



**HAL**  
open science

## Diversification du réseau CTPS pour une meilleure caractérisation de l'adaptation des variétés de blé tendre à des itinéraires techniques à hautes performances environnementales

Aurelie Mailliard, V. Cadot, Coraline Ravenel, S. Marques, L.M. Bossuet, F. Masson, Josiane Lorgeou, P. Du Cheyron, A. Oboeuf, A. Picard, et al.

### ► To cite this version:

Aurelie Mailliard, V. Cadot, Coraline Ravenel, S. Marques, L.M. Bossuet, et al.. Diversification du réseau CTPS pour une meilleure caractérisation de l'adaptation des variétés de blé tendre à des itinéraires techniques à hautes performances environnementales. *Innovations Agronomiques*, 2016, 50, pp.39-50. 10.15454/1.4721084297629783E12 . hal-01652904

**HAL Id: hal-01652904**

**<https://hal.science/hal-01652904v1>**

Submitted on 30 Nov 2017

**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.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

## **Diversification du réseau CTPS pour une meilleure caractérisation de l'adaptation des variétés de blé tendre à des itinéraires techniques à hautes performances environnementales**

**Mailliard A.<sup>1</sup>, Cadot V.<sup>1</sup>, Ravenel C.<sup>1</sup>, Marques S.<sup>1</sup>, Bossuet L.M.<sup>1</sup>, Masson F.<sup>1</sup>, Lorgeou J.<sup>2</sup>, Du Cheyron P.<sup>2</sup>, Obeuf A.<sup>2</sup>, Picard A.<sup>2</sup>, Gauffreteau A.<sup>3</sup>, Mistou M.N.<sup>3</sup>, Jeuffroy M.H.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>: GEVES, 25 Rue Georges Morel, 49070 Beaucouzé

<sup>2</sup>: Arvalis, Station Expérimentale, 91720 Boigneville

<sup>3</sup>: Inra, UMR Agronomie, 78850 Thiverval-Grignon

Correspondance : Aurelie.MAILLIARD@geves.fr

### **Introduction**

En France, le système d'inscription des variétés de blé tendre est un moyen d'orienter la création variétale vers des variétés répondant aux besoins de la filière. Les variétés mises à disposition sur le marché doivent pouvoir être cultivées sur le territoire sans risque majeur et apporter un progrès par rapport aux variétés existantes. Les exigences garantissant un progrès portent sur la productivité, la qualité technologique des récoltes et la résistance aux bio-agresseurs.

Le Comité Technique Permanent de la Sélection (CTPS) en charge de la gestion du catalogue souhaite accentuer l'évaluation variétale dans une démarche environnementale. L'adoption de la VATE (Valeur Agronomique Technologique et Environnementale) doit permettre d'intégrer l'aspect environnementale dans les dispositifs d'évaluation variétale afin de promouvoir les variétés qui valorisent une faible dépendance aux intrants.

Actuellement, les variétés de blé tendre, candidates pour l'inscription au Catalogue, sont évaluées pendant deux ans dans un vaste réseau d'essais, coordonné par le GEVES, dont la diversité est censée couvrir la variabilité des contextes pédoclimatiques auxquels sont destinées les variétés. Elles sont expérimentées dans chacun des essais CTPS selon deux conduites se différenciant par la protection vis-à-vis des maladies, les autres choix techniques et interventions répondant aux préconisations régionales d'agriculture raisonnée. La conduite bien protégée vis-à-vis de maladies, appelée Traitée (T) et la conduite Non Traitée Fongicide (NT) permettant à la fois d'évaluer le rendement des variétés en présence et en l'absence de protection vis-à-vis des maladies (prise en compte à part égale dans les cotations), leurs résistances à la verse et aux maladies. La différence entre ces conduites ne prend pas en compte de facteurs limitants autres que la présence de pathogènes. Certains caractères physiologiques ou biotiques, comme la germination sur pied, l'alternativité ou la résistance au froid, la résistance à la fusariose, ou à la cécidomyie orange, sont évalués dans des essais spécifiques.

Des conduites à Bas Niveau d'Intrants (BNI), réduisant plusieurs intrants de manière coordonnée, en se rapprochant de la réalité des itinéraires culturaux, par rapport à la conduite non traitée, permettraient de traduire un risque plus élevé d'occurrence de facteurs limitants variés occasionnant des conditions de croissance limitantes pour le blé tendre. Ce type de conduite permettrait de se placer dans un cadre plus opérationnel et d'évaluer le comportement des variétés vis-à-vis d'autres facteurs limitants que ceux actuellement testés.

### **Objectifs**

L'étude conduite pendant trois ans a eu deux objectifs.

Le premier était d'identifier les principaux facteurs limitants biotiques et abiotiques du blé tendre en France, d'apprécier la représentativité de la diversité de ces effets pédoclimatiques couverte par le réseau d'essais CTPS afin de vérifier sa capacité informative en matière de comportement des variétés vis-à-vis des facteurs limitants identifiés et de caractériser les conduites de culture réellement mises en œuvre dans les essais

Le second objectif était de tester l'intérêt, l'opérationnalité et la plus-value d'une conduite à Bas Niveau d'Intrants « BNI » en complément ou en remplacement de la conduite Non Traitée fongicide « NT » actuellement appliquée dans le dispositif d'évaluation des variétés en vue de leur inscription et d'améliorer la description des variétés vis-à-vis de leurs performances environnementales.

Par commodité, les méthodologies, résultats et conclusions des deux objectifs de l'étude sont présentés successivement.

## **Variabilité des environnements agroclimatiques du blé tendre et caractérisation du réseau d'essais CTPS**

### *Matériels et Méthodes*

#### **Classification des environnements de la culture du blé tendre**

La caractérisation des environnements de la culture du blé tendre a été réalisée à l'aide de classification des environnements sur des indicateurs de potentiel de rendement et de facteurs limitants abiotiques et biotiques. Les indicateurs retenus sont des variables d'offre agroclimatique (rayonnement, température et précipitation), de stress abiotiques (excès de froid, échaudage, déficit de rayonnement, déficit hydrique, excès eau) et de risques de septoriose, rouille jaune et rouille brune calculés sur les différentes phases du cycle d'élaboration du rendement du blé. Ils ont été estimés avec le modèle Agrobox d'ARVALIS avec les données météorologiques historiques de 25 années de 312 stations météorologiques, en considérant des caractéristiques de sol, des dates de semis et choix de précocité de variétés appropriées aux différentes stations. Le rattachement des sols de la base de données SOILBOX a nécessité d'établir des liens entre les sols, les petites régions INSEE et les stations météo. Une expertise a dû être menée pour estimer les proportions de sols concernées par la culture du blé tendre pour chaque station. Tous les calculs faisant appel à des variables de sol ont été réalisés sur 4 classes de sol afin d'estimer les indicateurs de stress hydriques et d'excès d'eau sur les moyennes de ces indicateurs pondérées des pourcentages des types de sol par station. Plusieurs classifications ont été réalisées en combinant différents indicateurs (classification d'offre climatique, de facteurs limitants abiotiques, de facteurs limitants biotiques et de tout ou partie des indicateurs). Les données des classifications ont été valorisées sous forme de cartes et de valeurs médianes des différents indicateurs par classe.

La démarche suivie pour la classification des environnements est synthétisée sur la Figure 1, les méthodes mobilisées sur la Figure 2, les variables prises en compte sur la Figure 3.

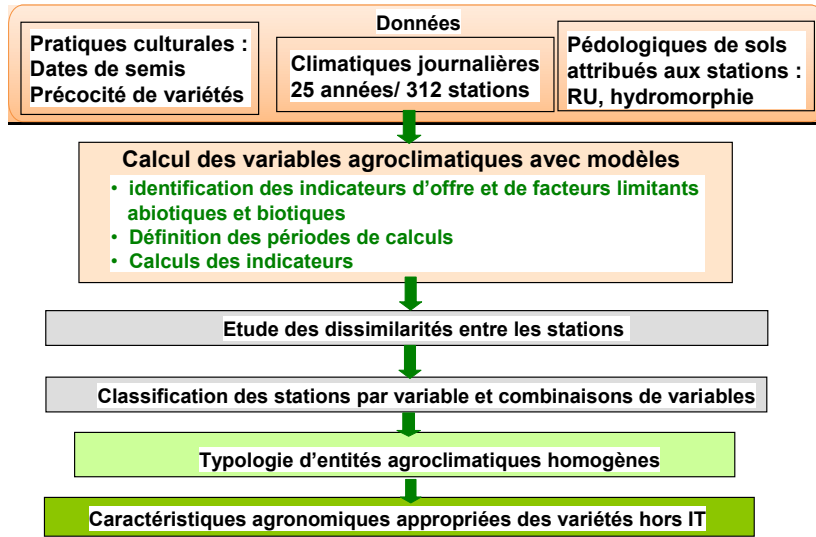


Figure 1 : Démarche de classification des environnements de la culture du blé tendre

Figure 2 : Méthodes utilisées pour la classification des environnements de la culture du blé tendre

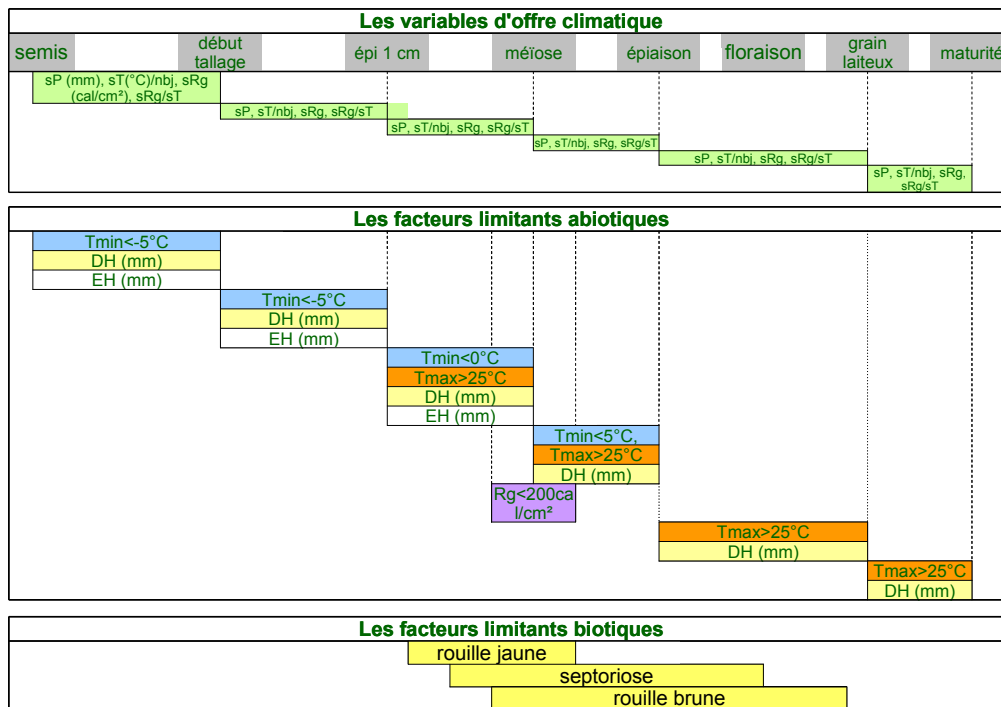
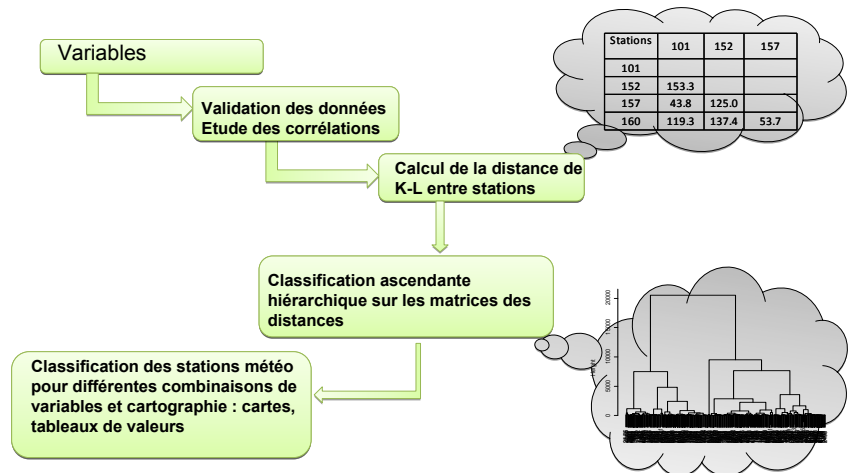


Figure 3 : Les indicateurs agroclimatiques utilisés

## **Caractérisation des lieux d'essais du réseau CTPS**

### **Facteurs climatiques**

Les essais à proximité de stations météo historiques disposent des indicateurs agroclimatiques calculés selon la méthode résumée ci-dessus. Les lieux du réseau d'essais CTPS ont été localisés sur la cartographie de la classification des facteurs limitants abiotiques et de l'offre climatique comportant 11 classes d'environnements (Figure 4) réalisée selon la démarche citée dans le paragraphe précédent. La représentativité du réseau CTPS a été analysée en comparant les nombres d'essais et les surfaces cultivées en blé tendre par classe et au regard des surfaces dans les zones de cultures.

### **Conduites culturales**

Un état des lieux des conduites de cultures pratiquées dans les essais CTPS a été réalisé sur la base des données d'itinéraire technique recueillies auprès des expérimentateurs du réseau CTPS des essais Blé tendre de 2006 à 2009. Ces données ont été comparées au protocole et aux données recueillies dans l'enquête sur les pratiques culturales des agriculteurs « Agreste 2006 » afin de vérifier la représentativité du réseau CTPS.

### **Facteurs biotiques**

La caractérisation des pressions biotiques du blé tendre s'appuie sur les résultats de 8 années de « notations maladies » qui correspondent aux notes de sensibilité des variétés (1=aucun symptôme, 9=très sensible). Ces notations ont été réalisées dans 49 lieux, dont 33 lieux Nord et 16 Sud, soit sur 578 essais conduits en conduite non traité fongicide sur le réseau CTPS. L'analyse a porté sur les 4 principales maladies foliaires observées sur le blé, la septoriose (*Septoria tritici*), la rouille brune, l'oïdium et la rouille jaune.

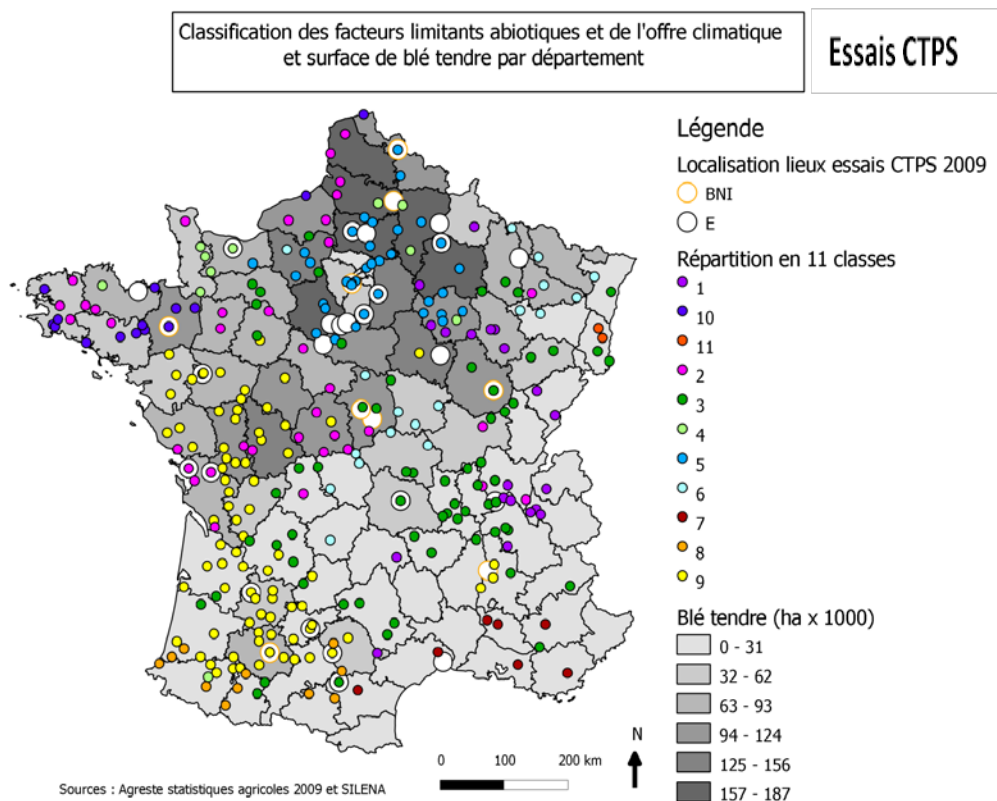
Cinq indicateurs ont été calculés pour évaluer la diversité des pressions bioagresseurs au niveau régional, la représentativité du réseau CTPS par rapport aux pressions Nord/Sud et régionales existantes et la capacité informative de chaque lieu d'essais.

<u>Objectifs</u>	<u>Liste des indicateurs utilisés</u>
<b>Diversité de la pression Bioagresseur dans le réseau CTPS</b>	<p><i>Indicateur 1 : Moyenne des notes de sensibilités de l'ensemble des variétés par essai</i></p> <p><i>Indicateur 4 : Fréquence d'essais notés pour une maladie par région</i></p>
<b>Représentativité du réseau CTPS</b>	<p><i>Indicateur 2 : Discrétisation selon la méthode de Jenks en 4 classes de l'indicateur 1 et comparaison avec les appréciations des pressions régionales des revues « Choisir » d'Arvalis</i></p>
<b>Capacité informative des essais CTPS pour chaque Bioagresseur étudié</b>	<p><i>Indicateur 1 : Moyenne des notes de sensibilités de l'ensemble des variétés par essai</i></p> <p><i>Indicateur 3 : Ecart de rendement entre les conduites T – NT</i></p> <p><i>Indicateur 5 : % d'essais retenus par lieu, par année et par bioagresseur</i></p>

### **Résultats**

Les données pédo-climatiques de 312 stations météorologiques historiques ont permis de proposer différentes classifications des environnements pédoclimatiques de la culture du blé tendre. Ces classifications réalisées par variable prise individuellement et en combinaison ont été valorisées sous forme de cartes, de tableaux de données des valeurs moyennes et fréquentielles pour les différentes classes des classifications afin de situer les lieux d'essais par rapport à la variabilité globale des conditions de culture du blé tendre.

La classification en 11 classes de **l'offre et des facteurs limitants agroclimatiques** a plus particulièrement été analysée (Figure 4). Le réseau CTPS couvre les différentes classes des principales zones de productions du blé tendre. La gamme des stress climatiques est globalement représentée bien qu'il ait été constaté un faible nombre d'essais avec des risques élevés de déficit hydrique (classes 7 et 11) et à forte probabilité d'échaudage (classes 1, 3 et 11).



**Figure 4** : Classification des facteurs climatiques (facteurs limitants abiotiques + offre climatique) et surface de blé tendre par département

La diversité et la représentativité des **conduites culturelles** pratiquées dans le réseau CTPS ont été étudiées. Même si le protocole recommande des conduites (précédents facilitant l'implantation, date et densité de semis à l'optimum de la région, fertilisation azotée selon la méthode des bilans et en 3 apports, pas de régulateurs), les pratiques culturelles ressortent comme diversifiées au sein du réseau CTPS et représentatives des pratiques des agriculteurs. Cependant, des pratiques induisant des conditions de cultures limitantes sur d'autres facteurs que les maladies foliaires (ex : précédents Céréales ou Maïs, absence de fertilisation azotée minérale) ne sont pas représentées. La faible représentativité de ces conditions est liée au fait qu'elles augmentent la présence de facteurs limitants de manière hétérogène sur les parcelles d'essais et peuvent remettre en cause la validité des essais.

L'étude des notations de sensibilité aux **maladies foliaires** dans les essais montre la variabilité des pressions observées entre les régions et entre les années au sein du réseau CTPS Blé tendre (Figures 5a, 5b, 5c, 5d). Cinq régions d'essais (Bretagne, Nord Pas de calais, Basse normandie, Ile de France et Rhône-Alpes) apparaissent multi-informatives et proposent une diversité de profils maladies (Tableau 1). Le réseau fournit une information régulière, apte à différencier les variétés et qui est consolidée par des essais spécifiques inoculés en ce qui concerne les Septorioses et la Rouille Brune. Pour l'étude des résistances à la Rouille Jaune, elle aussi complétée par les essais inoculés, l'information collectée sur le réseau est moins régulière et est concentrée dans le réseau nord. En revanche, concernant l'Oïdium, le réseau révèle une information plus aléatoire avec une fréquence d'apparition irrégulière et un niveau

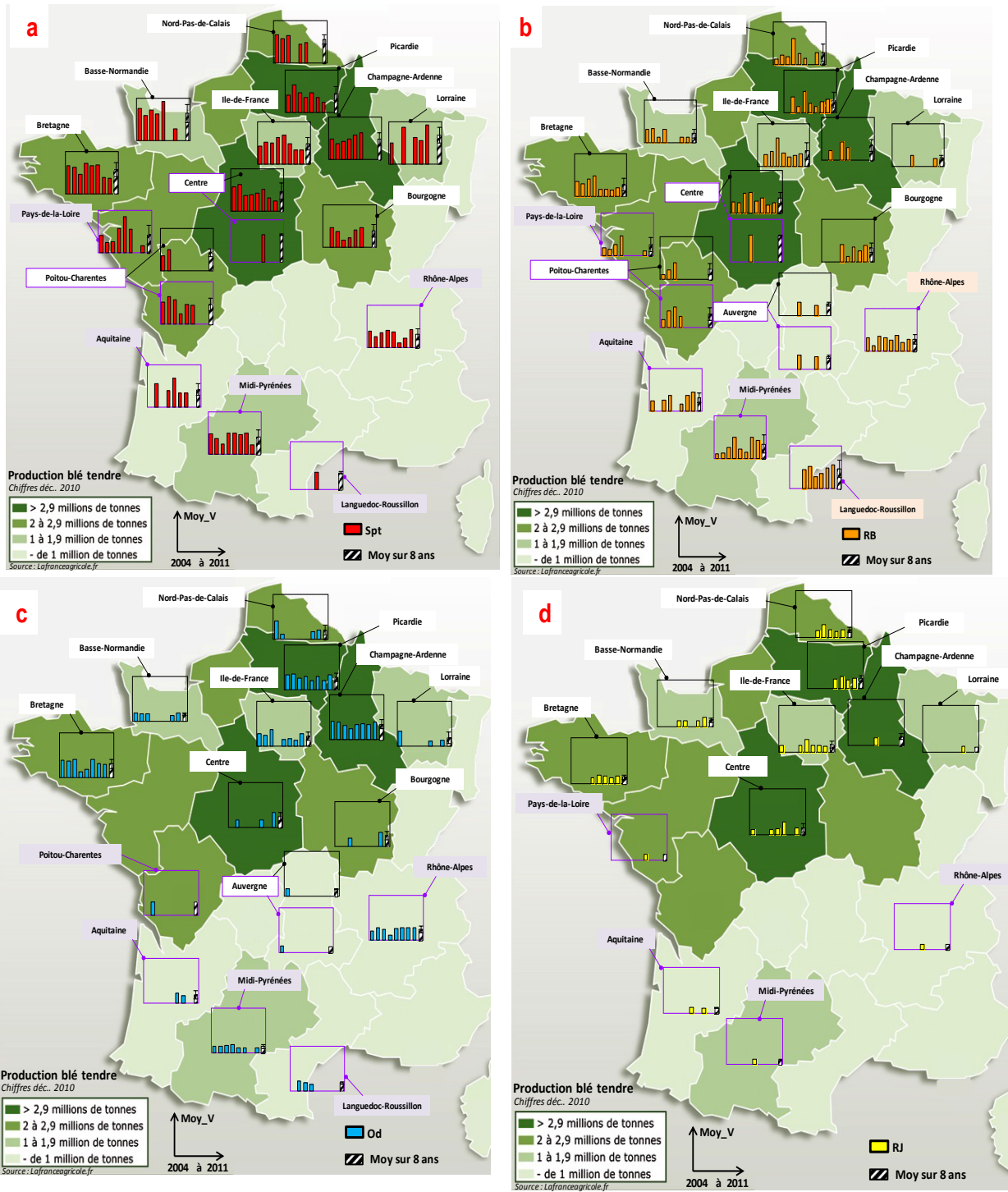
de pression très variable d'une année à l'autre. Le réseau est globalement bien représentatif des pressions constatées dans les régions de production. Le réseau CTPS blé tendre d'hiver semble assez représentatif des pressions naturelles en bioagresseurs exercées sur le territoire français par comparaison avec les pressions agronomiques. Toutefois, l'évaluation de la capacité informative de chaque essai du réseau CTPS vis-à-vis des bio-agresseurs met en évidence que certains lieux génèrent régulièrement peu ou pas d'informations sur la sensibilité des variétés aux maladies, et pourraient être exploitables pour l'évaluation d'autres facteurs limitants.

### *Conclusion*

Ce projet a permis d'avoir une meilleure connaissance des environnements couverts par le réseau CTPS Blé tendre d'hiver. Les facteurs limitants abiotiques (Facteurs climatiques) et les facteurs limitants biotiques (pressions bio-agresseurs) couverts par les essais CTPS sont diversifiés et représentatifs de ceux présents dans les zones de productions du blé tendre. Toutefois, quelques repositionnements de lieux ressortent comme pertinents pour apporter de l'information sur des combinaisons de facteurs limitants peu explorées. Les conduites culturales des essais CTPS se sont révélées comme plus diversifiées que le protocole le laisse supposer. En revanche, certains précédents ne sont pas représentés. L'étude des facteurs biotiques a permis d'évaluer la capacité informative de chaque essai vis-à-vis des pressions de bio-agresseurs.

Cette caractérisation des environnements du réseau d'essais CTPS et la meilleure connaissance de la capacité informative de chaque essai en conduite Non Traité issues de l'étude, fournissent des outils (Tableau 1) pour choisir les lieux d'essais dans le cadre d'évolution, d'adaptions ou de modification de protocole CTPS.

Figures 5: Pression Septoriose (a), Rouille brune (b), Oidium (c) et Rouille jaune (d) par région dans le réseau CTPS 2004-2011





Lieux d'essais				BioAgresseurs					Abiotique		
Réseau	Région	Commune	Dpt	Spt	Rb	Rj	Oïd	Ecart Rdt T-NT > 5 qx	Classe climatique	Reliquats azotés	Type Sol
Nord	Auvergne	CLERMONT FERRAND	63	0	0	0	0	non	3	Fort	Argilo-calcaire
	Basse Norm:	ROTS	14	80	20	30	10	oui	4		LA
	Bourgogne	YROUERRE	89	55	0	0	10	non	9?		Argilo-calcaire
		BRETENIERE	21	30	60	0	0	oui	3		AL
	Bretagne	MAROUÉ	22	80	50	20	55	oui	10?		LMS, Limoneux
		PACE/RENNES/LE RHEU	35	50	55	35	0	oui	10		LMS, LA
	Centre	LE SUBDRAY	18	70	30	0	0	oui	3		LAS
		RECLAINVILLE*	28	-	-	-	-	oui	5?		AL ?
		OINVILLE ST LIPHARD	28	55	70	10	10	oui	5		AL
		BUZANCAIS	36	0	0	0	0	non	2 ou 9?		?
		OUZOUER LE MARCHE	41	55	30	10	0	oui	5	Fort	LM, LA, autre
		ATTRAY	45	50	20	0	0	non	5		A, AL, ALO
	Champagne-	BEINE NAUROY / EPOYE	51	55	25	0	80	oui	5	Fort	Crayeux
		AUSSONCE/TAGNON	8	50	35	0	70	oui	5?		Crayeux
	Ile-de-Franc	VERNEUIL L ETANG	77	85	40	0	35	oui	5	Fort	LM / LA
		CRISENOY	77	70	70	10	40	oui	5	Fort	LA, Limoneux, AL
		ORSONVILLE*	78	-	-	-	-	oui	5		LA, LM ?
	Lorraine	FRESNE EN WOERE	55	45	0	0	0	oui	6?	Faible	LA, AL
	Nord-Pas-de	FRELINGHNIEN / HOUPLINES	59	55	60	40	20	oui	5		LA
		AUCHY LEZ ORCHIES	59	45	20	20	0	oui	5		LA, Limoneux
	Pays-de-la-L	LA POUZEZE	49	0	0	0	0	non	9		?
	Picardie	LA MALMAISON/ PROVISIEU	2	45	15	0	85	oui	5?	Faible	S, Crayeux
		CATENOY	60	45	30	0	0	oui	5		Sable limono argileux, Limoneux, Argilo-calcaire
		ESTREES ST DENIS	60	70	70	40	40	oui	5		SL, SA, LMS, LAS
		FROISSY	60	85	40	10	10	oui	5		ALO, Limoneux
		ESTREES MONS / MONCHY I	80	40	20	20	0	oui	4		LM / LA
Sud	Aquitaine	CASTELJALOUX	47	55	55	0	30	oui	9		AS, AL
	Auvergne	CLERMONT FERRAND	63	0	35	0	0	non	3	Fort	Argilo-calcaire
	Centre	BUZANCAIS	36	0	0	0	0	non	2 ou 9?		?
	Languedoc-R	CASTELNAUDARY/MAS STE	11	10	55	0	0	oui	3		A, Argilo-calcaire
		MONTPELLIER	34	0	60	0	10	non	7		LAS, LA, AL
		AUZEVILLE TOLOSANE	31	0	70	0	10	oui	9		A
		MONTAUT LES CRENEAUX/I	32	65	35	0	10	oui	9		AL, Argilo-calcaire
	Midi-Pyréné	VERFEIL (MONTBARBIER*)	82	-	-	0	-	oui	9		?
		REALVILLE	82	30	30	0	20	non	9		Argilo-calcaire
	Pays-de-la-L	LA CHAPELLE ST SAUVEUR	44	55	30	0	0	oui	9		LMS, A, AL
	Poitou-Char	MONTROY	17	30	0	0	0	oui	2		?
		ST GEORGE DU BOIS	17	35	10	0	0	oui	2		Argilo-calcaire
	Rhône-Alpes	ETOILE SUR RHONE	26	60	70	0	40	oui	9		LA / AL
		PUSIGNAN	69	50	50	0	50	oui	3 ou 1		LAS, LSA, Autre

Pression Biotique

Pression Bioagresseurs 30 % d'essais retenus

Facteurs Abiotique

Sol

Climat

\* Nouveaux lieux 2012



Tableau 1 : Description des pressions bioagresseurs et des facteurs abiotiques observés sur le réseau CTPS blé tendre

Test et plus-value d'une conduite à bas niveau d'intrants

Matériels et méthodes

Test d'une nouvelle conduite à Bas Niveau d'Intrants « BNI »

La conduite BNI qui a été expérimentée résulte de compromis opérationnels. Elle consiste à :

- réduire la densité de semis de 30% par rapport à la dose optimale de la région et utilisée pour la conduite Traitée,
- réduire la dose d'azote totale d'environ un quart avec la suppression du premier apport,

- supprimer les traitements fongicides.

Elle a été ajoutée aux conduites Traitée et Non traitée de plusieurs essais du réseau CTPS durant deux années (soit un cycle d'inscription). Le choix des lieux d'essais s'est fait en recherchant les lieux *a priori* adaptés à l'étude de l'impact des principaux facteurs limitants du rendement et de la qualité de la récolte (déficits hydriques, risque de gel, hautes températures, risques maladies, risque de verse), mais surtout en favorisant les stations expérimentales partenaires du projet et les stations où la réalisation d'un protocole lourd est faisable.

Pour la campagne 2008/2009, la conduite BNI a été ajoutée sur 10 sites expérimentaux en 1<sup>ère</sup> année d'inscription du réseau CTPS, 6 en zone nord et 4 en zone sud. En zone nord, les variétés en étude étaient réparties en 2 séries de respectivement 31 et 30 variétés auxquelles s'ajoutaient 7 témoins CTPS et 2 témoins révélateurs. En zone sud, 25 variétés étaient en étude auxquelles s'ajoutaient 5 témoins CTPS et 2 témoins révélateurs.

Pour la 2<sup>ème</sup> année d'étude (campagne 2009/2010), l'expérimentation a concerné les variétés en 2<sup>ème</sup> année d'inscription. La conduite BNI a été testée sur 11 essais, 6 en zone nord et 5 en zone sud. En zone nord, les essais se composent de 34 variétés, 6 témoins CTPS et 2 témoins révélateurs. En zone sud, il y a 21 variétés, 5 témoins CTPS et 2 témoins révélateurs.

### **Capacité du réseau T/BNI à produire une information supplémentaire sur les variétés testées**

Après une comparaison rapide du niveau des principaux facteurs limitants s'exprimant sur les réseaux d'essais NT et BNI, deux types d'analyses ont été réalisés à partir des mesures validées :

- Une analyse de la variabilité des rendements dans le réseau NT-BNI pour estimer l'effet différentiel sur le rendement des variétés d'un itinéraire technique (ITK) BNI par rapport à un ITK NT.
- Une analyse de l'impact des principaux facteurs limitants sur le comportement des variétés témoins dans les réseaux T-NT et T-BNI pour juger de l'aptitude de chaque réseau à caractériser la réponse des variétés aux principaux stress environnementaux.

## *Résultats*

### **Comparaison des résultats des conduites NT et BNI**

Pour évaluer le **stress azoté**, l'analyse des données d'INN a révélé que le statut azoté est très variable selon les lieux. Les gammes d'INN explorées entre les conduites T et NT sont équivalentes alors que la gamme d'INN explorée par la conduite BNI est significativement inférieure aux deux autres conduites révélant un stress azoté plus fort. Cependant, il a été constaté qu'il existait un certain nombre d'essais pour lesquels les conduites T et NT étaient également en situation de stress azoté.

La comparaison des **pressions bio-agresseurs** entre les conduites NT et BNI dans le réseau restreint du CTPS s'est faite dans des conditions de pression moyenne pour la campagne 2008/2009 et de pression faible pour la campagne 2009/2010. Les notations de Septorioses, Rouille Brune et Rouille Jaune sont sensiblement les mêmes en Conduite NT et en Conduite BNI. En revanche, pour la verse et l'oïdium, ces notations sont plus faibles en conduite BNI qu'en conduite NT et pourraient entraîner des difficultés pour évaluer et discriminer la sensibilité des variétés à ces stress en cas de faibles pressions sur l'ensemble du réseau. Ces résultats viennent conforter les résultats obtenus dans le réseau Inter-stations INRA.

## Capacité du réseau T/BNI à produire une information supplémentaire sur les variétés testées

### Analyse de la variabilité des rendements dans le réseau NT-BNI

L'objectif de cette étude était d'estimer l'impact sur le rendement d'un ITK BNI par rapport à un ITK NT et la stabilité de cet impact selon l'environnement (ENV) et la variété (VAR) que l'on considère.

Nous avons réalisé cette étude à partir de rendements mesurés en ITK BNI et NT sur 39 variétés en zone Nord et sur 25 variétés en zone Sud. Nous utiliserons pour l'analyse le modèle mixte suivant :

$$Y_{ijk(m)n} = \mu + ITK_i + VAR_j + ENV_k + ITK:VAR_{ij} + ITK:ENV_{ik} + VAR:ENV_{jk} + ITK:VAR:ENV_{ijk} + STRUCT_{k(m)n} + \varepsilon_{ijk(m)n}$$

Où  $\mu$  est le rendement moyen observé en ITK NT,  $ITK_i$  l'effet de l'ITK BNI,  $VAR_j$  l'effet de la variété  $j$ ,  $ENV_k$  l'effet de l'environnement  $k$ ,  $VAR:ENV_{jk}$  l'effet différentiel de la variété  $j$  dans l'environnement  $k$ ,  $ITK:VAR_{ij}$ ,  $ITK:ENV_{ik}$  et  $ITK:VAR:ENV_{ijk}$  l'impact de l'ITK BNI sur les effets de la variété  $j$ , sur l'environnement  $k$  et de leur interaction. Enfin  $STRUCT$  sont des variables de structuration des essais intégrant pour chaque environnement d'essai le bloc et, dans le cas de la zone nord, la série variétale. Mis à part l'ITK, toutes les variables du modèle sont considérées des variables à effet aléatoire suivant une loi normale centrée dont les écarts-types sont estimés sur les données.

Par comparaison de modèles sur les critères AIC et BIC, nous avons montré que, mis à part l'interaction ITK:Var:Env en zone Sud, l'ensemble des termes des modèles avaient un effet significatif sur le rendement. Les estimations obtenues en zone Nord et en zone Sud sont présentées dans le Tableau 2.

	Variables	Estimation	
		CTPS Nord	CTPS Sud
<b>Effet fixe</b>	ITK (BNI)	-7.08 (sd=1.56)	-6.06 (sd=1.73)
<b>Effets aléatoires</b> $\sim N(0, sd)$	ENV	5.59	8.32
	ENV : ITK	3.27	3.37
	VAR	3.7	2.51
	VAR : ITK	0.59	0.93
	ENV : VAR	3.23	3
	ENV : VAR : ITK	0.95	Ns
	Serie	1.36	-
	Bloc	0.9	1.78
	Residuelle	2.92	3.8

**Tableau 2** : Estimation des effets de l'ITK, de la variété, de l'environnement, de l'ensemble des interactions et des variables de structuration des essais sur les rendements observées en zone Nord et en zone Sud

La conduite BNI abaisse globalement le rendement observé en NT de manière équivalente et significative en zones Nord et Sud (entre 6 et 7 q/ha). Les écart-types élevés associés à l'interaction ENV:ITK (proche de 3.3 q/ha) montrent que l'effet du BNI dépend fortement de l'environnement où il est appliqué. Ces deux résultats conduisent à penser que les conditions ressenties par les plantes en BNI sont très différentes de celles ressenties en NT au moins sur certains environnements d'essais. Par contre, les faibles écarts-types associés aux interactions VAR:ITK et ENV:VAR:ITK (toujours inférieurs à 1 q/ha) montrent que la conduite BNI affecte de manière homogène les variétés quelque soit

l'environnement que l'on considère. Ceci explique la stabilité des classements variétaux observée entre les réseaux T-NT et T-BNI. Des résultats équivalents ont été observés pour la teneur en protéines. Nous pouvons expliquer ces résultats de deux façons : (i) les stress environnementaux qui différencient les conduites BNI et NT (stress azotés, déficit de peuplement, pression de maladie) peuvent interagir et masquer les réponses différentielles des variétés à chaque stress ; (ii) la gamme variétale testée sur le réseau CTPS présente une réponse homogène à ces stress environnementaux. Notons que la même analyse réalisée sur un réseau INRA a mis en évidence une interaction ENV:VAR:ITK plus importante avec des inversions de classement plus fréquemment observées entre les ITK NT et BNI dans les différents environnements d'essais.

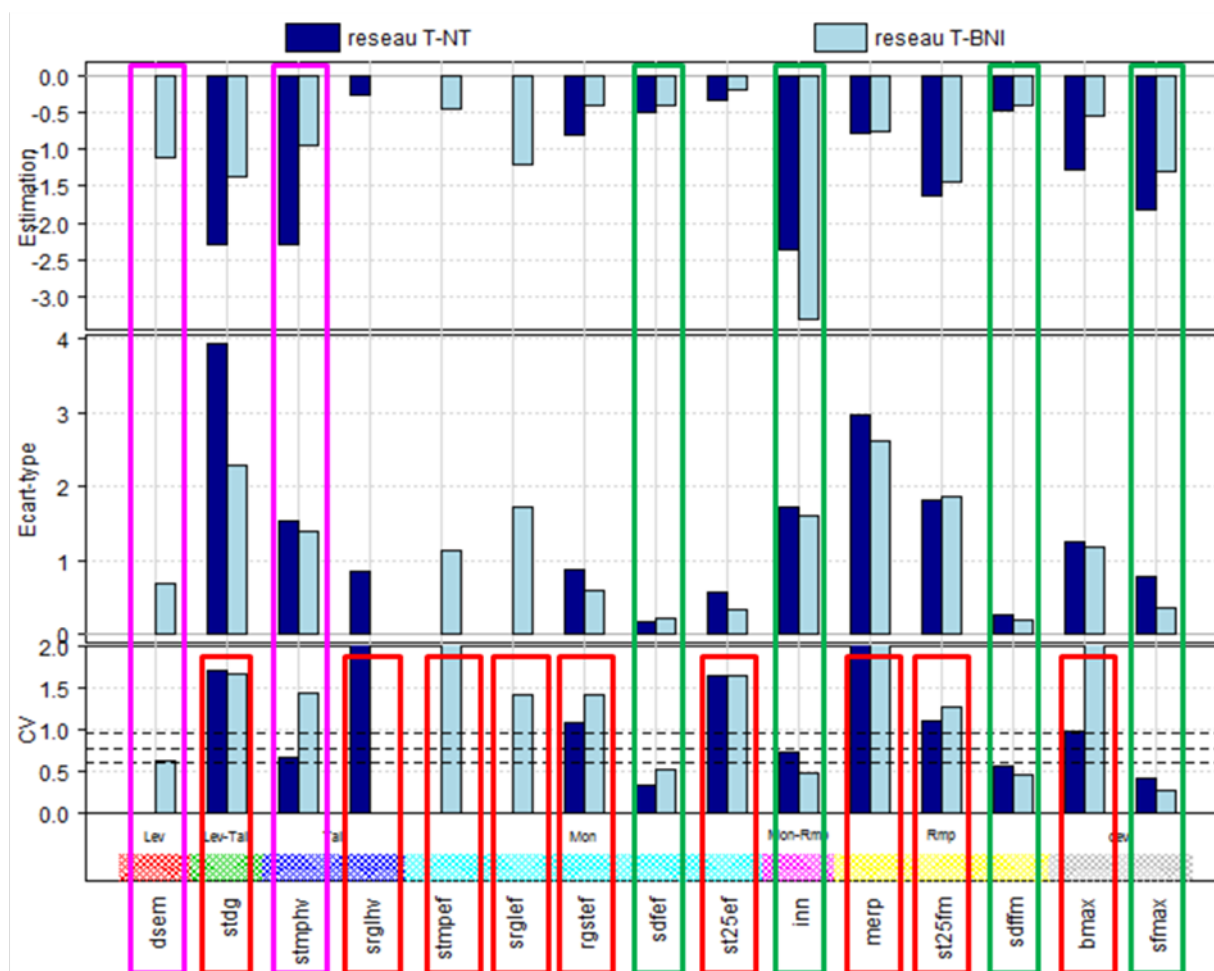
### **Aptitude des réseaux T-NT et T-BNI à caractériser la réponse des variétés aux principaux stress environnementaux**

Dans chaque réseau d'essais (T-NT ou T-BNI), nous avons cherché à estimer l'impact des principaux stress environnementaux sur le rendement de variétés témoins (Andalou, Soissons, Orvantis dans la zone Sud, Caphorn, Charger, Orvantis et Soissons dans la zone Nord). Pour ce faire, nous avons construit pour chaque variété le modèle suivant :  $RDT_{ij} = \mu + \alpha_1.FL_{1i} + \alpha_2.FL_{2i} + \dots + \alpha_n.FL_{ni} + \varepsilon_{ij}$  où  $RDT_{ij}$  est le rendement observé dans l'environnement  $i$  et la répétition  $j$ ,  $FL_{ki}$  le niveau du facteur limitant  $k$  observé dans l'environnement  $i$ ,  $\alpha_k$  l'impact du facteur limitant  $k$  sur le rendement et  $\varepsilon_{ij}$  le rendement résiduel non expliqué par les facteurs limitants introduits dans le modèle. Les facteurs limitants considérés sont les déficits de peuplement (dsem), le gel (stdg), les stress hautes températures (st25), les stress hydriques (sdf) et azotés (inn), les déficits de température (stmp) et de rayonnement (srgl), la verse (ve), les maladies du pied (mpmax) et de l'épi (merp), l'oidium (omax), les rouilles brunes (bmax) et jaune (jmax) et la septoriose (sfmax). Certains stress (sdf, stmp, srgl, st25) sont déclinés par phase de développement de la culture. Les estimations sont obtenues par régression PLS à 2 axes.

Les paramètres variétaux  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$  quantifient le niveau de réponse de la variété aux facteurs limitants  $FL_1, FL_2, \dots, FL_k$ . Ainsi, les estimations des paramètres  $\alpha_k$ , faites à partir des données produites sur le réseau T/BNI ou sur le réseau T/NT ainsi que leurs écarts-types obtenus par ré-échantillonnage jackknife et leurs coefficients de variations permettront de comparer la nature et la précision de l'information produite sur chaque variété considérée.

La Figure 6 présente un exemple de résultats obtenus sur la variété Soissons dans le réseau Sud. A partir des résultats obtenus sur l'ensemble des réseaux et des variétés considérés, nous pouvons tirer les conclusions suivantes :

- (i) Le comportement des variétés face au stress azoté peut être estimé dans le réseau T-NT du fait de stress azotés présents dans ce réseau mais avec des impacts estimés et une précision légèrement inférieurs.
- (ii) L'effet de la réduction de la densité de semis est visible dans le réseau T-BNI seulement.
- (iii) L'analyse de la réponse des variétés aux maladies n'est pas dégradée sur le réseau T-BNI si le niveau de maladies est suffisant, c'est le cas pour la septoriose en zone Nord et Sud et la rouille brune en zone Sud.
- (iv) L'impact des variables climatiques majeures (stress hydriques en zone Sud) est estimé de manière identique et avec la même précision sur les réseaux T-NT et T-BNI.
- (v) Le réseau T-NT dans la zone nord semble plus à même de révéler les stress hivernaux (température et rayonnement). Une étude similaire menée sur un réseau INRA confirme les résultats précédents.



**Figure 6 :** Estimation des effets des stress environnementaux sélectionnés, écart-types et coefficients de variation associés aux estimations. Cas de la variété Soissons dans le réseau Sud. Les effets des stress encadrés en rouge ne sont estimés avec une précision suffisante ni en T-NT et ni en T-BNI. Les effets des stress encadrés en vert sont significatifs et estimés de manière identique sur les deux réseaux. L'effet de la densité de semis (dsem) n'est appréciable que sur le réseau T-BNI et l'effet du déficit de température hivernal (stmpvhv) n'est significatif que sur le réseau T-NT.

## Conclusions

Evaluer les variétés de blé tendre en réduisant simultanément plusieurs intrants a fait débat au sein des Commissions VATE et de la Section céréales à paille du CTPS. Les partisans proposaient d'évaluer les variétés dans un contexte global de réduction d'intrants et de caractériser le comportement des variétés vis-à-vis des facteurs limitants à l'aide d'interprétation des interactions Génotypes-Environnements-Conduites. *A Contrario*, les réticents argumentaient une préférence pour des essais analytiques à un facteur à l'image de l'effet de la protection fongicide, soulignant les inconvénients d'une superposition d'interactions des conduites de culture avec celles des environnements, le poids des effets de résistances aux maladies dans les interactions et les risques d'informations moins performantes sur le comportement des variétés vis-à-vis des maladies.

L'étude, menée dans le cadre de ce projet, montre que la conduite BNI génère des conditions de culture différentes de la conduite NT et offre la possibilité d'acquérir une information supplémentaire sur la tolérance au stress azoté (particulièrement dans le cas où le réseau T-NT serait moins stressé pour l'azote) et sur le comportement des variétés en faibles densités de semis. Cependant, les résultats observés sur cette conduite semblent difficilement valorisables actuellement au sein du CTPS pour

différentes raisons. Tout d'abord il n'existe pas à l'heure actuelle de mesures non-destructives et opérationnelles permettant d'évaluer précisément le statut azoté des variétés en essais. De plus, la conduite BNI est multi-facteurs et nous n'avons pas d'outils performants permettant de déconvoluer l'effet des différents facteurs (densité, azote, maladie) sur le comportement des variétés. Enfin, les modèles d'interaction géotypes x environnements intégrant des covariables environnementales restent aujourd'hui assez peu performants.

Suite à cette étude et compte tenu de la volonté du CTPS de valoriser l'efficacité de l'utilisation de l'azote par les variétés, tant en terme de rendement que de teneur en protéines, il a été décidé de transformer 8 lieux du réseau CTPS T/NT en essais factoriels vis à vis de l'azote permettant de comparer le comportement des variétés à 3 niveaux de fertilisation azotée (dose X-80; dose X; Dose X+40).

Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-NC-ND 3.0)



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/>

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue « Innovations Agronomiques », la date de sa publication, et son URL)