse de germination (temps de germination médian, $\rho=-0,48$, $p=0,15$) et la note de vigueur précoce donnée au champ. La latence de germination est significativement négativement corrélée à la vigueur précoce au champ ($\rho=-0,75$, $p=0,03$), signifiant que les lots ayant germé de manière plus homogène obtiennent une meilleure note de vigueur précoce au champ. En 2024/25, aucun lien statistiquement significatif est établi entre les indicateurs de vigueur germinative et la vigueur précoce au champ. Bien que non significatif statistiquement, un lien entre la vitesse de germination (temps de germination médian) et la vigueur précoce au champ ($\rho=-0,75$, $p=0,08$) est à noter.

On ne peut parler que de tendances, mais la vigueur précoce au champ paraît modérément liée aux différents paramètres de germination en 2023/24, alors qu'en 2024/25 seule la vitesse de germination paraît y être liée. Il y a plusieurs explications possibles à cela, qui ne sont pas exclusives l'une par rapport à l'autre :

- (i) Une levée plus claire due à un taux de germination plus faible peut être confondue dans la note de vigueur précoce, sachant que la notation de vigueur précoce consiste en une agglomération de divers caractères visuels des plantules incluant la densité apparente de la végétation. Cela est d'autant plus probable en 2023/24, puisqu'une plus grande gamme de taux de germination finaux sont observés cette année-là. Il s'agirait dans ce cas d'un effet confondu sur la notation visuelle de la vigueur précoce au champ.
- (ii) Une présence plus importante de lots de semences avec une faible vigueur germinative rend visible un effet sur la vigueur précoce au champ en 2023/24, qui ne l'est pas en 2024/25, lorsque globalement la vigueur germinative des lots était plus homogène.

Autrement dit, un effet sur la note de vigueur ne serait perceptible que lorsque la vigueur germinative est très faible, ce qui n'a été le cas d'aucun lot en 2024/25.

- (iii) Dans les conditions environnementales de 2023/24, la contribution de la vigueur germinative, et notamment d'une germination homogène, au développement de la vigueur précoce est plus importante qu'en 2024/25. L'automne 2023 présente en effet une pluviométrie importante (Figure 3 : Diagrammes ombrothermiques selon les données de la station Météo France de Beaucozé, pour les campagnes 2023/24 (gauche) et 2024/25 (droite)). Une plus grande vigueur germinative a peut-être contribué à un meilleur développement précoce dans des conditions de saturation des sols en eau.

La vitesse de germination est l'indicateur de vigueur le mieux corrélé avec la vigueur précoce à travers les 2 années. Ceci demande à être confirmé sur un plus grand nombre de lots de semences et dans une plus grande diversité d'environnements, afin d'établir si cet indice pourrait être mesuré de manière plus simple et plus ciblée à des fins prédictives de la vigueur précoce au champ. En effet, le « test d'émergence de la radicule » préconisée par l'ISTA pour le blé tendre consiste à compter les radicules apparues après 48h d'imbibition à 15°C, et mesure ainsi la vitesse de germination.

En ce qui concerne le lien entre vigueur précoce au champ et rendement, aucun lien entre ces 2 mesures n'est établi en 2023/24. Les observations recueillies en 2024/25 montrent un lien plus fort, mais ne représentent que 5 échantillons (les données de rendement étant manquantes pour 'Pop2' en 2024/25). Aussi, la plateforme d'essais où ont été réalisées les observations n'est pas conduite en condition d'ABC. Des essais dans les conditions de l'ABC en Pays de la Loire seraient nécessaires puisqu'il s'agit d'un caractère utile à la sélection de populations de blé pour l'ABC dans cette région. Il faudrait aussi comparer l'utilité de cette notation de vigueur précoce au stade 4-5 feuilles avec celle de vigueur sortie de l'hiver, déjà relevée en routine par le GABB Anjou dans le suivi de la plateforme expérimentale.

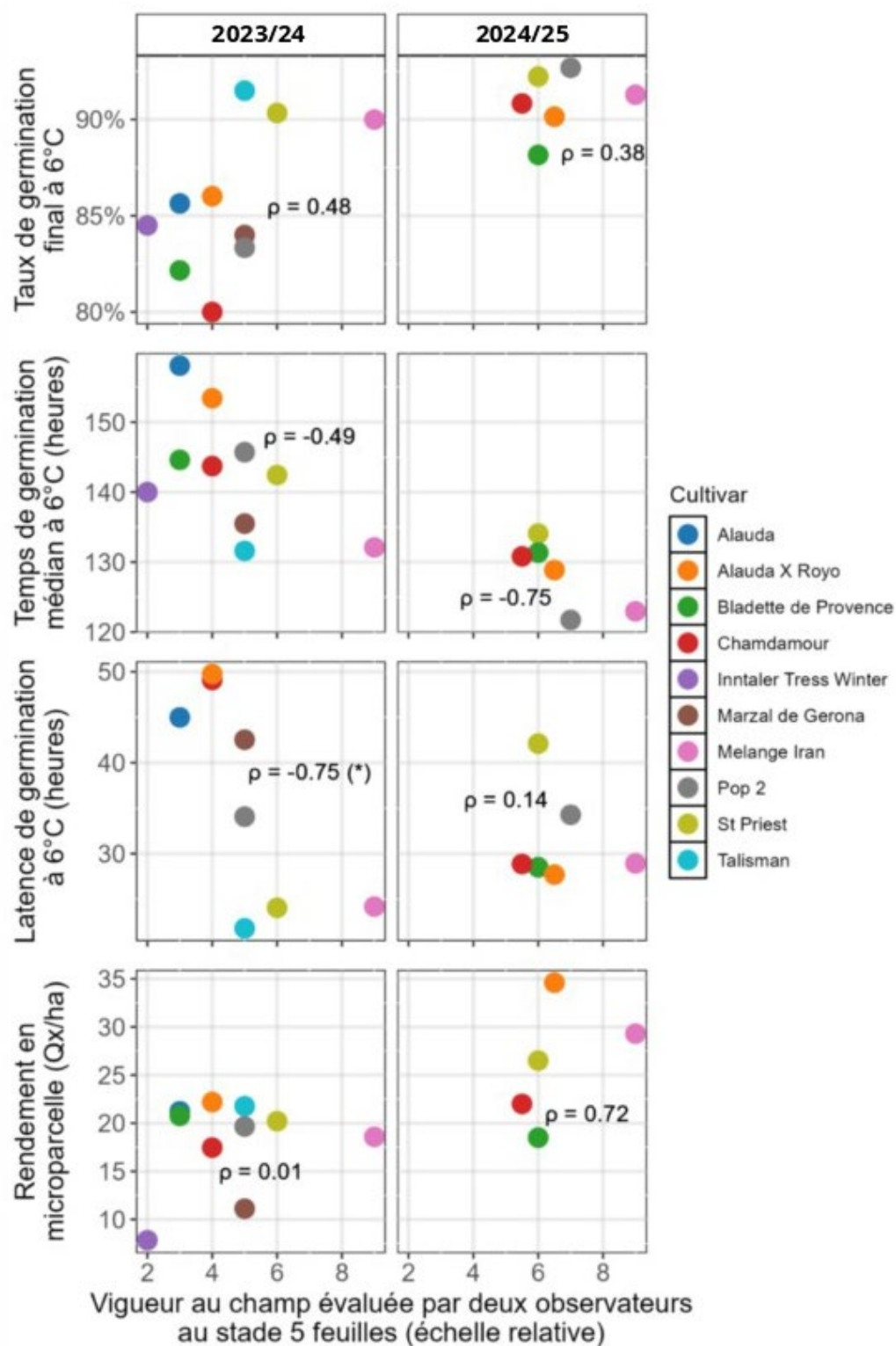


Figure 7 : Lien entre la moyenne d'indicateurs mesurés par tests de germination à froid en laboratoire et notes de vigueur précoce au champ allant de 1=très faible vigueur à 9=très forte vigueur. La force de la corrélation est indiquée par ρ de Spearman ; (*) indique que la corrélation est statistiquement significative à un niveau de signification de $p < 0,05$.

Passons à la **comparaison des variétés-population observées au champ les 2 années**. En 2023/24 et 2024/25, la population 'Mélange d'Iran' est la population avec la vigueur précoce la plus élevée : elle a été choisie comme référence pour la note « 9 » les 2 années d'observation (voir aussi Figure 4 : Photos des peuplements établis comme référence pour la notation de vigueur précoce en février 2024.). Elle a aussi présenté une bonne vélocité de germination comparée aux autres cultivars observés les 2 années (Figure 7 : Lien entre la moyenne d'indicateurs mesurés par tests de germination à froid en laboratoire et notes de vigueur précoce au champ allant de 1=très faible vigueur à 9=très forte vigueur. La force de la corrélation est indiquée par ρ de Spearman ; (*) indique que la corrélation est statistiquement significative à un niveau de signification de $p < 0,05$.), la moyenne de son temps de germination médian étant de 132h et 123h, respectivement pour 2024 et 2025. Les différents lots de semences sont issus de la récolte sur site de l'année précédente et ont donc été multipliés et stockés dans les mêmes conditions. Cela indique que les bonnes propriétés de germination de 'Mélange d'Iran' pourraient être une tendance génétique de cette population. A nouveau, cela demande confirmation sur un plus grand nombre d'années et d'environnements de multiplication, et par l'observation dans différents environnements. Si la tendance à une germination rapide et un bon développement précoce se confirment, cette population pourrait être un bon candidat pour la culture en ABC.

Au contraire, le lot de semences de la variété-population 'Alauda x Royo' présente le rendement en grain le plus élevé les 2 années, malgré des indices de vigueur germinative et des notes de vigueur précoce plus faibles en 2023/24. Cela pourrait indiquer que cette variété a la capacité de compenser un manque de vigueur germinative et de vigueur précoce plus tardivement au cours de son développement. Il s'agirait alors d'une variété moins recommandable pour un contexte d'ABC, puisqu'ici un manque de compétitivité précoce face aux adventices présente un risque encore plus important pour la culture qu'en AB. Cela reste cependant à confirmer par de l'expérimentation en conditions d'ABC.

C. Évaluer la vigueur des semences paysannes et fermières produites dans le réseau de fermes

La Figure 8 (Figure 8 : Différences de distribution d'indicateurs de vigueur des semences selon l'origine des lots.) montre la distribution du PMG et des indices de vigueur germinative des échantillons de semences issus des fermes, comparées à ceux multipliés en microparcelles sur la plateforme d'essais. Visuellement, seul le PMG montre une différence notable et constate dans ses médianes les 2 années d'essais, avec des échantillons fermiers plus légers que ceux de la plateforme. Cette différence est statistiquement significative les 2 années d'essais, selon des tests de Kruskal-Wallis ($p < 0,001$ les deux années). Les semences issues des microparcelles avaient des PMG de 42,4g et 43,1g en moyenne (arithmétique) respectivement en 2023/24, contre 35,7g et 37,5g en 2024/25. Cela pourrait s'expliquer par un tri plus sévère des lots de semences de la plateforme expérimentale par deux passages successifs au trieur après récolte,

par rapport au tri réalisé en routine sur les fermes. Une seconde hypothèse est que les conditions de culture dans la plateforme expérimentale soient plus optimales qu'en culture ordinaire en termes de nutrition des plantes, notamment dû à un effet bordure des micro-parcelles. Par cet effet bordure, une proportion non-négligeable des plantes cultivées en micro-parcelles disposent de plus de surface par plante et d'une meilleure nutrition. La présence d'une plus grande diversité de variétés avec une plus grande proportion de variétés à plus gros PMG sur la plateforme que dans les fermes serait une 3ème explication possible, la taille des semences étant déterminée par la variété et les conditions de culture. Une enquête auprès de producteurs n'a pas été réalisée pour renseigner les conditions de multiplication et tri des lots de semences. De tels renseignements permettraient d'éclairer d'éventuels facteurs explicatifs de la différence de poids de grains. Des études antérieures montrent que pour le blé tendre, la taille de la graine n'a pas d'impact systématique sur la vitesse de germination, mais un lien est observé avec la masse des plantules, des grains plus gros ou lourds donnant lieu à des plantules avec une masse sèche plus importante (Maharani et Maroufi 2011, Mian et Nagziger 1994, Lafond et Baker 1984). Un lien entre taille de l'embryon, largeur de la 1ère feuille et la vigueur précoce a été établi dans au moins une étude (López-Castañeda *et al.* 1996).

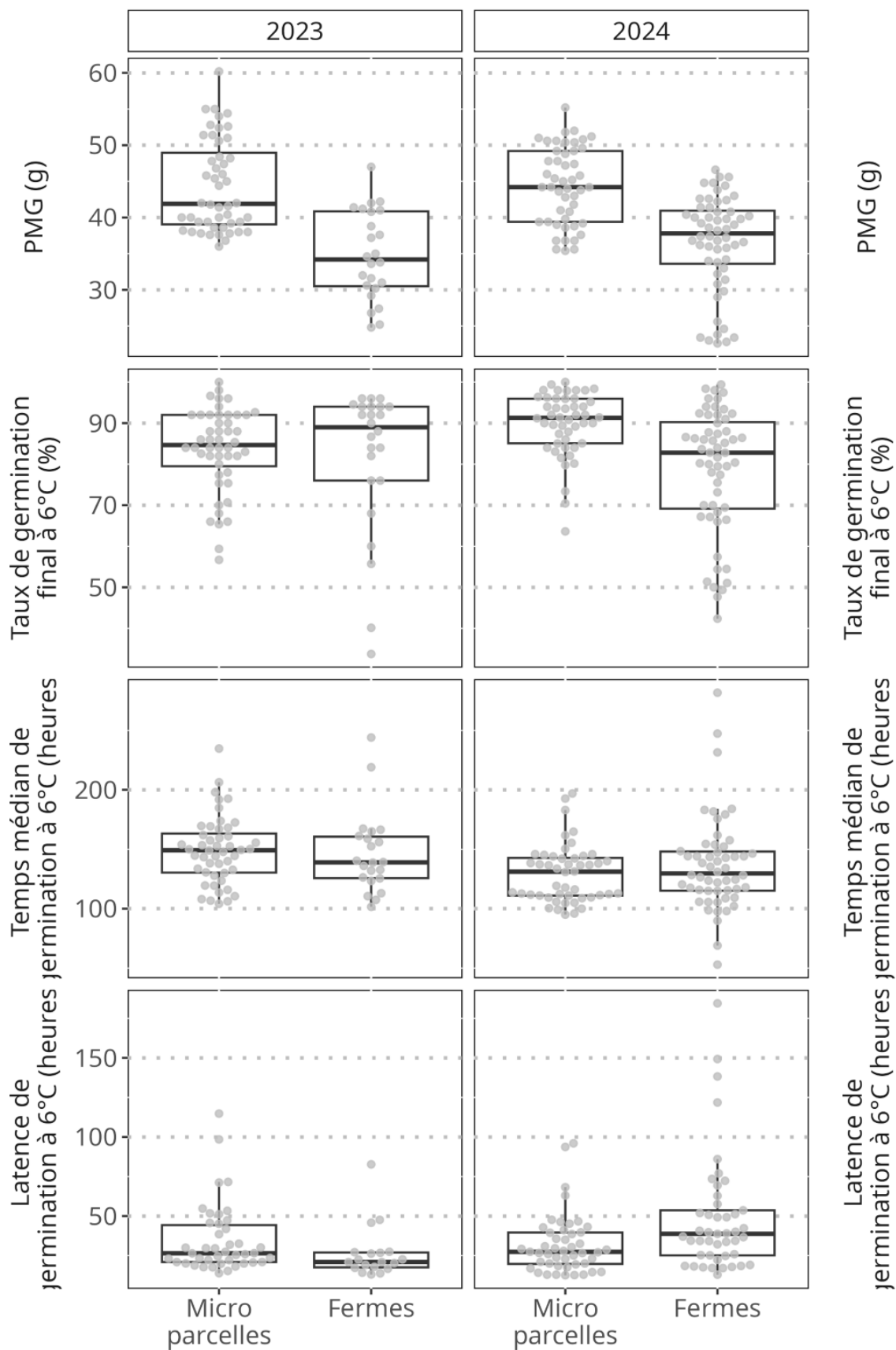


Figure 8 : Différences de distribution d'indicateurs de vigueur des semences selon l'origine des lots.

Les tests de germination en conditions froides peuvent révéler la présence de *Fusarium* sp. par une coloration rose de grains. Après imbibition, ces tests laissent aussi apparaître des dommages mécaniques sur des grains qui paraissaient entiers. Le Tableau 3 montre le nombre de lots concernés pour au moins un sous-échantillon, en fonction de l'année et de la provenance du lot. Une plus grande proportion de sous-échantillons présentant des grains cassés sont repérés parmi les lots issus de la plateforme et parmi ceux issus de fermes en 2023/24. La présence de *Fusarium* sp. est notée sur certains échantillons. Ce champignon peut causer une réduction de la faculté germinative (FNAMS et GNIS, 2018).

		Nombre total de lots observés	Observation de coloration rose de type fusariose (Nombre de lots)	Observation de grains cassés (Nombre de lots)	Observation des types de défauts sur un même lot (nombre de lots)
2023 /24	Plateforme	12	1	2	0
	Fermes	4	0	2	0
2024 /25	Plateforme	12	1	0	0
	Fermes	12	2	1	0

Tableau 3 : Nombre de lots pour lesquels une coloration rose de type « *Fusarium* » ou des grains cassés ont été observés dans au moins un sous-échantillon lors des tests de germination.

Pour conclure cette partie, la seule différence notable entre les semences de la plateforme expérimentale et les lots des fermes concerne le poids des grains. Suivant la littérature, un lien entre celui-ci et la masse sèche des plantules ou la surface des premières feuilles est probable, mais pas avec la vitesse de germination. La présence de grains endommagés mécaniquement et de fusariose dans quelques lots constituent des potentiels facteurs limitants à la faculté et la vigueur germinative.

IV. Perspectives et recommandations

A. Apprentissages concernant la sélection et la multiplication de semences pour ABC :

Sur base des résultats présentés dans ce rapport, 'Mélange d'Iran' apparaît comme la variété-population la plus prometteuse pour des systèmes d'ABC. Cela reste à confirmer dans d'autres environnements et années, notamment en cultivant la population en conditions d'ABC. 'Mélange d'Iran' est issu de la multiplication d'un bouquet d'épis offerts à un producteur du GABB49 en 2015 (Florent Mercier, communication personnelle). Les blés issus de pays méditerranéens et semi-arides sont réputés avoir un bon développement précoce comme adaptation à des périodes récurrentes de stress hydrique (Turner et Nicolas, 1998). Il est possible que les variétés population issues de ces types d'environnements soient des candidats privilégiés pour l'ABC.

La sélection de variétés avec une bonne vigueur précoce et une bonne capacité à concurrencer les adventices sont des caractères recherchés dans la sélection pour l'AB. L'ABC apporte des contraintes qui renforcent encore davantage l'importance de ce critère. Il est probable qu'une sélection sous conditions d'ABC produise des variétés-population utiles aux systèmes en AB, car plus aptes à concurrencer l'enherbement.

Des PMG inférieures, la présence de dommages mécaniques et de fusariose dans certains lots de semences constituent de potentiels facteurs limitants à la vigueur germinative et la vigueur précoce. Si jugé pertinent par les parties prenantes, de futurs travaux pourraient évaluer ces leviers pour l'amélioration de la qualité des semences produites par les réseaux impliqués. Notamment, il serait intéressant d'évaluer, en questionnant les producteurs et productrices concernés, si la présence de *Fusarium* sp. mène à des diminutions significatives de la vigueur germinative et de la levée en conditions pratiques d'AB, de leur point de vue.

Concernant la multiplication de semences paysannes en conditions d'ABC, rappelons que des bonnes conditions des culture avec une nutrition optimale des cultures porte-graine produisent généralement des semences plus grosses et denses que des cultures soumises à des stress biotiques (telles que la pression des adventices) ou abiotiques (nutrition). De multiplier des semences en condition d'ABC peut d'un côté améliorer l'adaptation de populations de blé à ces conditions, mais peut d'un autre côté limiter la qualité des semences produites, si les conditions d'ABC génèrent des stress sur la culture porte-graine. Les 2 objectifs de sélection pour l'ABC et de production de semence vigoureuses sont donc à articuler aux niveaux des fermes et/ou du collectif pour ne pas réaliser une sélection pour l'ABC aux dépens de la qualité des semences, et vice-versa.

B. Apprentissages concernant les méthodes pour évaluer les semences pour ABC :

La notation de vigueur précoce au stade 5 feuilles s'avère relativement rapide à réaliser. Selon notre expérience, il est pertinent de la réaliser à 2 personnes pour croiser les regards, car – bien que rapide à réaliser – la posture d'observation comparative de la vigueur globale peut être fastidieuse pour une personne seule, surtout lorsqu'il y a beaucoup de placettes à observer. Cette notation s'avère efficace pour différencier les peuplements les uns par rapport aux autres selon leur vigueur précoce dans un environnement donné. Pour identifier de manière fiable le niveau de vigueur précoce de variétés-population, il faudrait réaliser cette notation sur plusieurs années encore. Dans le cadre de la plateforme d'expérimentation du GABB Anjou, il faudrait dans ce cas évaluer si cette notation supplémentaire est complémentaire ou redondante avec l'évaluation « sortie de l'hiver », qui est déjà réalisée en routine.

Les cinétiques de germination à froid sont très fastidieuses et chronophages à réaliser. Aussi, il est difficile d'obtenir des conditions stables et reproductibles de température dans un réfrigérateur. Cette difficulté est exacerbée lorsqu'un grand nombre d'échantillons est testé simultanément, dû aux gradients de température dans le réfrigérateur. La vitesse de germination est modérément corrélée à la vigueur précoce au champ les deux années d'essais

(non significatif statistiquement). Le protocole préconisé par l'ISTA permet d'établir cet indice de vigueur germinative par un comptage 48h après imbibition à 15°C. L'accès à une étuve permettant des conditions de températures stable (15°C) n'est pas toujours possible pour les collectifs de semences paysannes. Pour de futures études qui chercheraient à établir la vigueur de lots de semences paysannes de blé tendre, le protocole ISTA pourrait être adapté à des conditions sans étuve dans un lieu tempéré et stable, comme une cave. Ce, afin d'établir la vitesse de germination plus efficacement et confirmer la corrélation avec la vigueur précoce au champ en conditions d'ABC.

Cette étude ne prend en compte que des indices physiologiques de vigueur, basés sur une courbe de germination. La vigueur précoce des plantules comprend aussi des aspects morphologiques, tels que la masse fraîche ou sèche des plantules et la taille des feuilles. Il peut-être pertinent, dans de futures études, de mesurer la largeur de la première feuille (voir López-Castañeda 1996) et vérifier le lien de ce paramètre avec la vigueur précoce au champ. Cette mesure peut être prise au champ et constituer une donnée complémentaire à la vitesse de germination. Sa corrélation avec la vigueur précoce et l'aptitude à la culture en ABC devrait d'abord être étudiée dans les conditions d'ABC en Pays de la Loire.

Remerciements

Nous tenons à remercier Olivier Leprince d'Agrocampus Ouest pour ses nombreux conseils concernant les tests de vigueur germinative et Lisa Kucek de l'Agricultural Research Service de l'USDA pour ses conseils sur la notation de vigueur précoce au champ. Un grand Merci aux producteurs et productrices ayant contribué des échantillons de semences pour l'expérimentation.

Bibliographie

- Basu, Sudipta, et Steven P. C. Groot. « Seed Vigour and Invigoration ». In *Seed Science and Technology*, édité par Malavika Dadlani et Devendra K. Yadava. Springer Nature Singapore, 2023. https://doi.org/10.1007/978-981-19-5888-5_4.
- Botwright, T. L., A. G. Condon, G. J. Rebetzke, et R. A. Richards. « Field evaluation of early vigour for genetic improvement of grain yield in wheat ». *Australian Journal of Agricultural Research* 53, n° 10 (2002): 1137-45. <https://doi.org/10.1071/AR02007>.
- Bruggen, A. H. C. van, et M. R. Finckh. « Plant Diseases and Management Approaches in Organic Farming Systems ». *Annual Review of Phytopathology* 54, n° 1 (2016): 25-54. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080615-100123>.
- Chan, Ky, Ja Mead, et Wp Roberts. « Poor Early Growth of Wheat Under Direct Drilling ». *Australian Journal of Agricultural Research* 38, n° 4 (1987): 791. <https://doi.org/10.1071/AR9870791>.
- Chan, KY, JA Mead, WP Roberts, et PTW Wong. « The effect of soil compaction and fumigation on poor early growth of wheat under direct drilling ». *Australian Journal of Agricultural Research* 40, n° 2 (1989): 221-28. <https://doi.org/10.1071/AR9890221>.
- « Chapter 5: The Germination Test ». *International Rules for Seed Testing* 2018, n° 1 (2018): 1-62. <https://doi.org/10.15258/istarules.2018.05>.
- Cornish, Ps, et Jr Lymbery. « Reduced Early Growth of Direct Drilled Wheat in Southern New South Wales: Causes and Consequences ». *Australian Journal of Experimental Agriculture* 27, n° 6 (1987): 869. <https://doi.org/10.1071/EA9870869>.
- Cornish, Ps, et Jr Lymbery. « Reduced Early Growth of Direct Drilled Wheat in Southern New South Wales: Causes and Consequences ». *Australian Journal of Experimental Agriculture* 27, n° 6 (1987): 869. <https://doi.org/10.1071/EA9870869>.
- Cutforth, H. W., et B. G. McConkey. « Stubble height effects on microclimate, yield and water use efficiency of spring wheat grown in a semiarid climate on the Canadian prairies ». *Canadian Journal of Plant Science* 77, n° 3 (1997): 359-66. <https://doi.org/10.4141/P96-153>.
- Farahani, Hossein Aliabadi, Payam Moaveni, et Kasra Maroufi. « Effect of Seed Size on Seedling Production in Wheat (*Triticum Aestivum* L.) ». *Advances in Environmental Biology*, 1 juin 2011, 1711-16.
- FNAMS et GNIS. « Gérer le risque fusariose en production de semences de céréales à paille - NTC35 ». Note technique. FNAMS, 2018. <https://www.semae.fr/uploads/2018-04-NTC35-fusa.pdf>.
- Grahmann, K., N. Verhulst, A. Buerkert, I. Ortiz-Monasterio, et B. Govaerts. « Nitrogen use efficiency and optimization of nitrogen fertilization in conservation agriculture. » *CABI Reviews* 2013 (février 2014): 1-19. <https://doi.org/10.1079/PAVSNNR20138053>.
- Honsdorf, Nora, Nele Verhulst, Jose Crossa, Mateo Vargas, Bram Govaerts, et Karim Ammar. « Durum Wheat Selection under Zero Tillage Increases Early Vigor and Is Neutral to Yield ». *Field Crops Research* 248 (mars 2020): 107675. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.107675>.
- ISTA. « Chapter 5: The germination test ». In *International Rules for Seed Testing* 2018. 2018.

- ISTA. « Chapter 15: Seed Vigour Testing ». *International Rules for Seed Testing* 2022, n° 1 (2022): i-15-20. <https://doi.org/10.15258/istarules.2022.15>.
- Kissing Kucek, L., E. B. Mallory, H. M. Darby, J. C. Dawson, et M. E. Sorrells. « Breeding Wheat for Weed-Competitive Ability: I. Correlated Traits ». *Euphytica* 217, n° 11 (2021): 202. <https://doi.org/10.1007/s10681-021-02930-9>.
- Klaedtke, Stephanie M., Frédéric Rey, et Steven P. C. Groot. « Designing a Seed Health Strategy for Organic Cropping Systems, Based on a Dynamic Perspective on Seed and Plant Health ». *Sustainability* 14, n° 17 (2022): 10903. <https://doi.org/10.3390/su141710903>.
- Lafond, G. P., et R. J. Baker. « Effects of Genotype and Seed Size on Speed of Emergence and Seedling Vigor in Nine Spring Wheat Cultivars ». *Crop Science* 26, n° 2 (1986): crops1986.0011183X002600020027x. <https://doi.org/10.2135/cropsci1986.0011183X002600020027x>.
- Les décompacté.e.s de l'ABC. « Agriculture Biologique de Conservation ». *Les décompacté.e.s de l'ABC*, 2025. <https://decompactes-abc.org/agriculture-biologique-conservation/>.
- López-Castañeda, C., R. A. Richards, G. D. Farquhar, et R. E. Williamson. « Seed and Seedling Characteristics Contributing to Variation in Early Vigor among Temperate Cereals ». *Crop Science* 36, n° 5 (1996): crops1996.0011183X003600050031x. <https://doi.org/10.2135/cropsci1996.0011183X003600050031x>.
- López-Castañeda, C., R. A. Richards, G. D. Farquhar, et R. E. Williamson. « Seed and Seedling Characteristics Contributing to Variation in Early Vigor among Temperate Cereals ». *Crop Science* 36, n° 5 (1996): 1257-66. <https://doi.org/10.2135/cropsci1996.0011183X003600050031x>.
- Mian, M. a. R., et E. D. Nafziger. « Seed Size and Water Potential Effects on Germination and Seedling Growth of Winter Wheat ». *Crop Science* 34, n° 1 (1994): 169-71. <https://doi.org/10.2135/cropsci1994.0011183X003400010030x>.
- Onofri, Andrea, Mohsen B. Mesgaran, et Christian Ritz. « A Unified Framework for the Analysis of Germination, Emergence, and Other Time-to-Event Data in Weed Science ». *Weed Science* 70, n° 3 (2022): 259-71. <https://doi.org/10.1017/wsc.2022.8>.
- Rebetzke, G. J., J. A. Kirkegaard, M. Watt, et R. A. Richards. « Genetically Vigorous Wheat Genotypes Maintain Superior Early Growth in No-till Soils ». *Plant and Soil* 377, n° 1 (2014): 127-44. <https://doi.org/10.1007/s11104-013-1985-5>.
- Rebetzke, G. J., et R. A. Richards. « Genetic improvement of early vigour in wheat ». *Australian Journal of Agricultural Research* 50, n° 3 (1999): 291-302. <https://doi.org/10.1071/A98125>.
- Réseau Semences Paysannes. « Réseau Semences Paysannes - Les Semences Paysannes ». 2025. <https://www.semencespaysannes.org/les-semences-paysannes.html>.
- Riley, H. C. F. « Soil mineral-N and N-fertilizer requirements of spring cereals in two long-term tillage trials on loam soil in southeast Norway ». *Soil and Tillage Research* 48, n° 4 (1998): 265-74. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(98\)00165-2](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(98)00165-2).
- Simpfendorfer, S., J. A. Kirkegaard, D. P. Heenan, et P. T. W. Wong. « Reduced early growth of direct drilled wheat in southern New South Wales - role of root inhibitory pseudomonads ». *Australian Journal of Agricultural Research* 53, n° 3 (2002): 323-31. <https://doi.org/10.1071/AR01097>.
- Tessier, S., K. E. Saxton, R. I. Papendick, et G. M. Hyde. « Zero-tillage furrow opener effects on seed environment and wheat emergence ». *Soil and Tillage Research* 21, n° 3 (1991): 347-60. [https://doi.org/10.1016/0167-1987\(91\)90030-2](https://doi.org/10.1016/0167-1987(91)90030-2).
- Turner, Neil C., et Marc E. Nicolas. « Early vigour: a yield-positive characteristic for wheat in drought-prone mediterranean-type environments ». *Crop improvement for stress tolerance*. (Eds RK Behl, DP Singh, GP Lodhi) pp, 1998, 47-62.
- Verhulst, N., B. Govaerts, E. Verachtert, et al. « Conservation Agriculture, Improving Soil Quality for Sustainable Production Systems? » In *Food Security and Soil Quality*. CRC Press, 2010.
- Verhulst, Nele, Adrian Carrillo-García, Carina Moeller, Richard Trethowan, Ken D. Sayre, et Bram Govaerts. « Conservation Agriculture for Wheat-Based Cropping Systems under Gravity Irrigation: Increasing

- Resilience through Improved Soil Quality». *Plant and Soil* 340, n° 1 (2011): 467-79. <https://doi.org/10.1007/s11104-010-0620-y>.
- Vyn, T. J., B. A. Rimbault, et J. C. Sutton. « Crop sequence and tillage effects on winter wheat development and yield ». *Canadian Journal of Plant Science* 71, n° 3 (1991): 669-76. <https://doi.org/10.4141/cjps91-099>.
- Vyn, T. J., B. A. Rimbault, et J. C. Sutton. « Crop sequence and tillage effects on winter wheat development and yield ». *Canadian Journal of Plant Science* 71, n° 3 (1991): 669-76. <https://doi.org/10.4141/cjps91-099>.
- Wuest, Stewart B., Stephan L. Albrecht, et Katherine W. Skirvin. « Crop residue position and interference with wheat seedling development ». *Soil and Tillage Research* 55, n° 3 (2000): 175-82. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(00\)00116-1](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(00)00116-1).

Rédaction du rapport : Stephanie Klaedtke (ITAB), Bastien Paix (GABB49)

Relecture : Julien Bouriga (GAB44), Florent Mercier (GABB49), Sophie Quie (RSP)

Expérimentation : Stephanie Klaedtke, Samuel Gaudin, Gaspard de Tournemire (ITAB), Florent Mercier, Adrien Lisée, Maud Lepla, Enora Cieslak et Bastien Paix (GABB49)

Analyse de données : Samuel Gaudin, Gaspard de Tournemire, Stephanie Klaedtke (ITAB)

Conception graphique : Elodie Weber (ITAB)

Edition : ITAB – avril 2026

Pour citer ce document : Stephanie Klaedtke, Bastien Paix, Samuel Gaudin, Gaspard de Tournemire, Julien Bouriga, Sophie Quie, Adrien Lisée, Maud Lepla, Enora Cieslak, Florent Mercier (2026). La vigueur des semences de blé tendre en tant que levier pour renforcer les systèmes articulant agriculture biologique de conservation et semences paysannes. Rapport d'expérimentation dans le cadre du projet SOLBLEBIO : Identifier et sélectionner des variétés paysannes de blé tendre adaptées à la culture en agriculture bio de conservation des sols en Pays de la Loire.

<https://orgprints.org/id/eprint/57586>

Licence : CC BY-NC-ND 4.0



Le document « La vigueur des semences de blé tendre en tant que levier pour renforcer les systèmes articulant agriculture biologique de conservation et semences paysannes. Rapport d'expérimentation dans le cadre du projet SOLBLEBIO : Identifier et sélectionner des variétés paysannes de blé tendre adaptées à la culture en agriculture bio de conservation des sols en Pays de la Loire. » © 2026 par Stephanie Klaedtke, Bastien Paix, Samuel Gaudin, Gaspard de Tournemire, Julien Bouriga, Sophie Quie, Adrien Lisée, Maud Lepla, Enora Cieslak, Florent Mercier est protégé par la licence CC BY-NC-ND 4.0. Pour en savoir plus sur cette licence, visitez la page <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>