

RÉSULTATS D'EXPÉRIMENTATION

Qualité de levée des variétés

Les températures froides du printemps 2021 n'ont pas été propices à une implantation rapide de la betterave. Ces conditions climatiques ont entraîné des comportements variétaux plus marqués qu'en année normale.

La qualité de levée conditionne la productivité finale des betteraves. Après les semis, l'ITB réalise 4 comptages jusqu'à la mise en place de la population définitive pour bien apprécier différents critères : taux de plantes levées, vitesse de levée, population finale. Les résultats détaillés par variété sont présentés en page suivante.

Réseau d'expérimentations 2021

En 2021, 86 variétés sont testées dans le réseau de post-inscription ITB-SAS : 46 variétés tolérantes à la rhizomanie, 32 variétés tolérantes à la rhizomanie et au nématode, huit variétés tolérantes à la rhizomanie et au rhizoctone brun. Le réseau est composé de 32 essais pour évaluer les variétés tolérantes à la rhizomanie et de 40 essais pour évaluer les variétés spécifiques, dans différentes conditions de pression nématode ou rhizoctone brun. En 2021, le gel a entraîné l'abandon de 21 % des essais qui ne seront pas récoltés en raison de pertes de pieds trop importantes. Le taux de levée moyen de 92 % est assez faible, mais la qualité de levée garde un niveau satisfaisant.

Phénotypage par drone des hétérogénéités de développement

Depuis le programme AKER, l'ITB dispose de nouvelles techniques d'analyse pour caractériser les variétés. Le drone multi-rotor est un outil très flexible qui permet de photographier les essais sous toutes les coutures en quelques minutes. Pour chaque micro-parcelle identifiée, différents algorithmes de traitement d'image vont mesurer les caractéristiques des plantes. Des indicateurs comme la couverture foliaire permettent d'identifier les variétés couvrant rapidement le sol. L'ITB peut également, depuis 2018, identifier chaque plant de betterave et calculer des variables plus précises. Ce travail est réalisé par des réseaux de neurones profonds (technique dite de « *deep learning* ») entraînés à reconnaître des bouquets foliaires à partir de quatre feuilles jusqu'à la couverture. L'indicateur d'hétérogénéité des variétés est ensuite calculé en normalisant la variabilité de la surface foliaire des plantes. Il est ainsi nul pour une micro-parcelle dont les plants se développeraient tous à la même vitesse, et il augmente au fur et à mesure des écarts de croissance au sein du

même peuplement. Ce coefficient d'hétérogénéité permet de mettre en lumière les différences de stades qui peuvent potentiellement pénaliser la suite de l'itinéraire cultural : du désherbage mécanique jusqu'à la récolte en cas de calibres hétérogènes.

Betteraves montées : veillez à les supprimer !

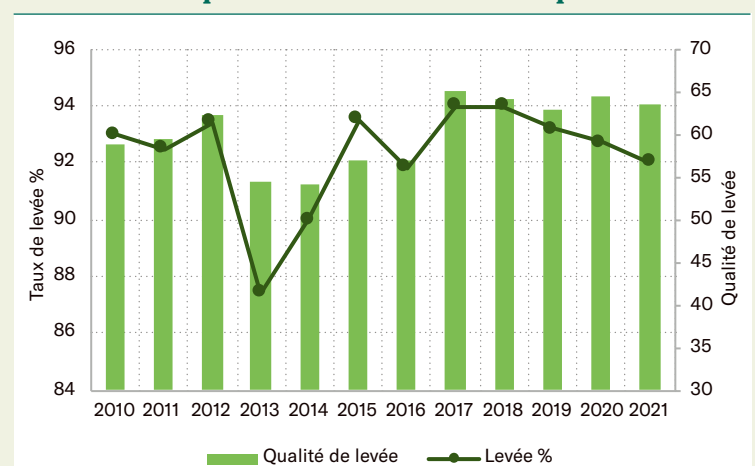
Il n'y a pas que les gelées qui initient la montaison. C'est une combinaison de températures froides inférieures à 5 °C, suivies par un nombre insuffisant de températures chaudes, qui peuvent annuler la vernalisation. En 2021, le nombre de jours avec des températures inférieures à 5 °C après le semis est largement suffisant pour entraîner la vernalisation des betteraves. Puis, le nombre de jours avec des températures chaudes supérieures à 25 °, qui annulent la vernalisation, est suffisant sur la plupart du territoire. Néanmoins, il reste un risque non

négligeable en bordure maritime. Sachant qu'une betterave montée produit en moyenne 18 plantes adventices, il faudra maintenir une grande vigilance et les éliminer.

Les montées à graines sont rares à ce jour, issues soit de plantes adventices, soit de pollutions au moment de la production des semences. Elles sont alors situées dans le rang des betteraves.

Il existe un risque de vernalisation s'il y a plus de 17 jours de températures minimales inférieures à 5 °C entre le semis et le 90^e jour de végétation. Si ce seuil est atteint, la montée à graine peut être annulée quand le cumul de températures maximales supérieures à 25 °C est d'au moins 7 jours entre le 60^e et le 120^e jour de végétation.

Évolution de la qualité de levée des variétés depuis 12 ans



CHIFFRES CLÉS

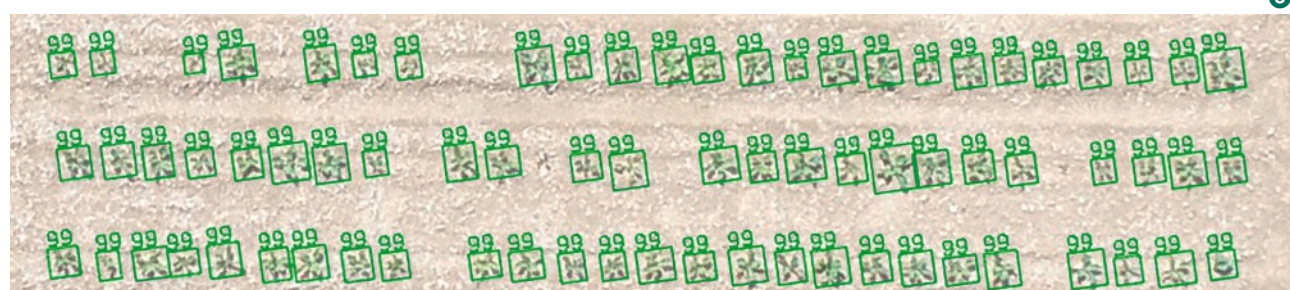
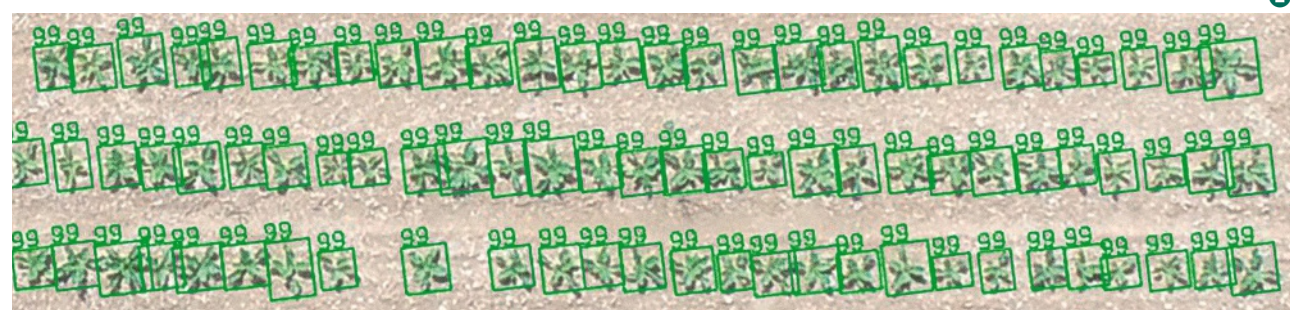
92 %

Taux de levée moyen des variétés en 2021.

86

Variétés commerciales testées.

Reconstitution d'une placette d'expérimentation à partir d'images par drone



La première placette correspond à une variété qui a levé rapidement, avec une bonne homogénéité de développement entre plantes (coefficient d'hétérogénéité=30 %)

La seconde placette correspond à une variété avec un taux de levée plus faible, une levée plus lente et une forte hétérogénéité de développement entre plantes (coefficient d'hétérogénéité=60 %)

Les tableaux ci-dessous présentent les résultats obtenus pour l'ensemble des variétés expérimentées. Quatre critères sont pris en compte :

- **Le taux de levée** calculé par rapport au nombre de graines semées. Il résulte d'un regroupement de 27 essais ITB-SAS pour les variétés rhizomanie, de 28 essais pour les variétés nématodes et de 9 essais pour les variétés rhizoctone brun.
- **La qualité de levée** est un critère

qui intègre la vitesse de levée et la population finale. Il est calculé dans les essais ITB à partir de 4 comptages successifs des plantes au cours de la levée, jusqu'à atteindre la population finale. La qualité de levée est l'aire sous la cinétique de levée. Plus la valeur est élevée, plus la variété lève vite et avec un niveau de population élevé.

- **La vitesse de levée** est le temps thermique qui sépare les stades entre

10% et 90% de levée. Plus la valeur est élevée, plus la variété lève lentement. Ces deux derniers critères résultent d'un regroupement de 11 essais ITB-SAS pour les variétés rhizomanie, de 12 essais pour les variétés nématodes et de 6 essais pour les variétés rhizoctone brun.

- **L'hétérogénéité entre plantes** est décrite dans la page précédente. Plus le pourcentage est élevé, plus la variété est hétérogène.

CE QU'IL FAUT RETENIR



- **55 essais** ont été valorisés pour évaluer la qualité de levée de 86 variétés commerciales
- **La vitesse de levée** des variétés est plus lente en 2021 en raison des conditions climatiques froides
- **Il existe de plus grands écarts entre variétés** cette année, que ce soit sur le critère de qualité de levée que d'hétérogénéité entre plantes.

Résultats de levées 2021

	Regroupement des essais ITB/SAS		Regroupement des essais ITB			
	Levée	Qualité de la levée	Vitesse de levée (entre 10 et 90% de la levée finale)	Hétérogénéité entre plantes		
	%		°C.jours	%		
VARIETES RHIZOMANIE						
Variétés confirmées (2 ans et plus)	FD CRAWL	93	66	48	36 %	
	LIBELLULE	92	65	48	36 %	
	TISSERIN	92	65	45	37 %	
	AUROCH	92	65	46	38 %	
	CHAMOIS	92	65	48	38 %	
	RAISON	91	65	45	36 %	
	TOTEM	91	65	51	33 %	
	CURIE	90	64	49	35 %	
	EPERVIER	92	64	50	39 %	
	FD JAVELOT	92	64	49	39 %	
	FD SURF	92	64	45	41 %	
	FRISBEE	91	64	49	38 %	
	JOCKO	91	64	49	38 %	
	MOBIDICK	90	64	50	35 %	
	NOVALINA KWS	91	64	59	35 %	
	STANLEY	91	64	50	37 %	
	BTS2045	91	63	47	36 %	
	CALLEDIA KWS	89	63	46	42 %	
	DANDRIEU	89	63	48	38 %	
	FLORENTINA KWS	91	63	45	35 %	
	GIONO	91	63	51	37 %	
	SAMOURAI	91	63	43	38 %	
	CELCIUS	89	62	48	32 %	
	PLATINA KWS	89	62	47	38 %	
	BTS7845	90	62	45	33 %	
	COMPETITA KWS	90	62	48	38 %	
	ORIGAN	91	62	46	45 %	
	JELLERA KWS	89	61	51	38 %	
	RUMBA	90	61	42	43 %	
	GISELLINA KWS	87	60	44	44 %	
	Variétés nouvelles	ARCHIPEL	93	67	52	39 %
		FD RAFTING	92	67	53	33 %
		AZURA KWS	90	65	51	34 %
BTS 3975		93	65	50	36 %	
DRYAK		92	65	54	36 %	
FD AILLIER		90	65	52	38 %	
HIRONDELLE		89	65	54	36 %	
FD MEDAILLE		91	64	47	35 %	
GOLETTE		91	64	51	37 %	
IZARRA KWS		90	64	50	35 %	
CAMELEON		87	63	52	38 %	
FD VOLLEY		89	63	49	40 %	
INSPIREA KWS		91	63	46	33 %	

	Regroupement des essais ITB/SAS		Regroupement des essais ITB		
	Levée	Qualité de la levée	Vitesse de levée (entre 10 et 90% de la levée finale)	Hétérogénéité entre plantes	
	%		°C.jours	%	
Variétés nouvelles	YOLE	92	63	45	34 %
	JIMMY	89	62	49	33 %
	BTS 4645	89	58	50	46 %
VARIETES NEMATODES					
Variétés confirmées (2 ans et plus)	PAPRIKA	92	65	51	36 %
	CAMELIA	91	64	54	40 %
	FD EXPLOIT	91	64	52	39 %
	FD KUNG FU	92	64	51	37 %
	MATISSE	90	64	57	44 %
	CYPRES	91	63	49	39 %
	AZELIA KWS	87	61	59	45 %
	BTS7640N	87	61	54	47 %
	LUNELLA KWS	87	60	53	47 %
	ATHENEA	86	60	57	40 %
	BTS 2660 N	88	60	47	55 %
	SATIE	87	60	56	41 %
	ANNABELLA KWS	87	59	51	47 %
	CAPRIANNA KWS	86	59	51	54 %
	DINGHY	86	59	54	43 %
	BTS890	83	55	57	59 %
	BTS 1975 N	82	54	55	51 %
	ARUM	61	41	60	54 %
	BTS 4915 N	91	65	51	42 %
	PIVOINE	92	65	58	38 %
	FD RUNNING	91	64	55	37 %
	GALION	89	64	54	36 %
	MENTHE	90	64	56	42 %
	BLANDINA KWS	90	63	56	42 %
	FD WINNING	88	63	62	41 %
	LEONTINA KWS	90	63	50	35 %
	BTS 6975 N	88	62	52	41 %
	ASTURIDIA KWS	88	61	48	43 %
	RAFT	88	61	55	40 %
	CHENE	85	60	53	38 %
	TERREANA KWS	87	60	47	43 %
	GOYAVE	83	59	61	36 %
	VARIETES RHIZOCTONE BRUN				
Variétés confirmées	RAINETTE	90	64	67	38 %
	DAVIDA KWS	91	63	56	40 %
	FD OUTSIDER	91	63	74	40 %
	MYRIA KWS	90	60	66	43 %
	BTS2770RHC	87	59	59	47 %
	NAVAJO	83	57	68	44 %
	REPTILE	92	64	64	35 %
Variétés nouvelles	CERELIA KWS	84	55	67	53 %

RECHERCHE EN COURS

Comment est décrit le réseau d'essais variétés de l'ITB ?

Suite à des résultats encourageants obtenus en betterave dans le cadre du projet Caravage, l'ITB a décidé de poursuivre l'analyse des réseaux de post inscription des variétés menée par l'institut.

L'objectif de cette étude est de décrire une partie des sites d'expérimentation afin de mieux connaître le réseau post inscription et d'étudier également le comportement des variétés, dans des conditions de culture bien caractérisées.

Sélectionner le réseau à analyser

Afin de réaliser cette étude, il a fallu sélectionner un ensemble d'essais rassemblant différentes conditions. Le premier point concerne la répartition géographique ; les 27 essais choisis pour la suite du travail représentent une bonne partie de l'ensemble des zones de culture de la betterave (figure 1). Un autre point d'intérêt porte sur le choix des années à étudier. Pour cette analyse, le choix s'est porté sur les années 2016, 2017 et 2018. En effet, ces années présentent des conditions climatiques contrastées (figure 2). L'année 2016 s'est accompagnée d'un excès d'eau au printemps et d'une température relativement faible. L'année 2017 représentait une année moyenne d'un point de vue climatique tant par la température que par la présence d'eau. L'année 2018, quant à elle, a subi une forte sécheresse durant l'été, décrite par une forte température et par un manque d'eau disponible. Le choix de ces 3 années permet également d'obtenir un maximum de variétés en commun à toutes les expérimentations. On retrouve 21 variétés dont on a mesuré le rendement racine et la richesse associés

CHIFFRES CLÉS

27

Essais analysés.

21

Variétés en commun.

pour chaque essai. Les résultats de ces variétés représentent également le contraste observé entre les 3 années (figure 3). En 2016, les variétés ont été faiblement touchées par l'excès d'eau au printemps ; elles présentent un rendement racine moyen et une belle diversité de richesse. En 2017, le rendement racine a été exceptionnellement élevé et la richesse présente aussi une belle diversité. En 2018, fortement touchées par la sécheresse, les variétés ont eu un rendement racine assez bas, quelque peu rattrapé par une richesse plus élevée.

Pour chacun des sites sélectionnés, un grand nombre d'indicateurs est rassemblé. Ces indicateurs représentent différents types de stress à étudier (stress hydrique, stress azoté, stress lié à la lumière, à la température ou à la durée des cycles). Les indicateurs sont répartis en deux types reflétant les données utilisées et la difficulté d'obtention : soit des indicateurs phénoclimatiques qui sont généralement faciles à obtenir, soit des indicateurs agronomiques, qui sont plus coûteux. Chacun de ces indicateurs est calculé sur différentes phases de culture de la betterave : du semis à la levée (P1), de la levée à la couverture foliaire (P2), de la couverture foliaire à la récolte (P3) et sur l'ensemble du cycle (CC).

Décrire les sites d'expérimentation

Pour tester le pouvoir descriptif des indicateurs par rapport aux variations du rendement, une analyse statistique est établie. Elle consiste en l'utilisation d'un modèle de type PLS (Partial Least Squares regression) pour expliquer le rendement et le poids racine à partir des indicateurs environnementaux. Pour mesurer la performance du modèle, deux indices de performances sont calculés : le coefficient de détermination du modèle (R^2) et l'erreur

Suite en page 19 →

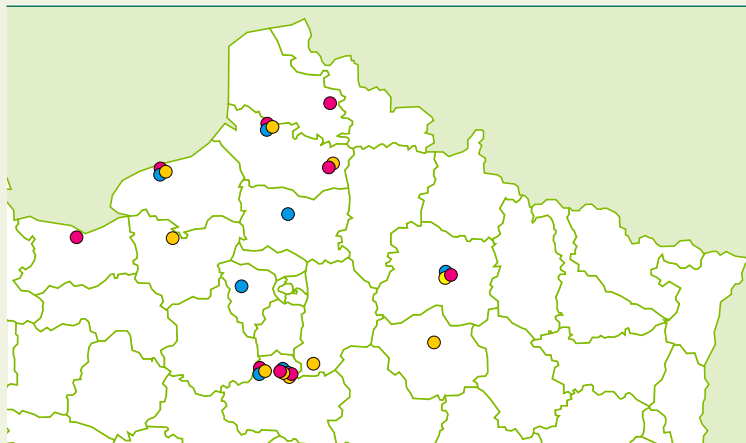
LE PROJET CARAVAGE

Ce projet, terminé en décembre 2020, avait pour objectif de mieux caractériser les variétés pour prédire leurs performances dans une large gamme d'environnements. Ce travail a été réalisé sur diverses cultures (betterave, maïs, pois, tournesol) dans les réseaux d'inscription en 2014 et en 2015 et de post inscription en 2016. L'étude s'est concentrée sur l'analyse des stress abiotiques (indépendants des êtres vivants), et en premier lieu le stress hydrique. Ce projet a permis d'obtenir une description du réseau ainsi que des informations sur les interactions entre variétés et sites d'expérimentation. Les résultats de ce projet sont très prometteurs, notamment pour la betterave qui obtient les résultats les plus précis.

QU'EST-CE QU'UN INDICATEUR ?

Un indicateur est un outil d'évaluation qui permet d'obtenir des informations sur les conditions de croissance tout au long de la culture. Cela comprend l'ensemble des variables climatiques, mais aussi des informations sur la durée des cycles, sur les capacités d'absorption de minéraux, sur les maladies, etc. Ces indicateurs peuvent être calculés uniquement à partir de données climatiques et phénologiques (stades de croissance et seuils de tolérance), l'indicateur est alors dit « phénoclimatique », ou calculés à partir de données agronomiques et nécessitant le recours à des modèles de culture, l'indicateur est alors dit « agronomique ».

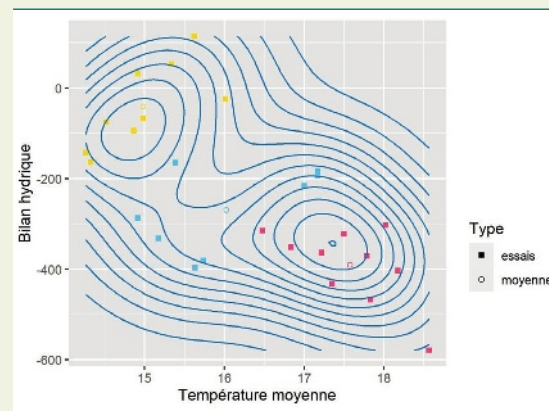
Répartition géographique des essais analysés (figure 1)



● 2016 ● 2017 ● 2018

Les essais sélectionnés pour l'analyse sont répartis dans la surface de culture de la betterave sucrière.

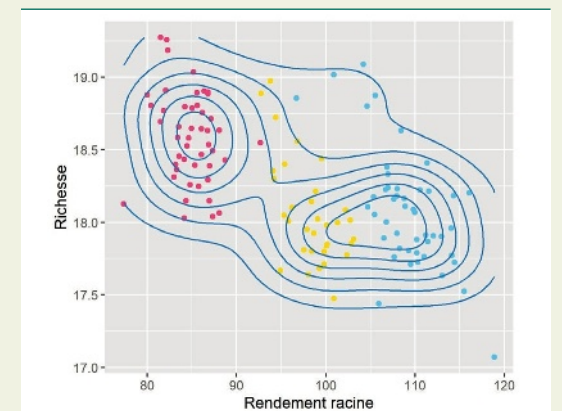
Description climatique par année des essais analysés (figure 2)



● 2016 ● 2017 ● 2018

Les essais sélectionnés pour l'analyse reflètent le contraste climatique des trois années choisies.

Description par année des variétés étudiées (figure 3)



● 2016 ● 2017 ● 2018

Les résultats des variétés communes à tous les essais analysés reflètent le contraste climatique des trois années choisies.

de prédiction (RMSEP). Le modèle obtenu a un R^2 de 0,54 et un RMSEP de 10,9 t/ha (figure 4).

A partir des indicateurs, les sites d'expérimentation sont répartis dans un arbre de classification (figure 5). La combinaison de l'expertise et de l'analyse du pouvoir explicatif du nombre de groupes sur la variation de rendement a permis de séparer les sites en trois groupes distincts, expliquant 53 % de la variation du rendement. Ces trois groupes ainsi créés peuvent ensuite être décrits par les indicateurs sélectionnés : le groupe 1 rassemblant les essais de 2018 est décrit comme un environnement avec des températures et un rayonnement plus élevés que la moyenne des autres essais et un rendement racine ainsi qu'un bilan hydrique plus faible que la moyenne des autres essais ; le groupe 2 regroupant une partie des essais de 2017 est décrit comme un environnement avec un rendement racine et un bilan hydrique en P3 supérieur à la moyenne des autres essais ainsi qu'un bilan hydrique en P1 inférieur à la moyenne des autres essais ; le groupe 3, dans lequel on retrouve tous les essais de 2016 et une partie des essais de 2017, est décrit comme un environnement avec un bilan hydrique en P1 et en P2 plus élevé que la moyenne des autres essais et une température plus faible que la moyenne des autres essais.

C'est un premier résultat intéressant qui correspond bien aux informations dont on dispose sur les différents sites d'expérimentation.

Faire un lien entre variétés et sites d'expérimentation

La suite de cette étude consiste à décrire le lien entre les variétés et les environnements associés. À cette fin, pour chaque site d'expérimentation, chaque variété va être comparée aux autres variétés cultivées au même endroit ; c'est l'analyse des interactions génotype-environnement (IGE). De la même manière que précédemment, on peut établir un arbre de classification des sites d'expérimentation en se basant cette fois sur le comportement des variétés sur ce site (figure 6). Afin d'expliquer les 52 % de la variation du rendement racine, l'arbre doit être cette fois séparé en six groupes, contre trois groupes pour l'arbre de classification fait à partir des indicateurs environnementaux. Cela peut indiquer une faible importance des IGE dans le réseau sélectionné.

CE QU'IL FAUT RETENIR

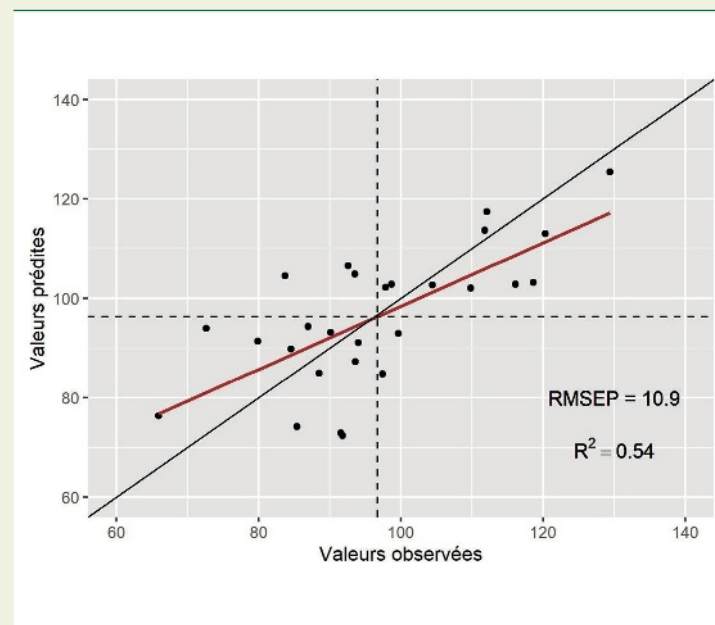


Les indicateurs environnementaux de stress hydrique et azoté permettent de décrire le réseau d'essais des variétés ITB en expliquant 53 % de la variation du rendement.

Il est possible d'étudier le comportement des variétés sur les différents essais bien que les interactions entre variétés et sites d'expérimentation soient peu marquées.

Pour répondre à une préoccupation majeure actuelle, des travaux similaires seront reproduits sur des essais spécifiques au stress hydrique.

Dispersion des valeurs de rendements racine prédits en fonction des valeurs observées (figure 4)

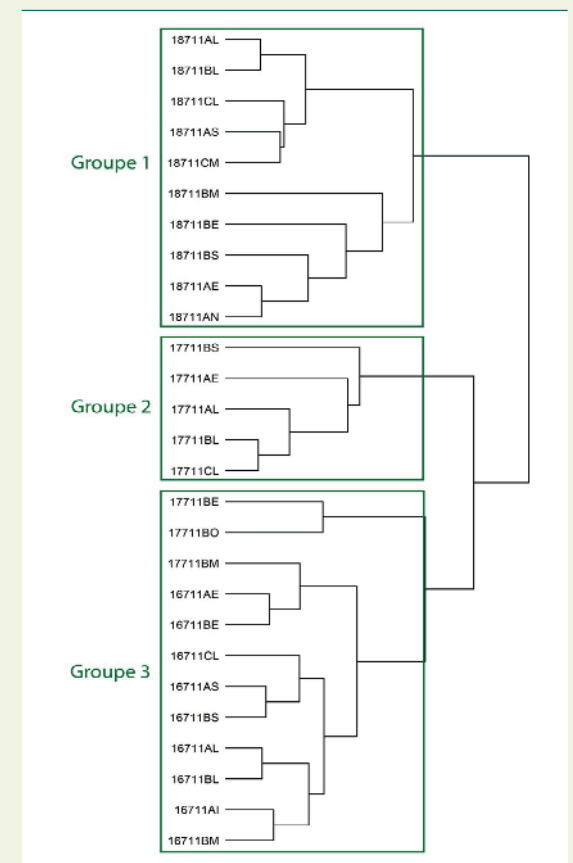


Le modèle permettant de prédire les valeurs de rendement racine en fonction des indicateurs environnementaux de la liste agroclimatique a un coefficient de détermination de 0,54 et une erreur de prédiction de 10,9.

Les groupes formés sont très hétérogènes, certains essais se retrouvent même isolés. Il s'agit d'essais spécifiques sur lesquels on retrouve des stress particuliers (sites à forte pression rhizomanie ou forte présence de cercosporiose) qui ne sont pas liés à des stress abiotiques. Contrairement à la classification précédente, les essais de 2018 sont répartis dans plusieurs groupes et sont ainsi mélangés aux essais de 2017. Les essais de 2016, quant à eux, sont presque tous rassemblés dans un seul groupe. Pour chaque groupe, il est possible d'étudier si les indicateurs environnementaux sont significativement différents de la moyenne. Ainsi, pour le groupe 1, les indicateurs de stress hydrique des P1 et P2 sont plus faibles que la moyenne des autres essais ; pour le groupe 4, les indicateurs de stress hydrique de la P3 sont plus élevés que la moyenne des autres essais. En revanche, pour le groupe 2, aucun indicateur ne ressort significativement ; cela signifie que ce ne sont pas les indicateurs que l'on a sélectionnés qui définissent ce groupe. Il est possible que ce groupe soit lié à un stress qui n'a pas été étudié dans l'analyse.

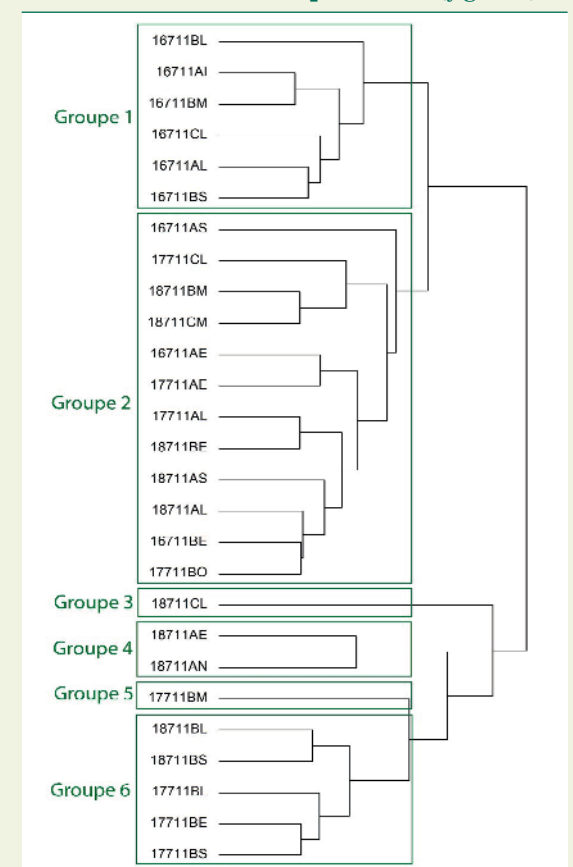
Enfin, lors de l'analyse, il est important d'étudier les corrélations qui existent entre les différents indicateurs sélectionnés mais aussi avec d'autres indicateurs qui ne sont pas utilisés dans l'étude. En effet, pour le groupe 5, par exemple, un indicateur lié à l'irrigation en P3 est significativement différent des autres essais. Cet indicateur est fortement corrélé à la notation de gravité cercosporiose évaluée chaque année par les experts sur le terrain. Malgré les faibles IGE détectés dans le réseau étudié, des informations sur la structure des expérimentations et sur le comportement des variétés par rapport à celle-ci ont pu être mises en valeur. Afin d'aller plus loin dans l'étude de la caractérisation du réseau d'essais post inscription de l'ITB, notamment concernant le stress hydrique qui est une préoccupation majeure actuelle, ces études vont également être réalisées sur des essais spécifiques au stress hydrique.

Classification des essais par les indicateurs (figure 5)



A l'aide des indicateurs environnementaux choisis, les essais sont divisés en trois groupes représentant 53 % de la variation du rendement.

Classification des essais par les IGE (figure 6)



En comparant le classement des variétés sur chaque site d'expérimentation, les essais sont divisés en 6 groupes expliquant 52 % de la variation du rendement.