



HAL
open science

Granoduro.net : Outil d'aide au pilotage de la culture du blé dur. Présentation et évaluation en conditions françaises

Marie Parizel

► To cite this version:

Marie Parizel. Granoduro.net : Outil d'aide au pilotage de la culture du blé dur. Présentation et évaluation en conditions françaises. Sciences agricoles. 2012. dumas-00758912

HAL Id: dumas-00758912

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-00758912v1>

Submitted on 29 Nov 2012

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.



AGROCAMPUS OUEST

CFR Rennes

65 rue de Saint-Brieuc

CS 84215, 35 042

Rennes Cedex / France

ARVALIS-Institut du végétal

Direction Scientifique

Station Expérimentale

91720 Boigneville

Mémoire de Fin d'Études

**Diplôme d'Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences
Agronomiques, Agroalimentaires, Horticoles et du Paysage**

Année universitaire : 2011-2012

Spécialisation : Sciences et Productions Végétales

Option : Ingénierie des Agrosystèmes

**Granoduro.net : Outil d'aide au pilotage de la culture du blé dur.
Présentation et évaluation en conditions françaises**

Par : Marie PARIZEL

*Volet à renseigner par l'enseignant responsable de l'option/spécialisation**

Date : .../.../... Signature :

Bon pour dépôt (version définitive)

Autorisation de diffusion : Oui
Non

Devant le jury :

Soutenu à Rennes le 12/09/2012

Sous la présidence de : Matthieu CAROF

Maîtres de stage : Sylvie GUILLOT, Stéphane JEZEQUEL

Enseignant référent : Matthieu CAROF

Avec la participation de : Dominique POULAIN, Philippe LETERME, Christine BISSUEL

*"Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent
que la responsabilité de son auteur et non celle d'AGROCAMPUS OUEST".*

Fiche de diffusion du mémoire

A remplir par l'auteur⁽¹⁾ avec le maître de stage.

Aucune confidentialité ne sera prise en compte si la durée n'en est pas précisée.

Préciser les limites de la confidentialité⁽²⁾ :

➤ Confidentialité absolue : oui non

(ni consultation, ni prêt)

↳ Si oui 1 an 5 ans 10 ans

➤ A l'issue de la période de confidentialité **ou** si le mémoire n'est pas confidentiel, merci de renseigner les éléments suivants :

Référence bibliographique diffusable⁽³⁾ : oui non

Résumé diffusable : oui non

Mémoire consultable sur place : oui non

Reproduction autorisée du mémoire : oui non

Prêt autorisé du mémoire : oui non

.....
Diffusion de la version numérique : oui non

↳ Si oui, l'auteur⁽¹⁾ complète l'autorisation suivante :

Je soussigné(e) _____, propriétaire des droits de reproduction dudit résumé, autorise toutes les sources bibliographiques à le signaler et le publier.

Date :

Signature :

Rennes, le

Le maître de stage⁽⁴⁾,

L'auteur⁽¹⁾,

L'enseignant référent,

(1) auteur = étudiant qui réalise son mémoire de fin d'études

(2) L'administration, les enseignants et les différents services de documentation d'AGROCAMPUS OUEST s'engagent à respecter cette confidentialité.

(3) La référence bibliographique (= Nom de l'auteur, titre du mémoire, année de soutenance, diplôme, spécialité et spécialisation/Option) sera signalée dans les bases de données documentaires sans le résumé.

(4) Signature et cachet de l'organisme.

Remerciements

Je tiens à remercier l'ensemble des personnes que j'ai rencontré à l'occasion de ce mémoire et qui, par leurs conseils et leur soutien, en ont fait une expérience inoubliable et très enrichissante.

Je remercie en premier lieu mes maîtres de stage, Sylvie Guillot et Stéphane Jézéquel, pour leur bonne humeur et l'autonomie qu'ils m'ont accordée et sans qui ce stage n'aurait pas existé ; ainsi que leurs secrétaires, Gwendoline Rigaux, Edwige Fontaine et Sylvie Bertoli, pour leur gentillesse infinie.

Un grand merci aussi aux membres de mon Comité de pilotage et aux autres personnes d'ARVALIS-Institut du végétal qui se sont intéressés au sujet et m'ont fait part de leurs connaissances et conseils :

Philippe Gate, Directeur Scientifique d'ARVALIS-Institut du végétal ;

Les ingénieurs spécialistes Jean-Paul Nicoletti, Olivier Deudon, Emmanuelle Gourdain, Jean-Baptiste Pierre, Jean-Charles Deswarte et bien d'autres encore ;

Les ingénieurs régionaux Michel Bonnefoy, Jean-Louis Moynier, Aude Bouas, ainsi que leurs techniciens, avec un merci particulier à Sophie Vallade ;

Les équipes des stations expérimentales de Gréoux et de Baziège, qui ont volontiers répondu à mes questions techniques.

Mes remerciements vont aussi aux concepteurs italiens pour leur collaboration et tout particulièrement à Pierluigi Meriggi pour son accueil chaleureux.

Enfin ce stage ne se serait pas aussi bien déroulé sans l'ambiance extraordinaire qui régnait entre les différents stagiaires et CDD, je remercie notamment Jessica, Marie, Emilie et Tristan qui ont maintenu le contact pendant les trois mois que j'ai passés en région, et mes colocataires Mathieu et Clément.

Table des matières

REMERCIEMENTS

TABLE DES MATIERES

LISTE DES ABREVIATIONS

LISTE DES ILLUSTRATIONS

LISTE DES TABLEAUX

INTRODUCTION.....	1
1 CONTEXTE DE L'ETUDE.....	3
1.1 PRODUCTION DE BLE DUR EN FRANCE	3
1.1.1 <i>Les quatre bassins de productions</i>	3
1.1.2 <i>Evolution de la production</i>	4
1.1.3 <i>La filière blé dur en France</i>	5
1.2 OUTILS ARVALIS-INSTITUT DU VEGETAL POUR LE BLE DUR.....	6
1.2.1 <i>Brochures « Choisir et décider » et « Protection des cultures »</i>	6
1.2.2 <i>Agrobox et Panoramix pour la prévision des stades</i>	6
1.2.3 <i>Le modèle Baromètre Rouille Brune (Gouache D., 2012)</i>	6
1.2.4 <i>Myco-LIS pour le risque DON (Gourdain E., 2012)</i>	7
1.3 DEVELOPPEMENT EN ITALIE D'UN OUTIL D'AIDE AU PILOTAGE DE LA CULTURE DU BLE DUR	7
1.3.1 <i>Présentation d'Horta (Horta, 2012)</i>	7
1.3.2 <i>Présentation générale de Granoduro.net (Rossi V. et al., 2010)</i>	8
2 MATERIEL ET METHODE D'ETUDE DE GRANODURO.NET	10
2.1 PRESENTATION DES DIFFERENTS MODULES DE GRANODURO.NET	10
2.1.1 <i>Variables d'entrée</i>	10
2.1.2 <i>Développement phénologique (Rossi V. et al, 1997 ; Salinari F., 2012)</i>	10
2.1.3 <i>Densité de semis</i>	11
2.1.4 <i>Fertilisation azotée</i>	12
2.1.5 <i>Contrôle des adventices</i>	13
2.1.6 <i>Risques maladies</i>	14
2.1.6.1 <i>Septoriose</i>	16
2.1.6.2 <i>Rouille brune (Rossi V. et al., 1997)</i>	17
2.1.6.3 <i>Fusariose des épis</i>	17
2.1.6.4 <i>DON</i>	18
2.2 DETERMINATION DES CAS D'ETUDE FRANÇAIS	19
2.2.1 <i>Variété</i>	19
2.2.2 <i>Date</i>	19
2.2.3 <i>Lieu</i>	19
2.2.4 <i>Définition de l'objectif de rendement</i>	20
2.3 IDENTIFICATION ET MISE EN PLACE DES ELEMENTS NECESSAIRES AU FONCTIONNEMENT DE L'OUTIL EN CONDITIONS FRANÇAISES	20

2.3.1	<i>Données météorologiques</i>	20
2.3.2	<i>Données géographiques</i>	21
2.3.3	<i>Données variétales</i>	21
2.4	METHODE D'EXPERTISE	23
3	EXPERTISE DES RESULTATS DE GRANODURO.NET	24
3.1	SIMULATION ET ANALYSE DES ECARTS	24
3.1.1	<i>Développement phénologique</i>	24
3.1.2	<i>Gestion du semis</i>	25
3.1.3	<i>Gestion des adventices</i>	26
3.1.4	<i>Gestion de la fertilisation azotée</i>	27
3.1.5	<i>Gestion des maladies</i>	29
3.1.5.1	Septoriose	30
3.1.5.2	Rouille brune	31
3.1.5.3	Fusariose des épis	32
3.1.5.4	DON	33
3.2	AVIS SUR GRANODURO.NET	34
3.2.1	<i>Avis global</i>	34
3.2.2	<i>Avis sur chaque module</i>	34
3.2.2.1	Développement phénologique	34
3.2.2.2	Gestion de la densité de semis	34
3.2.2.3	Gestion des adventices	35
3.2.2.4	Gestion de la fertilisation azotée	35
3.2.2.5	Gestion des maladies	36
3.3	PROPOSITIONS DE PISTES A POURSUIVRE	37
3.3.1	<i>Approfondissement de l'étude</i>	37
3.3.2	<i>Expérimentations</i>	37
3.3.3	<i>Amélioration des modules</i>	38
	CONCLUSION	38
	BIBLIOGRAPHIE	41
	SITOGRAFIE	44
	LISTE DES ANNEXES	45

Liste des abréviations

- BDHQ : Blé Dur de Haute Qualité
- CRPA : Centre de Recherches en Productions Animales
- DON : Déoxynivalénol
- GARICC : Génotypes de blé dur et Adaptation Régionale aux Itinéraires techniques et aux Contraintes Climatiques
- MSEP : Mean Square Error of Prediction (erreur quadratique moyenne de prédiction)
- OAD : Outil d'Aide à la Décision
- PAC : Politique Agricole Commune
- PMG : Poids de Mille Grains
- RMSEP : Root Mean Square Error of Prediction
- ZEA : Zéaralénone

Liste des illustrations

Figure 1 : Carte de la surface cultivée en blé dur (ha) par département en 2010 (source : Agreste).....	3
Figure 2 : Graphique d'évolution de la surface et de la production de blé dur en France (source : Agreste).....	4
Figure 3 : Diagramme conceptuel de Granoduro.net (source : Rossi V. et al, 2010).....	8
Figure 4 : Capture d'écran de la page d'accueil de Granoduro.net (source : Horta).....	9
Figure 5 : Capture d'écran de la courbe de développement phénologique établie par Granoduro.net pour un blé dur semé le 27 octobre 2006 à la station d'En Crambade (source : Horta).....	10
Figure 6 : Capture d'écran de la courbe de développement foliaire établie par Granoduro.net pour un blé dur semé le 27 octobre 2006 à la station d'En Crambade (source : Horta).....	11
Figure 7 : Capture d'écran du module désherbage de Granoduro.net pour un blé dur semé le 31/10/2011 à la station d'En Crambade (données d'entrée à gauche, liste des produits herbicides proposés à droite) (source : Horta).....	14
Figure 8 : Capture d'écran des périodes d'application possibles du traitement sélectionné (source : Horta).....	14
Figure 9 : Captures d'écran des sorties de Granoduro.net pour la prévision du risque de septoriose (source : Horta).....	16
Figure 10 : Capture d'écran des sorties de granoduro.net pour la prévision du risque de rouille brune (source : Horta).....	17
Figure 11 : Captures d'écran des sorties de Granoduro.net pour la prévision du risque de fusariose (source : Horta).....	18
Figure 12 : Capture d'écran de la sortie de Granoduro.net pour la prévision du risque DON (source : Horta).....	18
Figure 13 : Graphique de prévisions de stade de Granoduro.net et dates observées au Magneraud (Horta, ARVALIS-Institut du végétal).....	24
Figure 14 : Graphique de comparaison des conseils en densité de semis (Horta, ARVALIS-Institut du végétal).....	26
Figure 15 : Capture d'écran des indications fournies par l'outil sur le produit herbicide sélectionné.....	27
Figure 16 : Comparaison des conseils de quantité totale d'azote à apporter (kgN/ha) pour chaque cas-type (Horta, ARVALIS-Institut du végétal).....	27
Figure 17 : Graphique de comparaison des quantités d'azote à apporter selon Granoduro.net et la méthode Sud-Ouest (Horta, ARVALIS-Institut du végétal).....	29
Figure 18 : Graphique comparatif des notes de septoriose attribuées dans les essais et calculées par Granoduro.net (Horta, ARVALIS-Institut du végétal).....	30
Figure 19 : Graphique de comparaison des notes de rouille brune établies par Granoduro.net et dans les expérimentations françaises (Horta, ARVALIS-Institut du végétal).....	31
Figure 20 : Graphique de comparaison des notes de rouille brune calculées par Granoduro.net et par le modèle Baromètre Rouille Brune (Horta, ARVALIS-Institut du végétal).....	31
Figure 21 : Graphique comparatif de l'estimation du risque de rouille brune selon la source (Horta, ARVALIS-Institut du végétal).....	32
Figure 22 : Graphique comparatif des notes de fusariose établies dans les essais et calculées par Granoduro.net (Horta, ARVALIS-Institut du végétal).....	33

Liste des tableaux

<i>Tableau 1 : Informations à entrer dans l'outil (● champs obligatoires) (source : Horta)</i>	<i>10</i>
<i>Tableau 2 : Facteurs climatiques et variétaux pris en compte dans les modèles maladies de Granoduro.net (Salinari F.).....</i>	<i>15</i>
<i>Tableau 3 : Caractérisation des stations d'étude dans Granoduro.net.....</i>	<i>21</i>
<i>Tableau 4 : Définition de la sensibilité de Miradoux aux différentes maladies prises en compte dans Granduro.net (ARVALIS-Institut du végétal, Horta)</i>	<i>22</i>
<i>Tableau 5 : Comparaison de la qualité prédictive des modèles par stade (en l'absence de recalage).....</i>	<i>25</i>
<i>Tableau 6 : Comparaison des classements des cas d'étude selon le risque DON établis par Granoduro.net et par Myco-LIS (Horta, ARVALIS-Institut du végétal).....</i>	<i>33</i>
<i>Tableau 7 : Synthèse des aspects positifs et des points à améliorer de Granoduro.net.....</i>	<i>34</i>

Introduction

De nombreuses contraintes pèsent actuellement sur la production agricole française : évolution de la Politique Agricole Commune (PAC), évolutions réglementaires (plan Ecophyto 2018, directive nitrate), concurrence entre cultures et changements climatiques. Il existe aussi de fortes contraintes de qualité pour les cultures destinées à l'alimentation humaine telles que le Blé dur (*Triticum Turgidum* ssp. *Durum*). Le blé dur est transformé en semoule puis en pâtes ou en couscous.

La principale zone de consommation mondiale de cette céréale se situe dans le pourtour méditerranéen. Au niveau mondial, la France était le sixième pays producteur en 2010 (2.5 Mt), derrière le Canada (5.4 Mt), l'Italie (4 Mt), les Etats-Unis (3 Mt), la Turquie (3.1 Mt) et l'Algérie (2.9 Mt), mais est aujourd'hui le deuxième pays exportateur (1.9 Mt en 2011) (Lelamer O., Rousselin X., 2011).

Il est donc primordial pour la filière française de maintenir sa compétitivité (en maintenant la quantité et la qualité de la production). La stratégie de conduite de la culture mise en place par les agriculteurs y contribue fortement. En effet, une application raisonnée des intrants permet de les optimiser, de limiter les pertes de production et de maintenir une bonne qualité technologique.

Afin d'apporter un conseil technique aux producteurs et de répondre aux besoins de la filière de plus en plus d'outils d'aide à la décision (OAD) sont développés par des organismes comme ARVALIS-Institut du végétal.

Ce dernier est un institut de recherche appliquée qui produit des références technico-économiques et agronomiques depuis 1959, sur les céréales à paille, maïs, sorgho, protéagineux, pommes de terre, lin et fourrages. Ces références sont diffusées par voie de presse, dans le cadre de communications orales et sont également valorisées dans la mise au point d'OAD. En effet, développer une offre globale d'OAD constitue l'une des sept priorités majeures d'ARVALIS-Institut du végétal (Programme d'activités 2010-2011). Mais à ce jour, les recherches sont principalement menées pour le blé tendre, et sur des domaines tels que le pilotage de la fertilisation azotée, la lutte contre la septoriose, la prévision du risque qualité sanitaire ou les prévisions des stades phénologiques.

Dans le cadre de sa mission de veille technique et scientifique, l'Institut a identifié en Italie un OAD intégré, Granoduro.net, utilisé par les agriculteurs depuis deux ans. Ce dernier est composé de modules de gestion de la densité de semis, des adventices, de la fertilisation azotée et de modèles de développement phénologique et des maladies (septoriose, rouille jaune, rouille brune, oïdium, fusariose).

Les modèles sont des représentations simplifiées de la réalité qui décrivent le fonctionnement d'un système par des relations mathématiques, mais les phénomènes modélisés sont rarement entièrement connus et compris. De plus les modèles de Granoduro.net sont ajustés et paramétrés aux conditions italiennes de culture. L'approche globale de Granoduro.net présente donc un fort intérêt pour les agriculteurs français, à condition de donner des résultats cohérents avec ce qui est observé au champ.

Les objectifs du stage sont tout d'abord de prendre en main l'outil, puis d'évaluer sa pertinence en conditions françaises, s'il peut répondre aux besoins de la filière blé dur, son intérêt par rapport aux outils développés par ARVALIS-Institut du végétal, ainsi que l'identification d'améliorations (modules complémentaires) ou d'adaptations nécessaires (modules existants).

Afin de déterminer si l'outil italien peut être utilisé dans les conditions de production françaises du blé dur, nous allons tout d'abord étudier ses paramètres et son fonctionnement,

ce qui permettra de savoir quelles sont les données à fournir et de définir les cas d'étude français. Les sorties de Granoduro.net seront comparées aux résultats obtenus dans les essais français, ainsi qu'avec certains outils développés par ARVALIS-Institut du végétal, afin de faire une interprétation plus poussée et d'identifier les aspects positifs et les points à améliorer.

Pour cela nous dresserons dans un premier temps un rapide panorama de la production de blé dur en France et des travaux menés au sein d'ARVALIS-Institut du végétal. Dans un deuxième temps nous présenterons cet outil et les méthodes utilisées pour évaluer sa pertinence. Nous terminerons par l'expertise de Granoduro.net et des propositions de pistes de poursuite à l'issue de ce mémoire.

1 Contexte de l'étude

Un rapide panorama de la production française de blé dur permet de comprendre les enjeux liés à cette culture, auxquels la filière doit faire face. Ensuite, les outils proposés par ARVALIS-Institut du végétal et l'entreprise italienne Horta pour répondre aux enjeux de production et de qualité seront présentés.

1.1 Production de blé dur en France

L'Union Européenne est la première région productrice de blé dur au niveau mondial et la France constitue le 2^{ème} pays européen producteur de blé dur derrière l'Italie (FranceAgrimer, 2011).

Cependant cette production est localisée dans quatre bassins de production, liée en majeure partie aux contraintes pédoclimatiques. En effet, le blé dur est sensible au froid et ne peut pas être cultivé en zones de montagne ou dans le Nord-Est de la France. De plus, les conditions climatiques à la récolte doivent être sèches pour assurer une bonne qualité technologique, ce qui ne permet pas de cultiver le blé dur dans les régions à climat très humide en été (Nord-Ouest de la France).

La production de blé dur est également localisée à proximité des industries de transformation (région Sud-Est et Centre) et près des ports d'exportation (La Pallice et Port la Nouvelle) (Guillaume S., 2011).

1.1.1 Les quatre bassins de productions

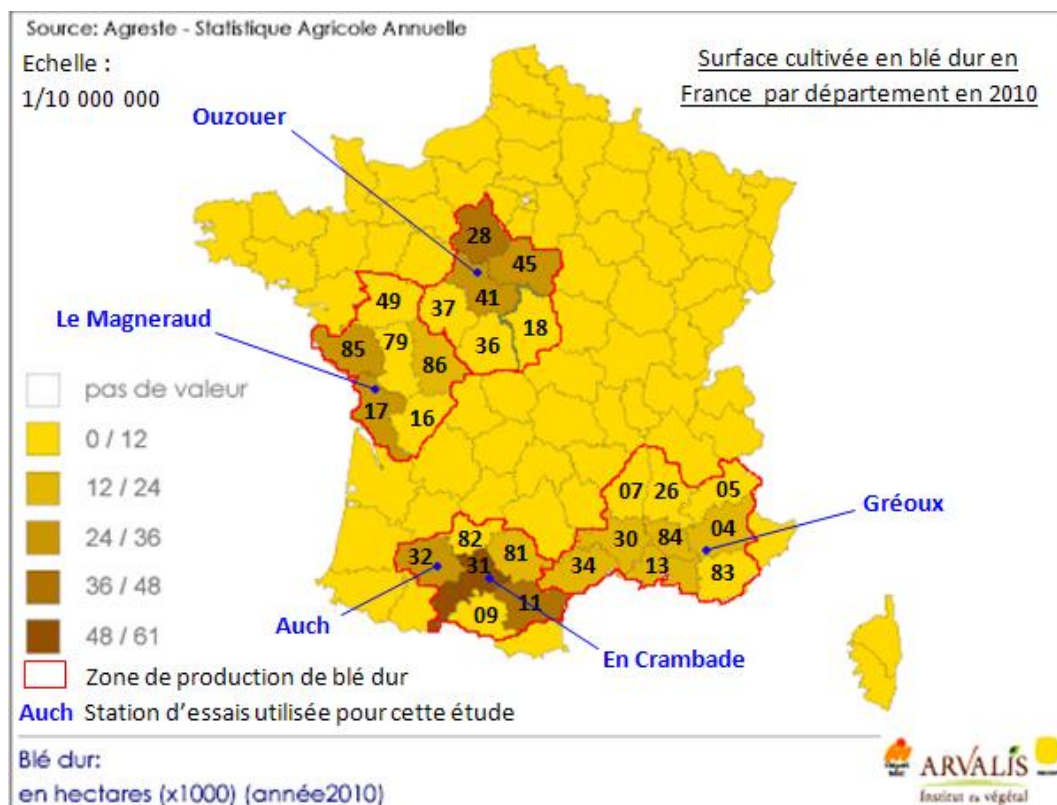


Figure 1 : Carte de la surface cultivée en blé dur (ha) par département en 2010 (source : Agreste)

La figure 1 permet de visualiser les bassins de production de blé dur, répartis en quatre zones :

- Le Centre-Bassin parisien (132000ha, 5.8t/ha), qui présente un potentiel élevé lié au contexte pédoclimatique de cette région et à la possibilité d'irriguer (80% des surfaces de blé dur sont irriguées au Nord de la Loire, 20% au Sud de la Loire) et où la culture du blé dur entre en concurrence avec le blé tendre, maïs ou colza (Soenen B., 2012) ;

- La région Ouest-Océan (92000 ha, 5.3t/ha), présente aussi un potentiel de production élevé, particulièrement en marais (10% du blé dur est irrigué). La production de blé dur dans l’Ouest-Océan entre en concurrence avec le blé tendre, maïs et tournesol (Moynier J.-L., 2012);
- Le Sud-Ouest (165000ha, 5t/ha), qui présente un potentiel assez élevé dans les argilo-calcaire profonds. Mais le blé dur est également cultivé dans des secteurs à potentiel plus faible en broussailles, dans des sols plus superficiels ou des secteurs à contraintes climatiques fortes en fin de cycle. Le blé dur dans le Sud-Ouest est cultivé en rotation avec du tournesol et plus rarement avec des protéagineux, du colza, du sorgho ou du maïs semence. Moins de 10% du blé dur est irrigué dans cette région (Vallade S., 2012).
- Le Sud-Est (104000ha, 3.4t/ha), où les fortes contraintes agro-climatiques entraînent un rendement moyen plus faible. Le recours à l’irrigation est très limité (5% du blé dur est irrigué). Le blé dur peut être cultivé en monoculture ou en rotation avec du colza ou des protéagineux ou des précédents très variés (tournesol, maraichage, fourrages, maïs...) (Jézéquel S., 2012).

Dans les régions Sud-Est et Sud-Ouest, l’effet climat est important, et entraîne de fortes variations de rendement d’une année sur l’autre. Cependant, la transformation industrielle du blé dur et son prix de vente élevé permet à ces régions de valoriser au mieux des potentiels limités.

1.1.2 Evolution de la production

La culture du blé dur est apparue en France dans les années soixante. Elle a connu une première phase de progression jusqu’à la réforme de la PAC de 1992, où la production chute de 2,3Mt à moins d’un million de tonnes, puis une deuxième phase pendant laquelle la production remonte pour atteindre 2,5Mt en 2010 (figure 2). Cette augmentation est liée à une progression des surfaces (500 000ha en 2010), le rendement stagnant à 4,9t/ha en moyenne en 2010 (Vallade S., 2011).

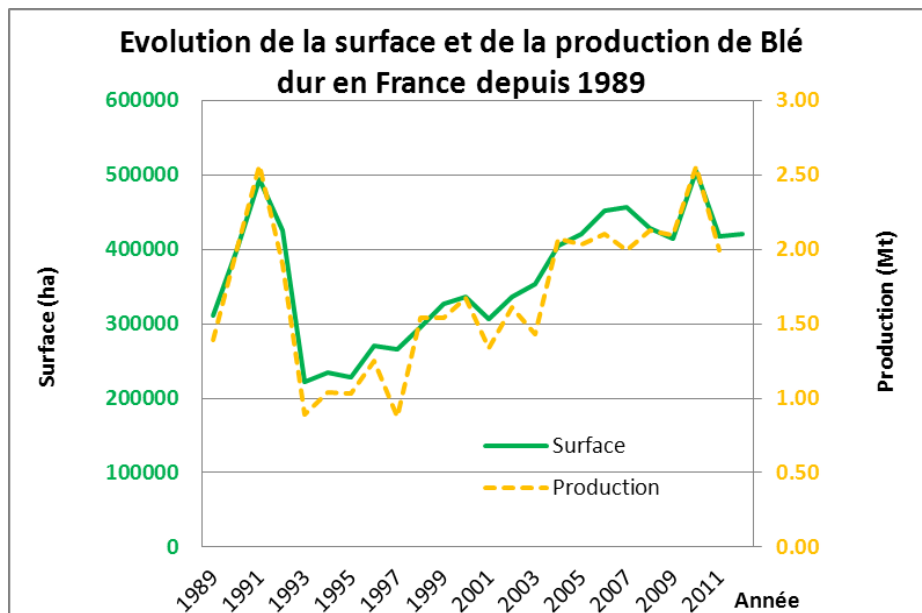


Figure 2 : Graphique d'évolution de la surface et de la production de blé dur en France (source : Agreste)

La réforme de la PAC en 1992 a réduit fortement la production de blé dur dans les régions Centre et Ouest-Océan et, au contraire, les a fait augmenter dans la région Sud, du fait d’une prime spécifique liée à la production de blé dur. Puis les surfaces ont ré-augmenté dans

les régions Centre et Ouest-Océan, variant selon le contexte économique et les écarts de prix entre blé dur, blé tendre ou colza (L'Herbier C., 2012).

Le soutien de l'Etat pour cette culture tend à diminuer avec le découplage des aides depuis 2003 et la réforme de la PAC de 2013, la maîtrise des coûts de production est primordiale pour que la culture reste rentable.

1.1.3 La filière blé dur en France

Le blé dur représente la quatrième céréale cultivée en France, derrière le blé tendre, le maïs et l'orge, avec 417 000 hectares cultivés et 2 millions de tonnes récoltées en 2011 (Agreste).

Le blé dur est exclusivement destiné à l'alimentation humaine, après transformation en semoule puis en pâtes ou en couscous. De ce fait, cette culture doit répondre à de nombreux critères de qualité, afin d'obtenir une semoule de qualité, compétitive sur le marché. En effet, seul un tiers de la production française est consommé sur le marché intérieur, un autre tiers est exporté dans l'Union Européenne (Italie, Allemagne, Benelux principalement) et le dernier tiers est exporté vers les pays tiers, notamment le Maghreb (Algérie) (Vallade S., 2011).

Les critères pris en compte pour évaluer la qualité du blé dur sont définis dans les paragraphes suivants (Pascal B. 2011).

Les contrats commerciaux exigent une **teneur en protéines** de 14%. Elle impacte le comportement des pâtes à la cuisson. Elle dépend de l'alimentation en azote de la culture et est liée au rendement : des apports précoces favorisent la croissance en biomasse et la mise en place des organes participant à l'augmentation du rendement, mais avec une teneur en protéines plus faible, alors que les apports tardifs favorisent le transfert de l'azote vers les grains et la teneur en protéines (Guillaume S., 2011).

Le **mitadinage** est un accident physiologique qui se traduit par un changement de texture de l'albumen du grain : présence de zones farineuses et opaques, au lieu d'avoir une amande entièrement vitreuse, ce qui fait chuter le rendement semoulier. Les industries exigent ainsi un taux de mitadin (nombre de grains partiellement ou totalement farineux dans un lot de grains) inférieur à 20%. Une carence en azote est à l'origine de ce phénomène. Des travaux menés par l'INRA et ARVALIS-Institut du végétal (Samson M.F., Desclaux D., 2006) ont ainsi montré que le fractionnement en 3 ou 4 apports de la dose d'azote, avec un apport tardif à la floraison permet d'améliorer la teneur en protéines et de diminuer le mitadinage.

L'aspect visuel est évalué par deux indices, il faut un **indice de jaune** élevé (> 38) et à l'inverse un **indice de brun** faible (<38). Le premier est une caractéristique essentiellement variétale, le deuxième augmente avec la teneur en protéines mais dépend aussi de la variété.

La **moucheture** correspond à des plages de coloration brune ou noire sur les grains mûrs, qui restent visibles sur les pâtes alimentaires et en déprécient l'aspect. Des lots de grains présentant des taux de moucheture supérieurs à 5% peuvent être refusés. L'origine n'est pas parfaitement connue, une interaction forte hygrométrie et température entre 15 et 17°C à certains stades de développement de la culture pourrait être une des causes (de manière indirecte), ainsi que les piqûres de larves de thrips et le développement de certains champignons tels que *Microdochium spp.* (Samson M.F., Desclaux D., 2006).

Les fusariotoxines contaminent les grains des céréales à partir de la floraison et sont toxiques, même à faible dose, pour les animaux et les êtres humains. Le **Déoxynivalénol** (DON) est la mycotoxine la plus fréquemment rencontrée dans les champs et est majoritairement produite en France par *Fusarium graminearum* (Gourdain E., PA avril 2012). La Commission Européenne a imposé en 2006 une limite maximale réglementaire de 1750 µg DON/kg de blé dur non transformé (Règlement CE N°1881/2006). Nous savons que la quantité de résidus à la surface du sol lors de la floraison du blé a un impact direct sur la

teneur en DON si le climat est favorable par la suite. De plus, le non enfouissement des résidus d'un précédent maïs ou sorgho constitue un facteur important de risque de développement de la fusariose et, bien qu'il n'y ait pas de lien direct entre fusariose et mycotoxines, une diminution de la pression maladie diminue aussi la pression des mycotoxines (Gourdain E., PA avril 2012).

Ainsi, la maîtrise des critères de qualité débute dans les champs et passe par une optimisation des interventions tout au long du cycle de la culture, avec notamment la gestion de la fertilisation azotée et du risque phytosanitaire.

Dans les régions Centre et Grand Ouest, la culture du blé dur constitue une valeur ajoutée et dans les régions du Sud de la France il est quasiment une des seules cultures possibles. Développer un OAD est crucial pour maximiser la rentabilité et pérenniser la production.

ARVALIS-Institut du végétal a mis au point de nombreux outils pour appuyer la conduite de la culture. Ne sont présentés dans les paragraphes suivants que ceux qui ont été utilisés dans le cadre de ce stage.

1.2 Outils ARVALIS-Institut du végétal pour le blé dur

1.2.1 Brochures « Choisir et décider » et « Protection des cultures »

La brochure « Choisir et décider » est éditée deux fois par an, à la fin de l'été et de l'automne. Pour chaque région ce document synthétise les résultats des essais ARVALIS-Institut du végétal, le bilan de la campagne précédente et présente ses préconisations en termes de variétés et d'interventions (gestion du semis, des adventices, lutte contre les ravageurs et les maladies).

Les dépliants « Protection des cultures » sont des tableaux donnant l'efficacité de chaque produit contre les différentes adventices ou maladies pouvant se rencontrer dans les champs, mis à jour chaque année.

1.2.2 Agrobox et Panoramix pour la prévision des stades

Le logiciel Panoramix regroupe des modèles de prévision de stades, de composantes de rendement et de rendement pour le blé tendre, le blé dur, l'orge d'hiver et l'orge de printemps, le maïs, le pois,... Pour le blé dur, trente-cinq variétés sont paramétrées à ce jour. Agrobox est un tableur permettant d'utiliser les modèles de Panoramix dans Excel.

A partir du semis, les principaux stades sont estimés, notamment levée, début tallage, épi à 1cm, un nœud, deux nœuds, épiaison, floraison, grain laiteux, grain pâteux, maturité (définition des stades en Annexe I).

Les données d'entrée nécessaires sont la date et la densité de semis, la variété et les informations sur le site (station météo, type de sol). Le modèle intègre les données climatiques de l'année en cours et l'historique climatique des 30 dernières années.

Lorsque l'on calcule la RMSEP (Root Mean Square Error of Prediction) sur des données n'ayant pas servi à établir le modèle, on obtient généralement un écart de plus ou moins cinq jours pour le stade épi à 1cm et plus ou moins trois jours pour le stade épiaison.

1.2.3 Le modèle Baromètre Rouille Brune (Gouache D., 2012)

C'est un outil interne à ARVALIS-Institut du végétal, développé sur Excel, pour estimer le risque de rouille brune. Le modèle Baromètre Rouille Brune est un modèle linéaire additif composé de variables climatiques : température, pluviométrie, évapotranspiration de référence et rayonnement global, sur des périodes de temps bien définies.

Les données ayant servi à mettre au point le modèle correspondent à des moyennes ajustées (sensibilité variétale, espèce, étage foliaire, stade de notation) par site-année des

notations de symptômes faites depuis 30 ans sur les deux derniers étages foliaires (F1 et F2) de témoins non traités, aux stades grain formé, grain laiteux et grain pâteux.

Les données d'entrée sont la station météorologique la plus proche du lieu d'étude, une année basse et une année haute pour la pression rouille brune, la note de résistance de la variété (de 1 très sensible à 9 très résistante) et les dates d'arrêt des calculs pour observer l'évolution des prévisions au cours de la campagne.

Il y a une première prédiction entièrement climatique, et une deuxième dans laquelle a été intégrée la sensibilité de la variété à la maladie.

1.2.4 Myco-LIS pour le risque DON (Gourdain E., 2012)

Myco-LIS est un outil estimant le niveau de risque agronomique DON avant floraison (Annexe II) ainsi que la teneur prévisionnelle en DON à la récolte pour la culture du blé dur et du blé tendre. Cette dernière est retranscrite en classes. On en distingue 3 pour le blé dur :

- DON < 1250 µg/kg blé dur ;
- 1250 µg/kg blé dur < DON < 2250 µgDON/kg blé dur ;
- DON > 2250 µg/kg blé dur.

Le modèle détermine également la plage de traitement fongicide optimale autour de la floraison, en fonction de la pluie (calcul de la date de floraison par Agrobox à partir de la date de semis).

Le modèle blé dur a été construit à partir des données des enquêtes parcellaires réalisées de 2001 à 2007 (comprenant un échantillon de grains pour analyser les mycotoxines et un questionnaire sur l'historique). Un traitement statistique a généré un modèle linéaire composé d'une vingtaine de variables climatiques combinées (sans interaction), centrées autour de la floraison (quantité et occurrence de la pluie et température, d'une semaine avant floraison jusqu'à quinze jours après).

L'outil permet à la fois de raisonner son passage fongicide à la floraison en estimant le risque agronomique et le stade d'intervention, mais également d'obtenir des informations sur la qualité sanitaire avant la récolte. A l'échelle d'un bassin de collecte d'une coopérative agricole, cet outil permet de prévoir le risque « qualité sanitaire » et de gérer son plan de collecte.

ARVALIS-Institut du végétal a développé des outils spécifiques, assez complexes et indépendants les uns des autres, utilisés soit par ses collaborateurs comme le modèle Baromètre Rouille Brune soit par les partenaires (techniciens d'organismes de stockage ou de chambre d'agriculture) comme l'outil Myco-LIS. L'institut est actuellement en réflexion sur la conception d'un OAD intégré comme Granoduro.net, permettant une gestion globale de la culture du blé dur, directement par l'agriculteur ou via des distributeurs.

1.3 Développement en Italie d'un outil d'aide au pilotage de la culture du blé dur

1.3.1 Présentation d'Horta (Horta, 2012)

Horta est une start-up issue de l'Université Catholique du Sacré Cœur, basée à Plaisance (Piacenza) en Italie. Elle a été créée en 2008 afin de répondre aux enjeux actuels d'amélioration de la durabilité des systèmes de culture, tout en préservant la qualité des produits. Elle est constituée d'une dizaine de salariés, est financée par les semenciers et utilise les infrastructures technologiques du Centre de Recherches en Productions Animales (CRPA).

Son objectif est d'augmenter la compétitivité des entreprises agricoles et agro-alimentaires en fournissant des services de haute qualité. Elle valorise les résultats issus de la recherche universitaire en développant des technologies d'information et de communication

innovantes et en adaptant ces innovations technologiques aux réalités de la production (nouveaux itinéraires techniques, produits et moyens techniques) en concertation avec les industries agroalimentaires.

Ainsi, la création, le développement et l'implémentation d'outils d'aide à la décision constitue la principale activité de l'entreprise (avec la gestion de projets et des expérimentations). A ce jour des OAD pour la vigne en agriculture biologique et pour le blé dur sont disponibles.

1.3.2 Présentation générale de Granoduro.net (Rossi V. et al, 2010)

Granoduro.net est un outil d'aide au pilotage de la culture de blé dur. Il fournit des conseils de gestion de la densité de semis, de la fertilisation azotée, des adventices et des maladies (rouille jaune, rouille brune, oïdium, septoriose, fusariose et risque DON).

Les modules maladies et de développement phénologique reposent sur des modèles mécanistes (ils expliquent le fonctionnement du système pathogène-plante-environnement dans son ensemble, en lien avec les variables qui peuvent l'influencer). Une procédure de résolution pas à pas fournit quant à elle les conseils en fertilisation, densité de semis et le contrôle des adventices, à partir de variables agronomiques et pédoclimatiques. L'utilisateur reste le preneur de décision (figure 3).

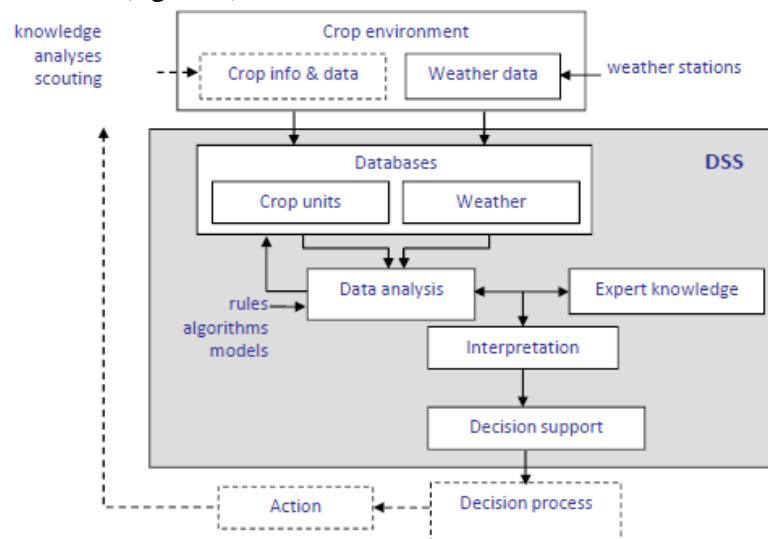


Figure 3 : Diagramme conceptuel de Granoduro.net (source : Rossi V. et al, 2010)

A ce jour il a été calibré pour toutes les régions italiennes et pour une dizaine de variétés commercialisées par les semenciers italiens. En effet, l'outil est vendu avec les semences et est mis à disposition dans le cadre d'un contrat de démarche qualité avec Barilla.

Pour recueillir les informations nécessaires au fonctionnement de l'outil, Horta a créé un réseau de stations météorologiques, des fermes types et stations expérimentales qui couvrent les zones de production du blé dur sur le territoire italien. Les stations météorologiques mesurent la température de l'air (°C), l'humidité relative (%), l'humidité des feuilles (oui/non), la pluviométrie (mm) et envoient les résultats toutes les 3 à 15 minutes. Le réseau de fermes-types et stations expérimentales permet de récolter des données utilisées pour évaluer et améliorer les modèles. L'outil fait tourner automatiquement les modèles une fois par jour.

Il a été conçu pour pouvoir être utilisé facilement, par les agriculteurs notamment.

Ces derniers peuvent ainsi y accéder sur une plateforme extranet. Cela permet une consultation rapide, disponible à tout moment.

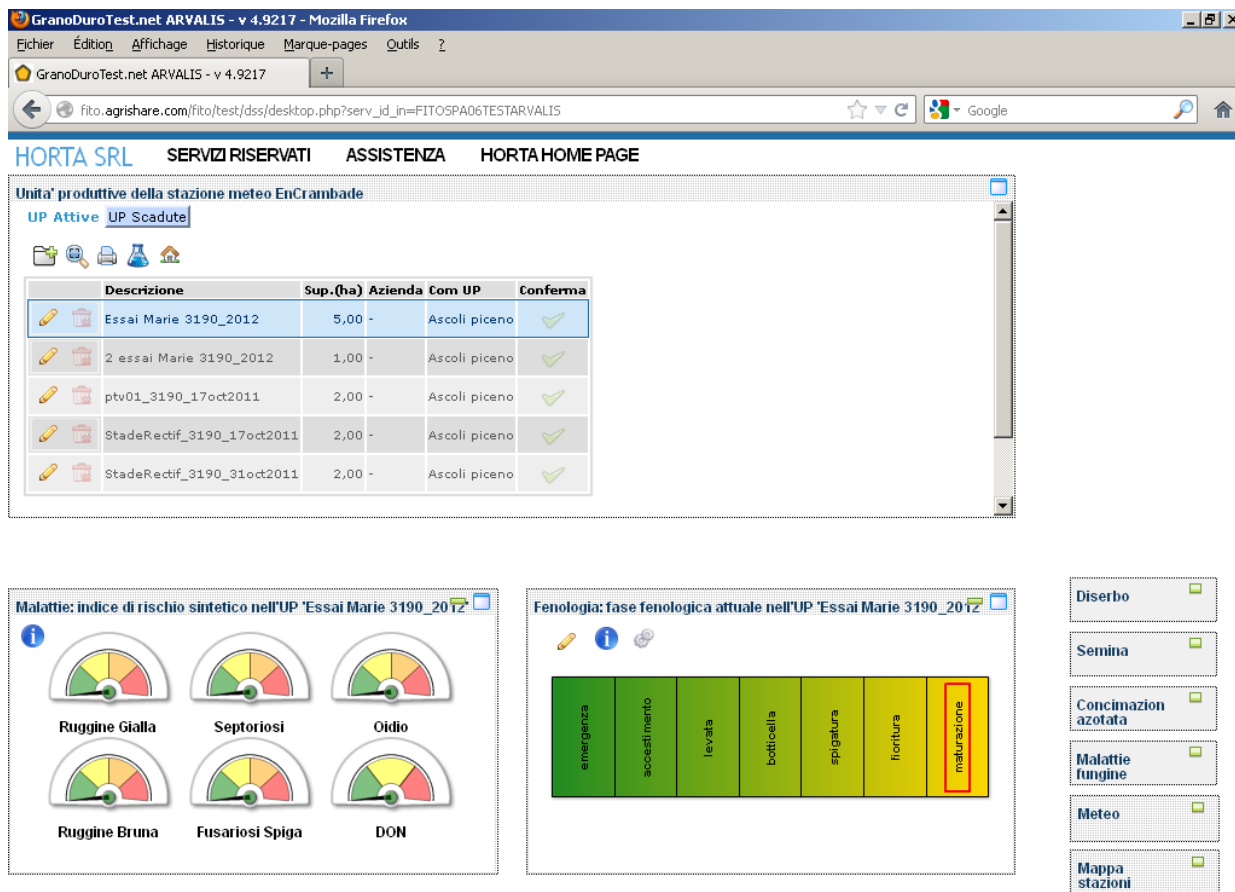


Figure 4 : Capture d'écran de la page d'accueil de Granoduro.net (source : Horta)

L'utilisateur a une vision d'ensemble de l'état de sa culture (figure 4).

Etant donné le mode de diffusion (contrats qualité Barilla), moins d'1% des agriculteurs italiens (soit 350 personnes) ont utilisé Granoduro.net pour cette campagne. Ils semblent globalement satisfaits de l'outil, qui a permis de faire des économies de produits phytosanitaires (interview d'un utilisateur et des concepteurs de l'OAD). Et Granoduro.net n'est à disposition des agriculteurs que seulement depuis deux ans dans le Nord de l'Italie. L'ouverture aux régions Centre et Sud de l'Italie devrait sensiblement augmenter le nombre d'utilisateurs pour les campagnes à venir (agriculteurs, techniciens des coopératives et structures agroindustrielles).

Nous allons par la suite tenter d'évaluer s'il est adaptable aux conditions de culture du blé dur français.

2 Matériel et méthode d'étude de Granoduro.net

Granoduro.net a été présenté à des membres d'ARVALIS-Institut du végétal lors de visites en Italie mais n'a jamais été utilisé en France. Afin de pouvoir le faire il faut tout d'abord comprendre son fonctionnement et savoir quelles sont les données nécessaires. Ceci permettra de définir ensuite la méthode d'expertise.

2.1 Présentation des différents modules de Granoduro.net

2.1.1 Variables d'entrée

Les données à entrer par l'utilisateur sont présentées dans le tableau 1 ci-dessous.

Tableau 1 : Informations à entrer dans l'outil (● champs obligatoires) (source : Horta)

<u>Identification-Localisation</u>	<u>Texture et fertilité du sol</u>
● Station météorologique	Présence de cailloux ou non
● Identification de l'unité de culture	● Texture
● Surface (ha)	● Taux de Matière Organique (%)
Zone vulnérable aux nitrates ou non	● Teneur en azote du sol (‰)
● Coordonnées	● Aération du sol
● Altitude	<u>Semis</u>
<u>Système de culture</u>	Qualité du semis
● Variété de blé dur	Profondeur de semis (cm)
● Rendement attendu	Risque d'inondation
● Culture précédente	Poids de mille grains (g)
● Outil de travail du sol	<u>Fertilisation organique</u>
● Date de semis	Type d'effluent organique
	Fréquence d'application
	Quantité épandue (t/ha)
	Teneur en azote (%)

L'unité de culture est un champ semé sur un terrain homogène (mêmes caractéristiques de sol), avec la même variété de blé et cultivé de manière identique, de la culture précédente à la récolte.

2.1.2 Développement phénologique (Rossi V. et al, 1997 ; Salinari F., 2012)

L'outil prédit les dates de début et fin de six phases phénologiques ; la figure 5 ci-dessous est un exemple de sortie (définition des stades en Annexe I) :

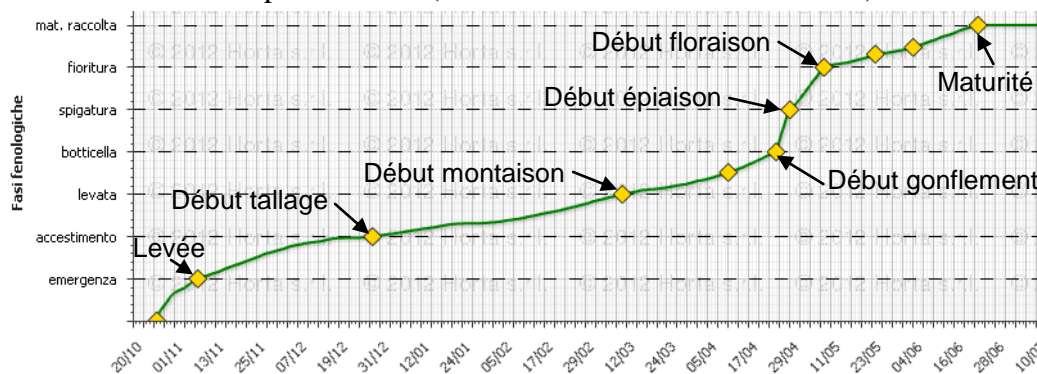


Figure 5 : Capture d'écran de la courbe de développement phénologique établie par Granoduro.net pour un blé dur semé le 27 octobre 2006 à la station d'En Crambade (source : Horta)

Jusqu'en 2011 le stade était indiqué quand 50% des plantes ou organes l'avaient atteint. Mais pour la floraison le stade Z65 était trop tardif (à l'anthèse le risque de fusariose est très élevé et rapide). Pour permettre aux utilisateurs de réagir, depuis cette année, le stade est indiqué quand 10% des plantes ou organes l'ont atteint (Z 61 pour la floraison).

Le tallage débute au moment de l'apparition de la 4^{ème} feuille. Seules les deux talles (tiges) principales sont prises en compte.

La somme de température en degré-jour correspondant à chaque phase est calculée en sommant les produits quotidiens de la température efficace de la journée ($T^{\circ}\text{moy} - T^{\circ}\text{de base}$) par un facteur photopériodique qui dépend lui-même du nombre d'heures quotidiennes photosynthétiquement efficaces (durée du jour – durée du jour de base en-dessous de laquelle le développement floral ne peut s'effectuer) (Rossi V. et al, 1997), où $T^{\circ}\text{moy}$ correspond à la moyenne entre la température minimale et la température maximale de la journée et $T^{\circ}\text{de base}$, la température en-dessous de laquelle on considère qu'il n'y a aucun développement de la culture.

Le développement de la surface totale et photosynthétiquement active de chaque feuille est calculé depuis leur apparition jusqu'à leur sénescence complète, basé sur la date de semis, la variété de blé et des variables climatiques. Cependant il permet uniquement d'avoir un aperçu des tissus pouvant être exposés aux maladies foliaires, il n'est pas mis en relation avec les modules maladies de l'outil (exemple de sortie donné en figure 6).

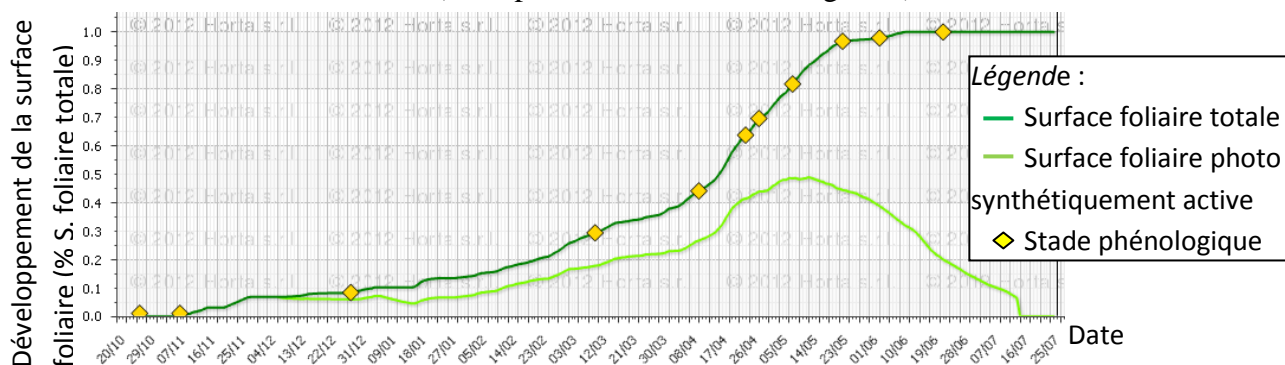


Figure 6 : Capture d'écran de la courbe de développement foliaire établie par Granoduro.net pour un blé dur semé le 27 octobre 2006 à la station d'En Crambade (source : Horta)

L'outil calcule aussi la proportion d'anthères sorties, prise en compte dans l'évaluation du risque de fusariose de l'épi.

2.1.3 Densité de semis (Rossi V. et al, 2010 ; Meriggi P., 2012)

La gestion de la densité de semis est raisonnée en termes de nombre d'épis, variable selon la variété mais correspondant en moyenne à 450 – 550 épis/m² dans le Nord de l'Italie, 430 – 500 épis/m² dans le Centre de l'Italie côté adriatique et 400 – 450 épis/m² dans le Sud de l'Italie. Afin d'atteindre ces objectifs, entre 250 et 400 plantes/m² sont nécessaires à la levée (selon la variété, la région et la date de semis).

Le modèle part d'une densité standard qui tient compte de la capacité de germination, de tallage et de la sensibilité à la verse de chaque variété, selon la région de culture. On considère que 90% des graines germent.

Cette valeur est modulée selon la texture du sol. La levée est considérée comme étant plus hétérogène dans les terrains argileux.

Les conditions climatiques hivernales affectent aussi la capacité de tallage des plantes. Selon l'altitude de la parcelle et la somme de températures moyennes des mois de novembre, décembre, janvier et février (en base 5°C, pour mieux différencier les régions) la densité standard est augmentée (de 0 à 25%).

La précocité du semis impacte également le développement végétatif de la culture. Plus il est tardif et plus la capacité de tallage diminue, donc plus on augmente la densité de semis, afin de compenser l'apport thermique plus faible. Cependant, pour des semis réalisés à partir du mois de janvier, on n'augmente plus la densité de semis car le coefficient de tallage arrête de diminuer.

La densité standard est aussi augmentée de 10% s'il y a des pierres dans le terrain (déterminée par expérience).

On obtient un premier nombre théorique de grains à semer par mètre carré, constituant un compromis entre une maximisation quantitative et qualitative du rendement (en particulier le taux de protéines et la taille du grain) et une minimisation du risque de verse.

Les pertes à la levée sont ensuite prises en compte en multipliant ce nombre théorique par d'autres coefficients, selon :

- l'appréciation qui a été faite de la qualité du lit de semis ;
- la profondeur du semis ;
- le risque d'inondation (estimé lors du semis).

Le nombre obtenu est enfin multiplié par le poids de mille grains (indiqué par le semencier) et divisé par cent pour obtenir la quantité de grains à semer en kilogrammes par hectare.

Le principe du module est résumé par le diagramme de l'Annexe III.

2.1.4 Fertilisation azotée (Rossi V. et al, 2010 ; Meriggi P., 2012)

La gestion de la fertilisation azotée a pour but d'optimiser le rendement quantitatif et qualitatif de la culture tout en minimisant les risques environnementaux. Le principe du module est résumé par le diagramme de l'Annexe IV.

Le modèle prend en compte quatre postes de consommation de l'azote :

- **L'azote absorbé par la plante**, dépend de la variété et du potentiel de rendement (Rendement estimé x Besoin unitaire en azote de la culture) ;
- **L'azote lessivé par la pluie** entre le 1^{er} octobre et le 31 janvier (période pendant laquelle le terrain est nu ou le blé n'est pas assez développé pour absorber l'azote de manière efficace) s'il tombe plus de 150mm ; ce lessivage est estimé par un modèle linéaire (la moitié de l'azote disponible est lessivé s'il tombe 200mm de pluie et tout est lessivé à partir de 250mm) ;
- **L'azote lessivé par la pluie en février**, s'il a plu plus que 250mm entre le 1^{er} octobre et le 31 janvier et qu'il a plu en février, alors ce surplus de pluie (par rapport à 250mm) est ajouté aux précipitations du mois de février pour estimer ce qui a aussi été lessivé pendant ce mois (avec 1kg N lessivé par 10mm de pluie) ;
- **L'azote absorbé par les résidus de culture**, dépend de la région et de la culture précédente (notamment si on a laissé ou récolté les pailles) ;
- **L'azote immobilisé** dans le sol ou volatilisé dans l'air, dépend de la texture et de l'aération du sol (bonne, avec beaucoup d'oxygène ; moyenne ou faible) et est égal à la quantité d'azote disponible dans le sol plus celle provenant de la minéralisation de la matière organique du sol le tout multiplié par un coefficient dépendant de la texture du sol ;

Auxquels on soustrait cinq postes de fourniture en azote :

- **L'azote disponible dans le sol**, dépend de la texture et de l'azote présent dans le sol ;
- **L'azote apporté par la pluie** ;

- **L'azote issu de la minéralisation de la matière organique du sol**, dépend du rapport C/N (<9, 9-12, >12) et de la texture du sol, multiplié par un coefficient temps de 0,6 (qui correspond au fait que le blé n'est pas présent toute l'année dans le champ) ;
- **L'azote issu de la minéralisation des résidus de culture**
- **L'azote issu de la minéralisation des effluents organiques apportés**, multiplié par le coefficient temps de 0,6.

Pour obtenir la quantité totale d'azote à apporter à la culture, la différence entre ce qui est consommé et ce qui est fourni est multipliée par un coefficient dépendant du travail du sol (par exemple si le semis est direct, il y a moins d'azote disponible pour la plante et celle-ci est moins apte à l'absorber, on augmente alors de 10% cette quantité). Cette dose totale est ensuite fractionnée.

Le **premier apport** est réalisé au **tallage**. La quantité est déterminée en multipliant la quantité totale d'azote à apporter à la culture par le coefficient ITP,

où $ITP = \frac{\sum \text{Pluie (1}^{\text{er}} \text{ octobre - 31 décembre)}}{\text{Température moyenne (21 octobre - 31 décembre)}}$.

Ce dernier est lui-même multiplié par un coefficient selon la région de culture.

Si cette quantité est inférieure à 16kg N/ha, on l'ajoute à la quantité du fractionnement suivant (on ne réalise pas d'apport au tallage).

Les pluies hivernales sont les plus conséquentes donc si elles sont importantes on les valorise en apportant une quantité élevée d'azote lors du premier apport.

Si la quantité totale d'azote à apporter moins la quantité apportée au tallage est inférieure à 90 kg, on ne réalise qu'un seul autre apport entre le début de la montaison et le stade 3 nœuds, avec :

$$N_{\text{montaison}} = N_{\text{app total}} - N_{\text{tallage}} + N_{\text{lessivé février}}$$

En effet il est préférable de réduire les passages pour diminuer les coûts et préserver le sol.

Si la quantité totale d'azote à apporter moins la quantité apportée au tallage est supérieure à 90 kg, **deux autres apports** sont réalisés :

- Un à la fin de tallage-**début montaison**, avec
 $N_{\text{épi 1cm}} = N_{\text{app total}} - N_{\text{tallage}} - N_{\text{gonfl}} + N_{\text{lessivé février}}$
- Un au stade **gonflement de l'épi**, avec
 $N_{\text{gonfl}} = N_{\text{app total}} \times \text{Coefficient (dépendant de la variété)}$

2.1.5 Contrôle des adventices (Rossi V. et al, 2010 ; Meriggi P., 2012)

Le but est d'aider l'utilisateur à sélectionner le minimum de produits possible, et le plus tôt possible dans les stades de croissance de la plante (pour avoir une dose d'herbicide basse et une compétition plante-adventice minimale).

Le module, mis en place en 2010, est mis à jour tous les ans, par Horta et le CRPA, en se référant aux publications du ministère, des firmes phytosanitaires et aux essais menés.

Les variables d'entrée sont la date du jour même, le stade de développement de la culture, ainsi que la ou les adventices (observées ou que l'utilisateur sait par expérience pouvant se développer dans la parcelle considérée). Il y a environ 70 adventices répertoriées dans l'outil (typiques du blé dur en Italie). De multiples informations sont disponibles sur chacune (classification, photographie et clefs de détermination). L'utilisateur peut sélectionner jusqu'à dix plantes différentes.

Si aucune application n'est possible au stade indiqué, aucun herbicide n'est proposé (la législation interdit notamment tout traitement à partir de la floraison).

Diserbo

Data: 14-03-2012

Fase Fenologica: inizio levata

Infestante 1: Avena fatua AVEFA

Infestante 2: Lolium multiflorum L

Infestante 3: Galium aparine GALA

Infestante 4:

Infestante 5:

Infestante 6:

Infestante 7:

Infestante 8:

Infestante 9:

Infestante 10:

Preparati commerciali [Inserisci (con Catalogo)]

Distributori Preferiti Tutti

	Categoria	Preparato	Scheda	Dist.	P.A.	Infestanti		
						AVEFA	LOLMU	GALAP
<input type="checkbox"/>	Cross spectrum	TRAXOS ONE				S	S	S
<input type="checkbox"/>	Cross spectrum	HUSSAR MAXX				S	S	S
<input type="checkbox"/>	Cross spectrum	COSSACK				S	S	S
<input type="checkbox"/>	Cross spectrum	ATLANTIS WG				S	S	MS
<input type="checkbox"/>	Cross spectrum	FLORAMIX				MS	S	S
<input type="checkbox"/>	Cross spectrum	DUKE EC				S	S	MS
<input type="checkbox"/>	Graminicida	TRAXOS PRONTO				S	S	R
<input type="checkbox"/>	Graminicida	AXIAL PRONTO				S	S	R
<input type="checkbox"/>	Graminicida	TRAXOS				S	S	R

Preparati commerciali selezionati

Nessun dato presente.

UP '2 essai Marie 3190_2012'

Figure 7 : Capture d'écran du module désherbage de Granoduro.net pour un blé dur semé le 31/10/2011 à la station d'En Crambade (données d'entrée à gauche, liste des produits herbicides proposés à droite) (source : Horta)

L'outil affiche la liste des différents produits utilisables, en indiquant la sensibilité de l'adventice au produit (S = + 95% adventices, MS = 70-95% adventices, R = - 70% adventices meurent); les produits qui agissent sur le plus grand nombre d'adventices sélectionnées et le plus efficacement possible sont indiqués en premier (figure 7).

L'utilisateur sélectionne les produits qu'il souhaite utiliser, un message d'erreur apparaît pour indiquer si les produits ne sont pas miscibles; en effet, afin de réduire les coûts et de préserver le sol, ils sont appliqués en un seul passage. Si on n'a pas d'information sur la miscibilité, par précaution les produits sont indiqués comme non miscibles.

Possibilità trattamento

POSSIBILITA' TRATTAMENTO

Prodotto	Primo giorno				Seconda giorno				Terzo giorno			
	0-6	6-12	12-18	19-24	0-6	6-12	12-18	18-24	0-6	6-12	12-18	18-24
FLORAMIX	no	no	si	si	si	si	si	si	si	si	no	no

Figure 8 : Capture d'écran des périodes d'application possibles du traitement sélectionné (source : Horta)

Pour finir, le module indique la période où l'application est possible (conditions d'applications du produit indiquées par les fabricants): entre 0 et 6h du matin, 6h - 12h, 12h - 18h, 18h - 24h, pour le jour même et les deux suivants (figure 8).

Elle dépend des conditions météorologiques: si la température est inférieure à un certain seuil ou s'il y a une pluie de 10mm il faut attendre un certain nombre d'heures avant l'application.

2.1.6 Risques maladies (Rossi V. et al, 2010 ; Salinari F. 2012)

Les maladies sont présentées sur la page web par ordre chronologique d'apparition au cours de la campagne. Tous les modèles de Granoduro.net sont des adaptations de modèles existants développés par l'Université Catholique et sont en continuelle amélioration grâce aux essais menés sur l'ensemble du territoire italien.

Pour déterminer les différents indices, des essais ont été menés, afin d'obtenir des courbes de réponse, donnant par exemple le nombre de spores en fonction de l'humidité relative, pour une température fixée et inversement. Tous les modèles correspondent à un risque climatique, pondéré ensuite par la sensibilité de la variété à la maladie (le modèle

fusariose prend également en compte des facteurs agronomiques). Les différents facteurs climatiques et variétaux pris en compte sont présentés dans le tableau 2 ci-dessous.

Tableau 2 : Facteurs climatiques et variétaux pris en compte dans les modèles maladies de Granoduro.net (Salinari F.)

Maladie	Indice	Variables
Rouille Jaune	Inoculum	T°air, Humidité Relative (HR)
	Infection	T°air, HR
	Pression infectieuse	T°air, Sensibilité de la variété à la maladie
Septoriose	Inoculum	HR
	Dispersion	Pluie
	Infection	T°air, HR
	Pression infectieuse	T°air, Sensibilité de la variété à la maladie
Oïdium	Infection	T°air, HR, Pluie, Durée Feuilles Mouillées
	Pression infectieuse	T°air, Sensibilité de la variété à la maladie
Rouille brune	Infection	T°air, HR, Pluie, Durée Feuilles Mouillées
	Pression infectieuse	T°air, Sensibilité de la variété à la maladie
Fusariose	Inoculum	T°air
	Dispersion	T°air, HR, Pluie
	Infection	T°air, HR, Durée Feuilles Mouillées
	Pression infectieuse	T°air, Sensibilité de la variété à la maladie

L'indice d'inoculum indique si les conditions météorologiques sont favorables ou non à la production d'inoculum, il varie entre 0 - aucun inoculum présent et 1 - quantité d'inoculum très élevée.

L'indice de dispersion mesure l'aptitude de l'inoculum à se déplacer : 0 les conditions ne sont pas favorables au déplacement de l'inoculum – 1 les conditions permettent un déplacement massif de l'inoculum.

L'indice d'infection correspond à l'aptitude des spores à causer une infection : 0 aucune spore n'est apte à causer une infection – 1 toutes les spores présentes peuvent causer une infection.

La pression infectieuse indique si les conditions sont favorables ou non au développement de la maladie : 0 pas d'infection – 1 beaucoup d'infections sont en cours et pourraient être à l'origine de symptômes très graves dans les jours à venir.

Elle est subdivisée en quatre classes de risque :

- **risque faible**, les conditions sont défavorables au développement de la maladie ;
- **risque moyen-faible**, les conditions sont assez favorables au développement de la maladie ;
- **risque moyen-élevé**, les conditions sont favorables au développement de la maladie ;
- **risque élevé**, les conditions sont très favorables au développement de la maladie.

La pression infectieuse d'un jour donné ne fait pas référence à la présence de symptômes de la maladie visibles ce jour-là, mais à un processus infectieux qui ne s'est pas encore manifesté. Elle est calculée pour les conditions relevées dans la station météorologique de référence, pour une culture conduite en suivant les indications de Granoduro.net. Des conduites de culture différentes (par exemple, semis trop dense ou trop faible, fumure déséquilibrée) peuvent entraîner des variations dont l'indice ne tiendra pas compte. De la même manière, des conditions ambiantes locales, par exemple, revers de pluie localisés, proximité de surfaces d'eaux importantes, peuvent induire une variabilité que l'index ne peut pas prendre en compte.

La rouille jaune et l'oïdium sont des maladies peu présentes en France et très peu de notations sont faites à leur sujet dans les essais. Le manque de données les concernant, tant au niveau français qu'au niveau des modules de l'OAD italien, nous a conduit à les écarter de l'étude.

2.1.6.1 Septoriose

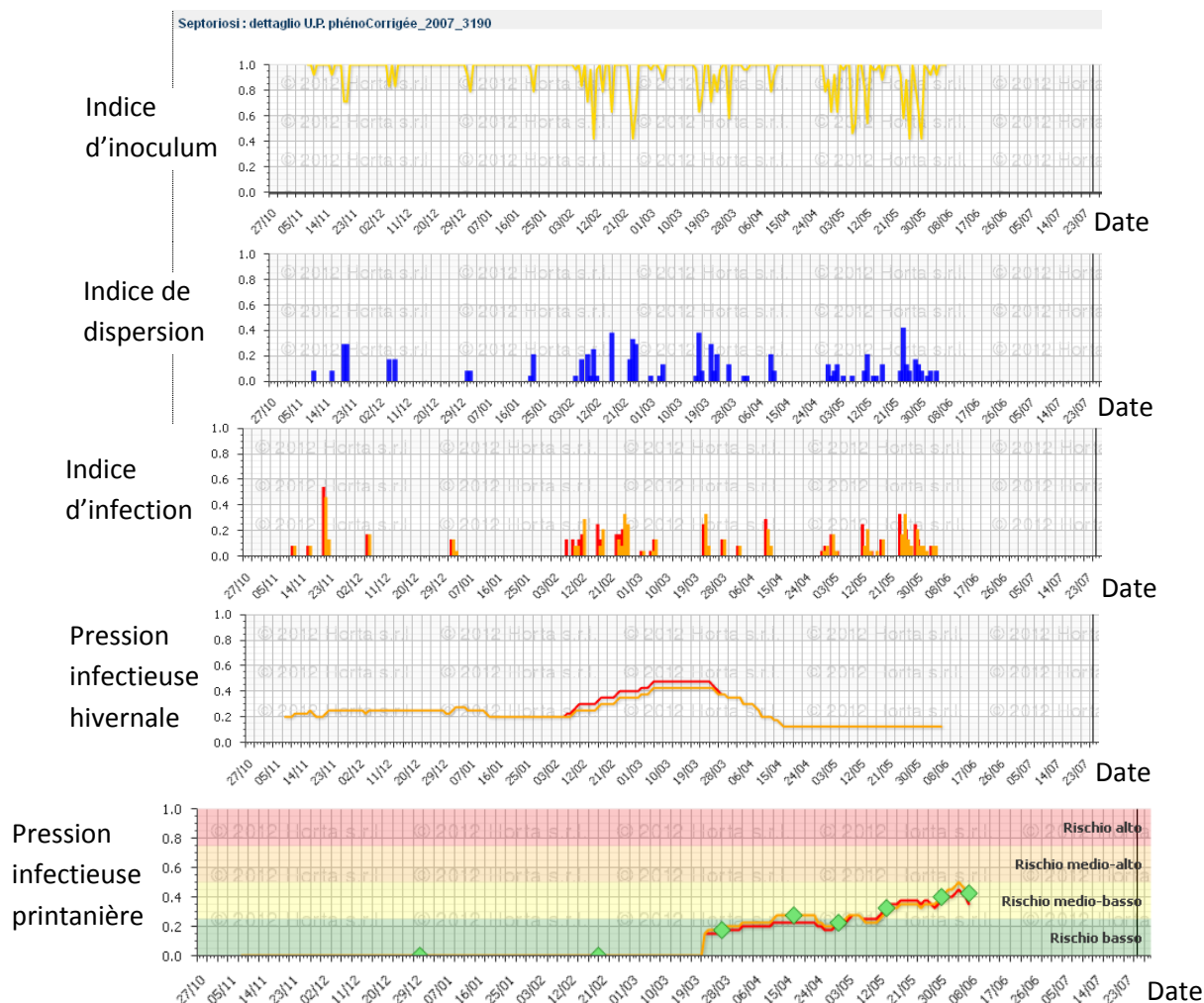


Figure 9 : Captures d'écran des sorties de Granoduro.net pour la prévision du risque de septoriose (source : Horta)

Les calculs commencent à la levée (Z 09) et s'arrêtent au stade début de formation du grain pâteux (Z 83). Un exemple de sortie du modèle est donné en figure 9.

Seules les formes asexuées, *Septoria Tritici* et *Stagonospora nodorum*, sont prises en compte (manque d'informations sur leur forme sexuée), d'où la pluie comme variable définissant l'indice de dispersion (les spores se déplacent principalement vers le haut grâce aux éclaboussures de pluie) (cf. tableau 2).

Ces deux champignons peuvent induire la maladie indépendamment ou conjointement. Le modèle calcule un indice d'infection pour *Stagonospora nodorum* et un autre pour *Septoria tritici* car les conditions ambiantes nécessaires au développement d'une infection sont légèrement différentes pour les deux pathogènes, que ce soit en termes de demandes thermiques ou d'humidité. De même une pression infectieuse est calculée pour chacun des champignons séparément.

L'indice de pression infectieuse combine quotidiennement les indices d'infection et la période d'incubation, c'est-à-dire la période de temps qui s'écoule entre le moment où une infection se produit et l'apparition des symptômes de la maladie. L'indice de pression

infectieuse automne-hiver fait référence aux événements infectieux vérifiés sur les feuilles basales pendant l'automne et l'hiver. Ces infections peuvent produire ensuite l'inoculum à l'origine des infections printanières sur les feuilles apicales et les épis.

2.1.6.2 Rouille brune (Rossi V. et al., 1997)

Les calculs débutent à l'initiation de la montaison (Z30) et s'arrêtent au stade début de formation du grain pâteux (Z83). La figure 10 illustre la sortie du modèle.

L'indice d'infection à une heure donnée est fonction de la température, de la température au carré et du nombre d'heures pendant lesquelles les feuilles sont mouillées.

L'indice d'incubation du jour est fonction de la température.

Chaque jour, l'indice d'incubation du jour s'ajoute à celui du jour précédent et constitue la période d'incubation (elle s'arrête lorsque la somme des indices d'incubation est égale à 1). Cette somme est multipliée quotidiennement par l'indice d'infection du jour où la période d'incubation a commencé. Une nouvelle période d'incubation débute chacun des jours où l'indice d'infection n'est pas nul. La pression infectieuse correspond à la somme de ces produits (elle cumule les différentes incubations en cours).

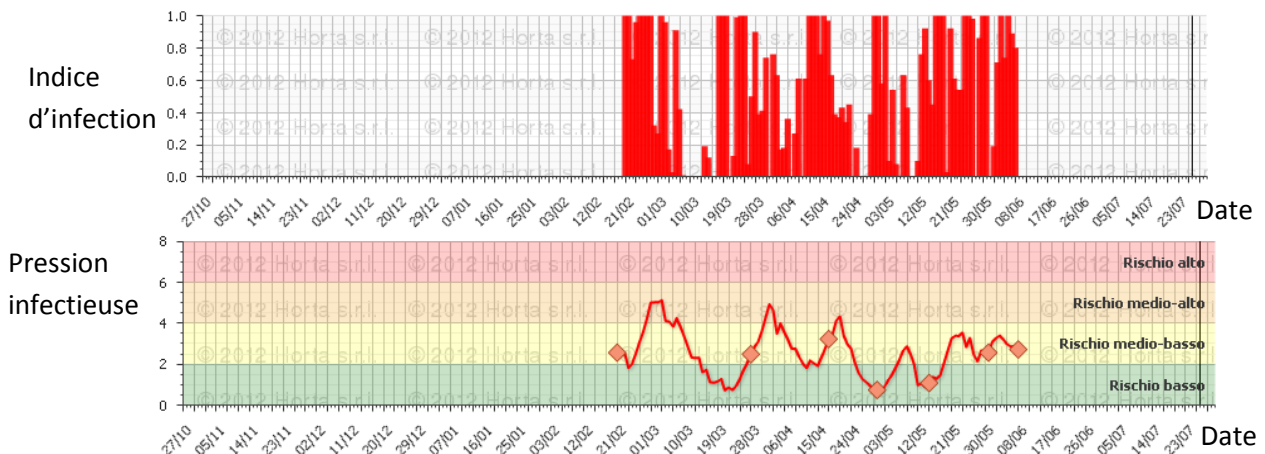
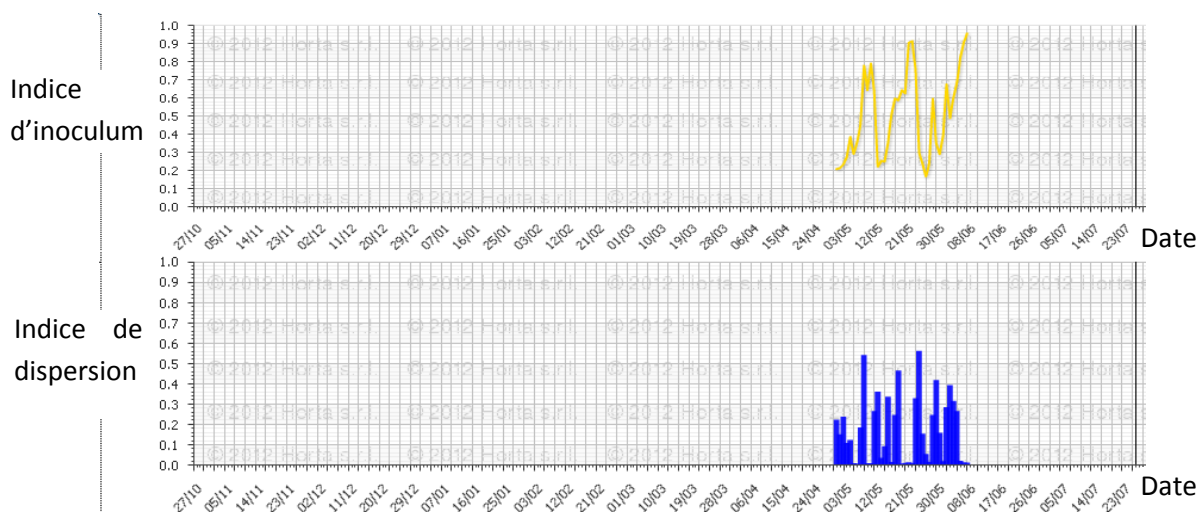


Figure 10 : Capture d'écran des sorties de granoduro.net pour la prévision du risque de rouille brune (source : Horta)

2.1.6.3 Fusariose des épis

Les calculs débutent à l'initiation de l'épiaison (Z51) et s'arrêtent au stade début de formation du grain pâteux (Z83). Seules les formes asexuées sont prises en compte.

La figure 11 ci-dessous est un exemple de sortie du modèle.



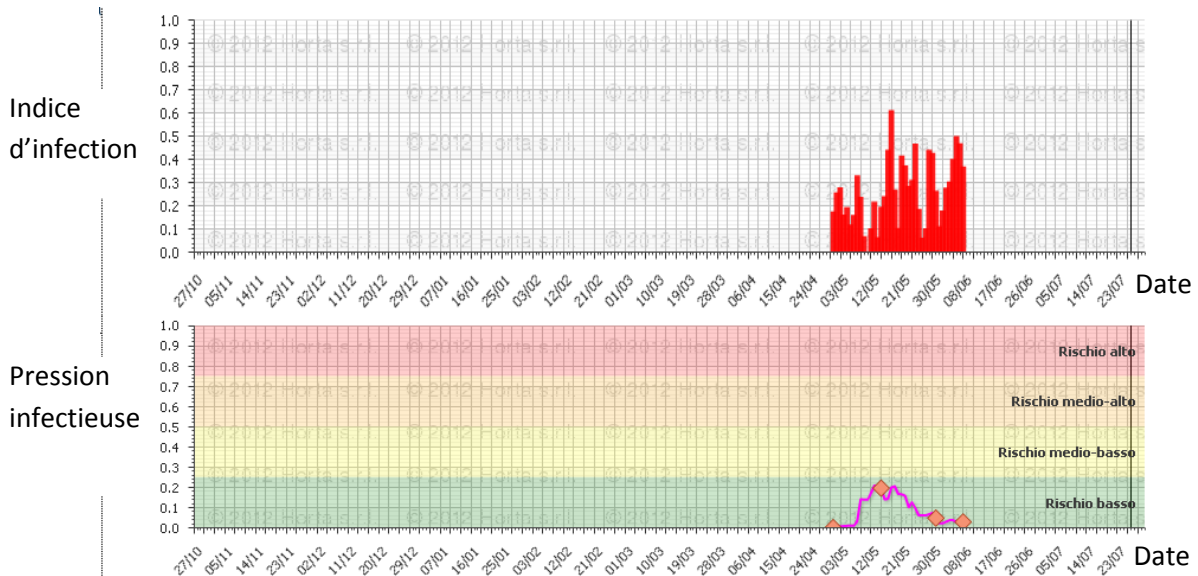


Figure 11 : Captures d'écran des sorties de Granoduro.net pour la prévision du risque de fusariose (source : Horta)

2.1.6.4 DON

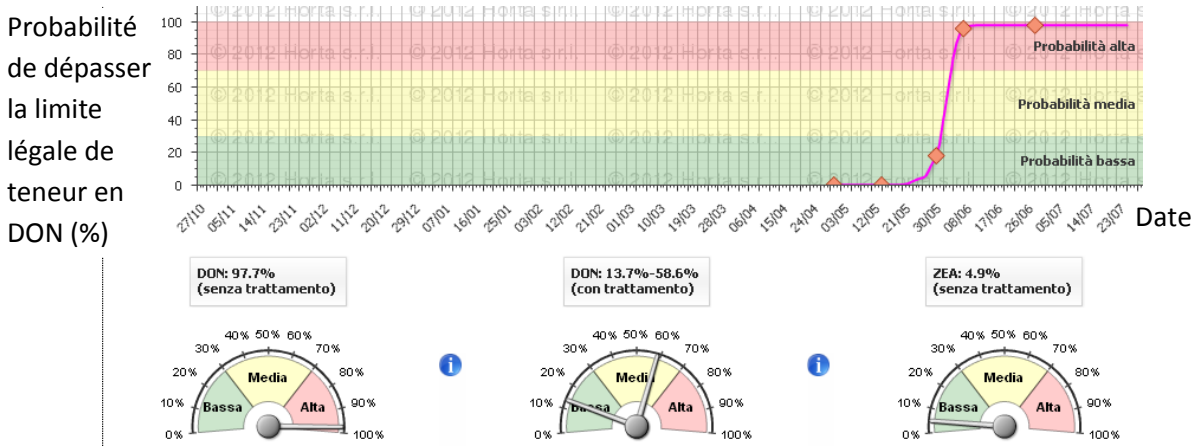


Figure 12 : Capture d'écran de la sortie de Granoduro.net pour la prévision du risque DON (source : Horta)

Les calculs débutent à l'initiation de l'épiaison et s'arrêtent à la maturité récolte. La figure 12 montre les indicateurs fournis par l'outil. Ces derniers expriment la probabilité de dépasser la limite légale de concentration en mycotoxines dans le grain le jour considéré (1750ppb pour le Déoxynivalénol (DON) et 100ppb pour le Zéaralénone (ZEA)). Elle correspond à la proportion de grains d'un échantillon produits dans les conditions spécifiques de l'unité de culture et contaminés au-delà de la limite légale.

Cette probabilité est divisée en 3 classes : faible, moyenne et élevée. Les seuils délimitant ces classes ont été fixés à 30% et 70% (résultats d'essais). Le risque dépend de :

- l'indice d'infection du pathogène (fonction de la pluie, de la température de l'air, de l'humidité relative et de la durée d'humidité des feuilles),
- la sensibilité de la variété,
- le précédent cultural,
- la gestion du sol,
- la localisation géographique

S'il n'y a pas de données disponibles, par mesure de précaution on considère que l'on est dans la plus mauvaise situation.

L'outil fournit 3 indicateurs :

- **risque DON sans traitement** antérieur contre la fusariose (l'absence de traitement correspond soit à un oubli, soit à une impasse) ;
- **risque DON avec déjà un traitement** réalisé (ce qui diminue fortement le risque)
Deux aiguilles sont présentes sur le compteur : celle de gauche indique la probabilité minimale de dépasser la limite, correspondant à la réalisation d'un traitement optimal (effectué au bon moment, avec un produit hautement efficace, à la dose optimale et avec une distribution équitable du produit sur l'épi) ; tandis que celle de droite indique la probabilité maximale de dépasser la limite, correspondant à un traitement exécuté dans des conditions non optimales ;
- **risque ZEA sans traitement** antérieur contre la fusariose (la littérature indique que des conditions similaires permettent le développement des DON et ZEA).

Dans le cas des ZEA on considère que la réalisation d'un traitement efficace contre la fusariose réduit systématiquement la probabilité de dépasser la limite sous le seuil le plus bas.

La connaissance des variables de Granoduro.net permet d'élaborer les différents cas-types de l'étude avec les données nécessaires au fonctionnement de l'outil.

2.2 Détermination des cas d'étude français

L'outil est étudié dans les quatre régions françaises productrices de blé dur. Cette grande échelle ne nous permettait pas de mettre en place et suivre nos propres essais, nous sommes donc basés sur des essais réalisés par les équipes régionales d'ARVALIS-Institut du végétal.

2.2.1 Variété

Les contraintes de temps et de disposition de données ont limité l'étude à une variété. Très peu d'essais français étudient les variétés italiennes. Nous avons dû intégrer une variété française dans l'OAD. Miradoux a été choisie car c'est la variété la plus cultivée en France et elle est présente tous les ans dans les stations que nous avons sélectionnées, car elle montre une constance de rendement et une très grande régularité territoriale depuis son inscription en 2007 (Vallade S., 2009). C'est un Blé Dur de Haute Qualité (BDHQ), avec un très bon Poids de Mille Grains (PMG) et indice de jaune et une bonne tolérance à la moucheture. Il est relativement tardif pour la montaison et l'épiaison. Il a une tolérance au froid assez faible mais une assez bonne tolérance à la verse, à l'oïdium et septoriose ; il est relativement sensible à la rouille brune et la fusariose (les notes sont indiquées dans l'Annexe VI).

2.2.2 Date

L'OAD fournit les prévisions en temps réel, nous avons donc commencé par étudier la campagne 2011-2012. Cependant, afin d'augmenter notre base de données et d'apporter une expertise plus solide de Granoduro.net (une année peut être exceptionnelle), les années précédentes ont aussi été prises en compte. La variété étudiée n'est présente dans les essais français que depuis 2005, année que nous avons donc choisie pour commencer notre étude, ce qui nous permet d'analyser les résultats sur sept campagnes.

2.2.3 Lieu

Nous avons choisi cinq stations où des essais sont menés sur le blé dur et qui effectuent des notations de stade et de symptômes de maladies, réparties dans les différents bassins de production de blé dur français (cf. figure 1), à savoir :

- Ouzouer-le-Marché (41) pour le Centre
- Le Magneraud (17) pour l'Ouest
- Gréoux-les-Bains (04) pour le Sud-Est

- En Crambade (31) et Auch (32) pour le Sud-Ouest

Le logiciel italien fonctionne avec des données météorologiques enregistrées toutes les heures, ce qui limite considérablement le choix des stations d'ARVALIS-Institut du végétal, la majorité enregistrant les données une seule fois par jour.

Ainsi la station météorologique d'Auch n'enregistre pas de données horaires. C'est la station de Sainte Christie d'Armagnac, située à 60km au nord-ouest d'Auch, qui a fourni les données météorologiques pour cette dernière. Or, la température et la pluviométrie sont plus basses dans les essais à Auch que ce qui est mesuré à Sainte Christie, cela peut être une source de différences notables entre ce qui est observé à la parcelle et ce que prédisent les modèles climatologiques de l'OAD.

D'autre part, le temps imparti ne permettait pas d'étudier tous les résultats fournis par Granoduro.net dans toutes les stations. Nous avons concentré l'étude sur En Crambade, où l'on dispose d'une quantité importante de données et où les pressions maladies sont assez fortes, et permettent ainsi d'analyser les variations obtenues selon les années.

2.2.4 Définition de l'objectif de rendement

Dans les essais est enregistré le rendement obtenu et non le rendement attendu, qui est une donnée d'entrée de Granoduro.net. Pour estimer ce dernier, pour chaque lieu, nous avons retiré les deux rendements extrêmes obtenus sur les sept campagnes étudiées et nous avons pris la moyenne des rendements restants (ARVALIS-Institut du végétal, 2005 à 2012).

Les cas d'étude français ont ainsi été déterminés en prenant en compte diverses contraintes. Nous obtenons une trentaine de cas d'étude, avec sept années, cinq lieux et une variété (disponibles en Annexe VII). L'effet année est en effet plus important que l'effet lieu qui est lui-même plus important que l'effet variétal.

2.3 Identification et mise en place des éléments nécessaires au fonctionnement de l'outil en conditions françaises

2.3.1 Données météorologiques

Pour chaque station et pour chaque heure ont été fournies la température de l'air, la pluviométrie ainsi que l'humidité relative. Différentes méthodes sont utilisées pour renseigner les données manquantes (Deudon O., 2012):

- Pour l'humidité relative et la température, une interpolation linéaire est réalisée entre la valeur à l'heure précédente et la valeur à l'heure suivante
- Pour la pluviométrie, on dispose du cumul de pluie de la journée (de 6h du matin le jour J-1 à 5h du matin le jour J) du plus proche voisin (station météo à moins de 25km) que l'on indique arbitrairement à 15h (diviser les pluies pourrait créer un risque artificiel et les données manquantes concernent essentiellement les mois de janvier et février, où les températures froides étaient défavorables au développement des pathogènes).

Les stations italiennes indiquent aussi si les feuilles sont mouillées ou non. Pour les stations françaises, les feuilles seront mouillées s'il pleut, si l'humidité relative est supérieure à 90% ou si le déficit de pression de vapeur est inférieur à 4,5 hPa (calculé selon l'équation de Buck, qui est une fonction exponentielle de la température (Vömel H., 1996)).

Afin d'intégrer des données météorologiques extérieures à l'entreprise, Horta a mis au point une procédure en cinq étapes (Bettati T., 2012) :

- Le fournisseur (ARVALIS-Institut du végétal) récupère les données météorologiques sous le format utilisé par le système italien (fichiers csv)

- Il les envoie selon un protocole de transfert de fichier (FTP) sur le serveur d'Horta
- Celui-ci vérifie la validité du format des données, mais il ne vérifie pas s'il y a des données manquantes ou aberrantes (si les données ne sont pas bonnes, elles sont quand même intégrées à l'outil avec le risque qu'il donne des résultats erronés)
- Les données sont chargées dans la base de données météorologiques de l'outil
- Un mail est envoyé au fournisseur pour lui confirmer l'intégration des données

Les données horaires depuis le 1^{er} octobre 2011 jusque fin avril 2012 ont tout d'abord été chargées. Par la suite, les données d'une période glissante de 10 jours sont chargées automatiquement tous les jours.

Les données météorologiques sont récoltées à 6h (solaire) du matin à ARVALIS-Institut du végétal. Elles sont envoyées automatiquement à 9h30 à Horta, ce qui permet de disposer des données à J+1 en fin de matinée (le temps d'intégrer les données dans l'outil).

2.3.2 Données géographiques

Les contraintes de temps et de moyens liées au stage n'ont pas permis de recalibrer les modèles avec les paramètres des sols français étudiés. Par exemple, en Italie chaque région a des valeurs différentes de résidu azoté laissé dans le sol par la culture (un même précédent ne laisse pas la même quantité d'azote dans le sol selon la région).

A partir de l'altitude de la station et de la somme des températures moyennes (depuis la création de la station) des mois de novembre, décembre, janvier et février en base 5°C (permettant la meilleure distinction des régions), chaque station française a été assimilée à une région italienne (ces dernières étant déjà paramétrées dans l'outil). Ainsi, Gréoux et Ouzouer ont une somme de T° moy pour les mois hivernaux semblable à la région Nord de l'Italie, tandis que Le Magneraud, Auch et En Crambade ont une somme de T° moy pour les mois hivernaux semblable à la région Centre adriatique de l'Italie (une carte avec les différentes régions italiennes est disponible en Annexe VIII).

Ces données sont non seulement utilisées pour le module de gestion de la fertilisation azotée mais aussi pour celui de la gestion de la densité de semis et le risque DON.

Tableau 3 : Caractérisation des stations d'étude dans Granoduro.net

Station	0451 Gréoux	1788 Le Magneraud	3190 En Crambade	3252 Auch	4198 Ouzouer
Région italienne correspondante	Nord	Centre adriatique	Centre adriatique	Centre adriatique	Nord
Province - Commune italienne corresp.	Ravennes	Pesaro Urbino	Ascoli Piceno	Ascoli Piceno	Ravennes
Période de semis standard	21-25 octobre	1 - 5 novembre	1 - 5 novembre	1 - 5 novembre	21-25 octobre
Densité de semis standard	250 graines/m ²	200 graines/m ²	200 graines/m ²	200 graines/m ²	250 graines/m ²

Les italiens partent d'une densité de semis standard bien plus élevée qu'en France, quelle que soit la région. Elles ont été modifiées par les concepteurs en se basant sur les recommandations présentes dans les « CHOISIR et décider » (ARVALIS-Institut du végétal, 2005 à 2011) et en affectant une densité standard par région (cf. tableau 3).

2.3.3 Données variétales

Miradoux n'était pas présente initialement dans Granoduro.net, il a fallu paramétrer l'outil pour cette variété.

- **Données fournies aux concepteurs :**

- Température moyenne journalière et dates des stades phénologiques observées pour Miradoux dans les essais depuis 2005 dans les 5 stations étudiées, (correspondant à la date de début des calculs pour les modèles oïdium et rouille brune).

- Besoin unitaire en azote

Il correspond à la quantité d'azote que doit absorber la plante lorsqu'elle est fertilisée à l'optimum (rendement maximum pour un minimum de pertes) pour produire un quintal de grain aux normes d'humidités (15% d'eau) (LeSouder C. et al, PA mai 2012)

Le besoin unitaire en azote varie selon les régions en France, mais seulement selon les variétés dans l'OAD italien. On peut expliquer cela par un souci de simplicité ainsi que par le fait que selon les régions ce ne sont pas les mêmes variétés qui sont cultivées en Italie.

Pour Miradoux, nous avons pris une valeur moyenne de 37 kg/t (supérieure au besoin unitaire des variétés italiennes (égal à 30kg/t en moyenne, Meriggi P., 2012)

- Notes de précocité de Miradoux (notes figurant en Annexe VI)

- Sensibilité aux maladies (notes figurant en Annexe VI)

Elle est intégrée dans les modules maladies sous la forme de coefficients, correspondant à la réduction du développement de la maladie (tableau 4 : un coefficient de 1 signifie qu'il n'y a aucune réduction, c'est-à-dire que la variété est sensible à la maladie, un coefficient de 0,25 correspond à une réduction de 75% de la maladie, c'est-à-dire à une variété tolérante).

Tableau 4 : Définition de la sensibilité de Miradoux aux différentes maladies prises en compte dans Granduro.net (ARVALIS-Institut du végétal, Horta)

Maladie	Rouille Brune	Rouille Jaune	Oïdium	Septoriose	Fusariose
Note CTPS	4.5		7	6	4
Classe de Sensibilité	MS		MR	MR	MS/S
Coefficient Granoduro.net	0,75	0.75	0.5	0,5	1

Les notes de maladie déterminées par ARVALIS-Institut du végétal et le GEVES (allant de 1= très sensible à 9= très résistante) ont été transformées en niveau de sensibilité, pour lequel correspond un coefficient de réduction de la maladie : 1 pour S=Sensible, 0,75 pour MS = Moyennement Sensible, 0,5 pour MR = Moyennement Résistante et 0,25 pour R= Résistante. N'ayant pas l'information pour la rouille jaune, les concepteurs ont décidé d'appliquer le même coefficient que pour la rouille brune.

- **Calibration des modèles (Salinari F., 2012) :**

- Fonctionnement des modèles avec plusieurs séries de données météorologiques françaises (celles pour lesquelles il y avait le plus de données phénologiques pour chaque station, soit dix-neuf séries au total) avec les paramètres d'une variété italienne, Levante (connus et ajustés aux modèles)

- Calibration des paramètres à partir des différences de jours obtenues entre les dates de stades que nous avons fournies (issues des essais en France) et celles estimées par le modèle : l'ajustement des paramètres a été fait de façon à minimiser la différence entre les dates réelles et celles estimées

- Pour les stades estimés par le modèle mais dont il n'y avait pas de données observées, les dates ont été calculées mathématiquement, en se basant sur les dates de stade antérieurs et postérieurs qui eux ont été observés, ainsi que sur les similarités avec la variété italienne Levante

- L'estimation des paramètres pour l'apparition des feuilles a été faite en supposant que leur séquence temporelle était similaire à la variété italienne Levante et que 4 feuilles ont émergé sur le maître-brin lorsque le tallage débute

NB : Levante a été choisie parce que ses caractéristiques sont très proches de celles de Miradoux et les différences connues entre ces deux variétés ont été prises en compte dans la calibration (notamment le fait que Levante soit d'un point plus précoce que Miradoux).

Pour évaluer la qualité prédictive d'un modèle, il faut des données indépendantes de celles qui ont servi à le paramétrer. C'est pourquoi nous utilisons d'autres essais avec des dates de semis différentes pour évaluer le modèle phénologique. Par contre les modèles maladies dépendent du stade de la culture, il est donc préférable d'avoir un modèle de développement phénologique qui soit bien calé, afin d'être sûr que les différences constatées proviennent uniquement des modèles maladie. Au final deux jeux de données différents sont utilisés, un pour évaluer la qualité prédictive du modèle de développement phénologique et un autre pour les modèles maladie (liste des cas d'études en Annexe VII).

2.4 Méthode d'expertise

La première étape correspond ainsi à une phase de découverte et de prise en main de l'outil, grâce à des recherches bibliographiques, complétées par une semaine de formation auprès des concepteurs. Cela permet d'identifier les éléments à fournir ou modifier pour caler l'outil sur les conditions françaises.

Par ailleurs les différents cas-types français ont été définis en croisant les données à entrer dans Granoduro.net et celles dont nous disposons dans les essais réalisés par ARVALIS-Institut du végétal.

La connaissance du matériel mis à notre disposition a permis de définir la stratégie d'étude. Chaque module de l'OAD a un fonctionnement différent, ils seront donc étudiés séparément.

Pour évaluer l'outil, nous le ferons fonctionner sur les cas-types que nous avons définis, et nous comparerons ses résultats à ceux qui ont été observés dans les essais. Afin d'avoir une plus large comparaison nous confronterons également ces deux données aux conseils ou outils d'ARVALIS-Institut du végétal.

Les résultats sont comparés visuellement à l'aide de graphiques (courbes prédit-observé).

Quand les données n'ont pas servi à ajuster le modèle, nous pouvons utiliser le critère de la MSEP (Erreur quadratique moyenne de prédiction) pour évaluer la qualité prédictive des modèles (Kabiri N., 2008). La MSEP permet également de comparer les modèles italiens avec les modèles français. Elle est définie comme suit : $MSEP = E (Y_i - \hat{Y}_i)^2$;

Et est estimée de la manière suivante : $\hat{MSEP} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_i - \hat{Y}_i)^2$.

Mais pour revenir à la dimension du facteur étudié nous prendrons sa racine carrée, la RMSEP. Le logiciel Rcmdr sera utilisé pour réaliser des analyses de variance et des comparaisons de moyennes pour confirmer la significativité des différences constatées entre les sources. Nous vérifierons également qu'il n'y a pas d'effet lieu ou année car nous souhaitons pouvoir utiliser l'OAD quel que soit le contexte pédoclimatique. Lorsque les hypothèses sur les résidus issus de l'analyse de variance ne sont pas vérifiées et qu'aucune transformation des données n'est trouvée (faute de modalités suffisantes pour les cas-types), nous utiliserons le test statistique de Kruskal-Wallis, test non paramétrique permettant de comparer deux populations (en fonction de la somme des rangs de leurs individus).

3 Expertise des résultats de Granoduro.net

L'analyse des résultats de chaque module et la comparaison avec les résultats d'ARVALIS-Institut du végétal permettra d'apprécier l'outil italien et de conclure quant à la pertinence de son utilisation dans les conditions de culture françaises et de proposer si besoin des améliorations.

3.1 Simulation et analyse des écarts

3.1.1 Développement phénologique

Granoduro.net prédit le stade début épiaison (Z51) alors que les observations en France ainsi que les calculs d'Agrobox sont faits pour le stade demi-épiaison (Z55). Pour pouvoir comparer les deux, 50°jours ont été soustraits à la date observée pour obtenir celle de début épiaison dans les essais.

Pour chaque cas d'étude nous avons obtenu des courbes de développement phénologique telles que celles présentées dans la figure 16.

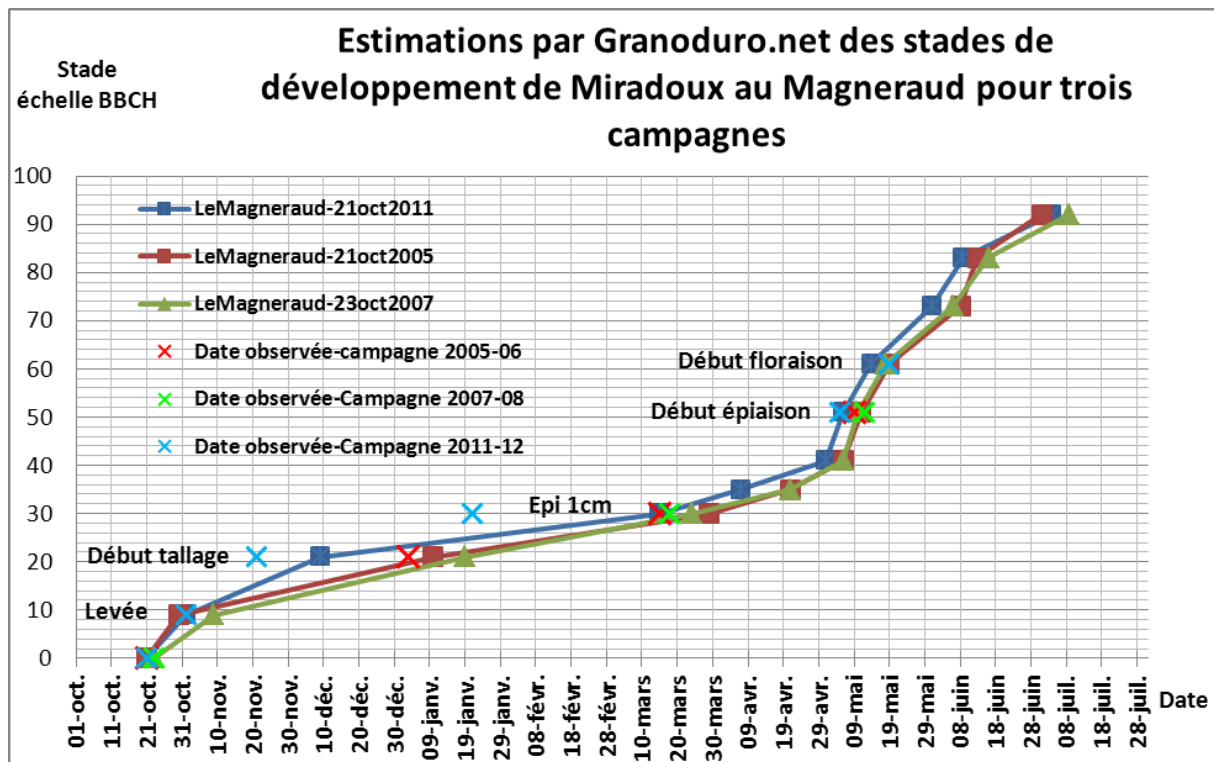


Figure 133 : Graphique de prévisions de stade de Granoduro.net et dates observées au Magneraud (Horta, ARVALIS-Institut du végétal)

Les prévisions de Granoduro.net pour la levée sont plus tardives que les observations pour la moitié des cas-types, pour 90% des cas-types pour le stade épi à 1cm et pour les trois-quarts des cas-types pour le début de l'épiaison. On obtient ainsi en moyenne :

- 5 jours de retard pour la levée
- 13 jours de retard pour le stade épi à 1cm
- 3 jours de retard pour les stades début épiaison et début floraison

Lorsque la date du stade épi à 1cm est forcée, les écarts s'accroissent et s'inversent : le stade début épiaison est prédit avec 4 jours d'avance et le stade début floraison avec 5,5 jours.

Bien que nous n'ayons pas 30 données par stade, nous avons tenté d'évaluer la qualité prédictive de Granoduro.net, et de la comparer au modèle Agrobox.

Tableau 5 : Comparaison de la qualité prédictive (en jours) des modèles par stade (en l'absence de recalage)

Stade	Observation-Granoduro.net	Observation-Agrobox	Agrobox-Granoduro.net
RMSEP_Z10	8	9	5
RMSEP_Z30	19	14	10
RMSEP_Z51	4		
RMSEP_Z55		3	

Le stade épi à 1cm (Z30) est le stade le moins bien prédit, que ce soit par l'outil italien ou par l'outil français. Cependant Granoduro.net reste moins performant qu'Agrobox.

Faute d'informations suffisantes, nous ne pouvons qu'émettre des hypothèses pour expliquer les différences constatées. Les sommes de températures nécessaires pour passer d'un stade au suivant et/ou la température de base utilisées par Granoduro.net ne correspondraient pas exactement aux besoins de la variété Miradoux. Le frein photopériodique pourrait également avoir une action trop forte sur la vitesse de développement. Enfin, l'estimation de la date de début d'épiaison dans les essais (en soustrayant 50 degré-jours à la date de demi-épiaison) a pu être source d'imprécision, tout comme l'utilisation du stade Z9 en Italie et du stade Z10 en France pour comparer la date d'apparition de la levée (définitions en Annexe I).

3.1.2 Gestion du semis

La densité de semis est 17% plus élevée dans les essais que ce que conseille Granoduro.net, sauf pour Ouzouer où la densité conseillée par l'outil est 4% plus élevée que la densité réelle (et Auch en 2009). Nous pouvons le constater visuellement sur la figure 14 et le test statistique de Kruskal-Wallis confirme l'existence d'une différence significative de la densité de semis selon la source de conseil.

L'élément principal d'explication est que Granoduro.net considère que les conditions sont idéales, alors que les expérimentateurs, vu l'enjeu que représentent les essais, prennent une marge de sécurité. En effet la densité réellement semée est également supérieure (de 15%) aux préconisations d'ARVALIS-Institut du végétal (or ces dernières ont servi de base pour le paramétrage de Granoduro.net en conditions françaises).

Cependant, sans courbes de réponse de la culture à ces densités de semis, nous ne pouvons déterminer quelle est la densité optimale de grains à semer.

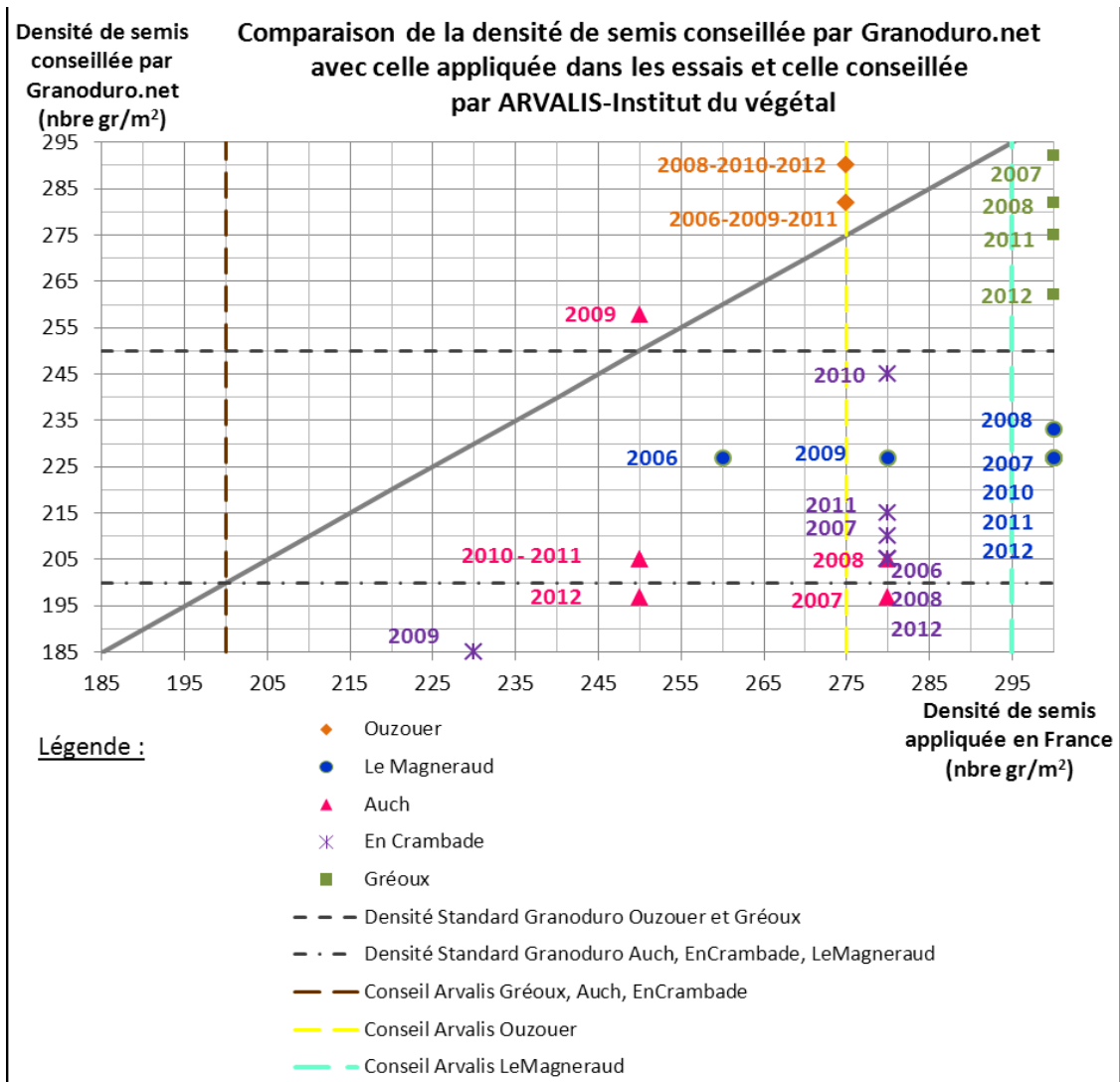


Figure 14 : Graphique de comparaison des conseils en densité de semis (Horta, ARVALIS-Institut du végétal)

La densité standard est plus élevée pour les stations d'Ouzouer et de Gréoux car leur somme de températures hivernales est plus faible que celle des trois autres stations. De plus, Granoduro.net majore la densité à Ouzouer du fait d'un semis trop profond, à Gréoux à cause de l'altitude et au Magneraud à cause de la présence de cailloux. D'autre part les semis aux stations du Magneraud, d'Auch et d'En Crambade sont généralement effectués avant la période optimale (qui a été fixée du 1^{er} au 5 novembre pour ces trois stations), d'où une minoration de la densité (sauf pour l'essai de la campagne 2008-2009 à Auch qui a été semé bien après la période optimale, d'où la majoration de la densité).

Tout comme en France, plus la culture est semée tard et plus la densité de semis est augmentée, jusque fin décembre. Plus le semis est profond et plus on estime qu'il y a des pertes à la levée, d'où une majoration de la densité de semis. Pour un semis dans de mauvaises conditions la densité est augmentée de 10%, et de 20% si le sol est hydromorphe.

L'impact de chaque variable sur la densité de semis est détaillé en Annexe IX.

3.1.3 Gestion des adventices

La démarche est la même pour tous les cas-types ; pour la présenter nous avons pris l'exemple d'En Crambade pour la campagne 2011-2012.

Après avoir renseigné la date, 14 mars 2012, le stade phénologique du blé, épi à 1cm, et les adventices, folle-avoine, ray-grass et gaillet, l'outil propose une liste d'herbicides (cf.

figure7). Le deuxième produit de la liste, Hussar Maxx est composé des mêmes matières actives (mesosulfuron-methyl 3%, iodosulfuron-methyl 3% et mefenpyr-diethyl 9%) (figure 15) que le produit qui a été appliqué dans les essais et les doses correspondent (0,25kg d'Archipel) (Bonin L. et al, 2007 ; ARVALIS-Institut du végétal, 2010).

Intestazione	
Categoria:	Cross spectrum
Preparato:	HUSSAR MAXX
Scheda:	
Distributori:	Bayer CropScience
Applicazione	
Dose minima:	0,25 kg/Ha
Dose massima:	0,30 kg/Ha
Buffer zone:	

Principi Attivi	
Principio Attivo	Presenza (%) Modalita' azione
MEFENPIR-DIETILE	9,00 Non classificato
IODOSULFURON-METILE-SODIO	3,00 ALS
MESOSULFURON-METILE	3,00 ALS

Figure 15 : Capture d'écran des indications fournies par l'outil sur le produit herbicide sélectionné

Nous n'avons malheureusement pas pu contrôler le conseil de période d'application qui suit normalement la sélection des produits car les simulations ont été réalisées trop tardivement dans la campagne (au moment de la récolte).

3.1.4 Gestion de la fertilisation azotée

La comparaison statistique des moyennes des deux sources indique que Granoduro.net conseil une dose d'azote total à apporter plus importante que ce qui est réalisé dans les essais. En particulier pour En Crambade où la dose est nettement supérieure à celle des autres stations (d'après la figure 16 et les résultats de la comparaison de moyennes par lieu).

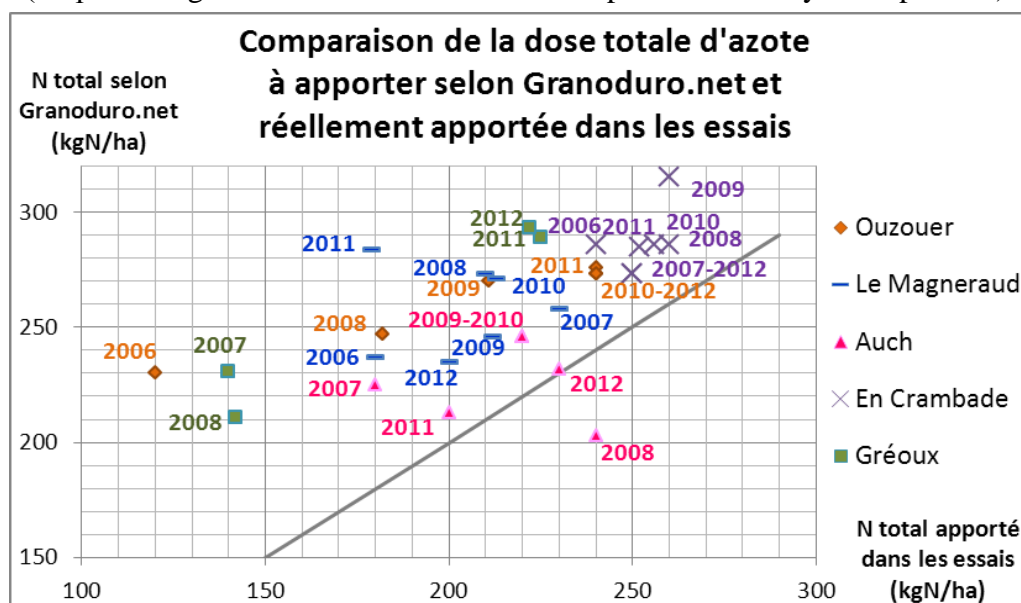


Figure 16 : Comparaison des conseils de quantité totale d'azote à apporter (kgN/ha) pour chaque cas-type (Horta, ARVALIS-Institut du végétal)

Les écarts de résultats selon les cas d'étude proviennent des valeurs différentes des variables d'entrée de ces derniers. L'impact de la variation des données d'entrée sur le calcul de la dose totale d'azote à apporter est détaillé en Annexe X. Globalement, la quantité d'azote du sol disponible varie de 6 à 60kgN/ha, celle issue de la minéralisation de la matière organique varie de 2 à 60kgN/ha et celle immobilisée de 9 à 26kgN/ha (pour En Crambade).

Granoduro.net conseille d'apporter en moyenne 45kg d'azote en plus par hectare que ce qui a été appliqué dans les essais (ce qui représente en moyenne 1/5 de la dose totale apportée dans les essais) et ce en trois apports, contre quatre dans plus de la moitié des cas-types français (lorsque l'apport au stade épi à 1cm est trop important il est fractionné en

deux). Cependant nous ne pouvons comparer les doses des apports calculées par Granoduro.net avec celles appliquées dans les essais car ces dernières ont été ajustées en cours de campagne, alors que l'outil italien réalise un conseil à priori.

Nous avons alors appliqué une méthode de fractionnement française à priori, sans modulation des doses, afin de la comparer à Granoduro.net. Elle permet également d'analyser le calcul de la dose totale d'apport.

Les méthodes d'élaboration de la dose totale d'azote à apporter et de fractionnement diffèrent quelque peu selon la région ; nous avons utilisé celle du Sud-Ouest. Elle consiste en un bilan azoté pour déterminer la quantité totale d'azote à apporter à la culture, puis à un fractionnement selon l'estimation des reliquats d'azote présents dans le sol. Le principe de la méthode est détaillé en Annexe XI (et celui du module de Granoduro.net en Annexe IV).

L'OAD italien surfertilise également par rapport à la méthode Sud-Ouest. Globalement les principes du bilan et du fractionnement sont les mêmes pour les deux outils.

L'estimation de **l'azote absorbé par la plante** est la même (égale au besoin unitaire multiplié par le rendement attendu).

Granoduro.net estime un **lessivage** plus important que la méthode Sud-Ouest (coefficient de lessivage plus élevé).

A l'inverse, **l'azote non utilisé par la culture** estimé par Granoduro.net est deux fois et demie moins important que celui de la méthode Sud-Ouest. Cela provient de la différence de profondeur de sol (60 cm en moyenne en France contre 20cm dans l'OAD italien) et de densité apparente prise en compte (1,2 dans Granoduro.net contre 1,3 à En Crambade, pour une texture argileuse).

En moyenne, Granoduro.net estime un besoin total en azote légèrement inférieur (11kgN/ha) à celui défini avec la méthode Sud-Ouest.

Pour les fournitures, la méthode Sud-Ouest ne prend pas en compte **l'azote apporté par la pluie**. Selon Granoduro.net elle apporte 9kgN/ha, quelle que soit la quantité de pluie tombée, bien que les études indiquent que l'apport varie entre 5 et 20kgN/ha/an).

L'azote du sol disponible est de deux à plus de trois fois plus important selon la méthode Sud-Ouest. La prise en compte du reliquat azoté laissé par la culture précédente, ainsi que les valeurs plus élevées de profondeur de sol et de densité apparente dans la méthode Sud-Ouest expliquent cette différence.

La quantité d'**azote issu de la minéralisation de la matière organique du sol** estimée par Granoduro.net est trois fois plus faible que celle estimée par la méthode Sud-Ouest. Cette dernière applique 50 unités pour un sol avec moins de 20% de calcaire total et 30 unités pour un sol avec plus de 20% de calcaire total. Alors que Granoduro.net réalise un calcul à partir de la teneur en matière organique et en azote du sol, toutes deux assez faibles dans nos cas d'étude, et avec une densité apparente de 1,2.

Le modèle italien prend également en compte la **minéralisation des résidus du précédent** pendant la campagne en cours, cependant elle est nulle pour le Tournesol (même considération qu'ARVALIS-Institut du végétal). Pour d'autres précédents la minéralisation considérée par l'outil italien est plus élevée que celle estimée en France (les valeurs fournies par chaque précédent sont indiquées en Annexe XII). Nous supposons que la température est plus élevée et que les sols sont plus humides en Italie, ce qui favoriserait le phénomène.

La fourniture totale en azote estimée par la méthode Sud-Ouest est ainsi supérieure de 66kgN/ha en moyenne à celle de Granoduro.net.

Ceci explique le conseil d'une dose totale plus importante selon Granoduro.net (la différence de besoin étant peu importante entre les deux méthodes).

NB : Nous n'avons pas testé l'influence d'un apport organique car il n'y en a pas eu dans les cas-types français utilisés.

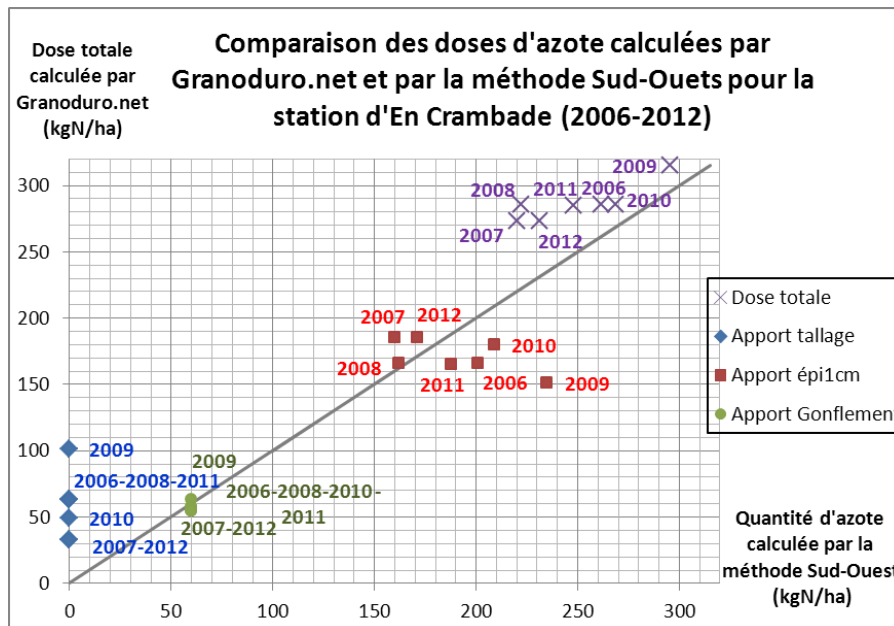


Figure 17 : Graphique de comparaison des quantités d'azote à apporter selon Granoduro.net et la méthode Sud-Ouest (Horta, ARVALIS-Institut du végétal)

La **dose à apporter au tallage** augmente avec le cumul de pluie mais pour des raisons différentes selon la méthode : pour Granoduro.net, celle-ci permet de valoriser l'apport alors que dans la méthode Sud-Ouest une pluie importante entraîne le lessivage de l'azote du sol disponible. De plus, l'apport augmente linéairement avec la quantité de pluie pour Granoduro.net, l'impact est moindre dans la méthode Sud-Ouest où la quantité est faiblement modulée selon des seuils. D'où le conseil d'apport au tallage plus important de l'outil italien. Le lessivage n'a pas été suffisant selon la méthode Sud-Ouest pour nécessiter un apport au début de tallage (figure 17).

Dans les deux méthodes, **l'apport au stade épi à 1cm** correspond à la dose totale d'azote à apporter moins la quantité apportée au tallage et au gonflement de l'épi. Une année sur deux Granoduro.net conseil un apport plus important que la méthode Sud-Ouest, avec une différence de 30kg N/ha en moyenne.

L'apport final conseillé par la méthode Sud-Ouest est toujours de 60 unités. Mais les expérimentateurs ajustent de plus en plus cette valeur selon la variété (60 +/- 20kgN/ha). Pour Granoduro.net il dépend de la dose totale, cependant les doses conseillées atteignent aussi 60 kgN/ha (+/-5kgN).

Au final, Granoduro.net réalise des calculs plus complexes que ceux de la méthode Sud-Ouest.

3.1.5 Gestion des maladies

Les notations faites dans les essais sur des blés non traités (liste des cas d'études en Annexe VII) correspondent à des notes d'intensité de la maladie, comprises entre 0 et 10 ; elles ont été divisées par dix pour pouvoir les comparer aux valeurs de pressions infectieuses calculées par Granoduro.net qui sont comprises entre 0 et 1. De plus, pour la septoriose et la rouille brune, les expérimentateurs attribuent une note pour chaque étage foliaire (F1, F2 voire F3), nous en avons fait la moyenne pour la comparer à la note globale calculée par l'outil italien.

Les modèles septoriose et rouille brune de Granoduro.net sont entièrement climatiques, ils donnent les mêmes résultats quelle que soit la date de semis pour une station et une année donnée.

Pour les 5 stations et les 7 campagnes, Granoduro.net prédit un risque moyen-faible pour la septoriose. Pour la rouille brune, la fusariose et la teneur en DON les niveaux de risque sont variables selon les lieux et les années.

La comparaison des moyennes des notes des essais français et celles calculées par Granoduro.net indique qu'elles sont significativement différentes, et que Granoduro.net surestime le risque (toutes maladies confondues). En ce qui concerne la station d'Auch, les différences peuvent s'expliquer par la distance (60km) entre la station météorologique utilisée pour fournir les informations climatiques à l'OAD et la station d'essai.

Nous allons dans les paragraphes suivant analyser plus en détail les résultats de l'étude pour chaque maladie.

3.1.5.1 Septoriose

Granoduro.net classe relativement mal les années (Annexe XIII). Ses prédictions pour l'année 2010 font partie des valeurs les plus élevées, alors que c'était une année à faible pression de septoriose. A l'inverse, 2008 n'a pas été considérée par l'outil italien comme une année à forte pression de septoriose, mise à part pour la station d'En Crambade (« CHOISIR et décider », 2008 et 2010).

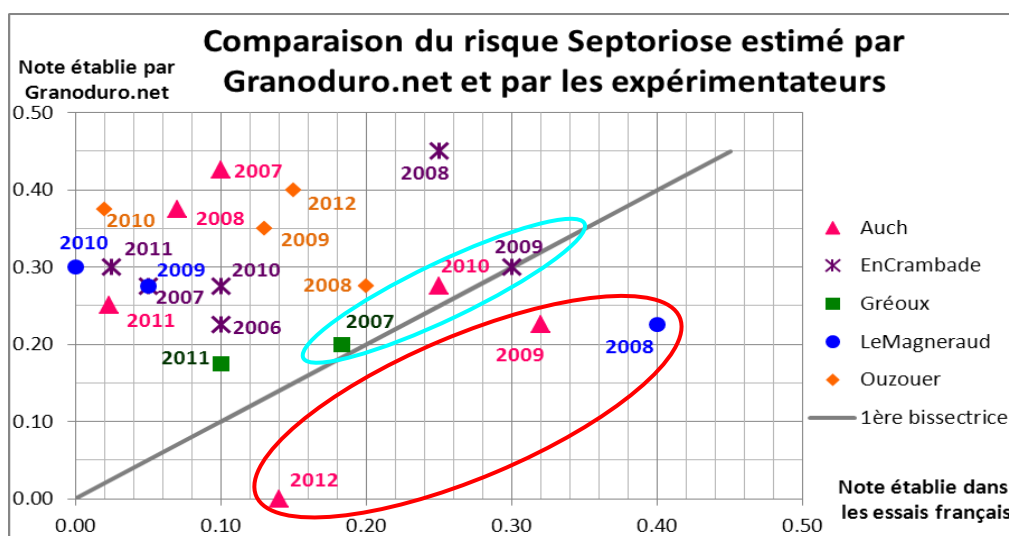


Figure 18 : Graphique comparatif des notes de septoriose attribuées dans les essais et calculées par Granoduro.net (Horta, ARVALIS-Institut du végétal)

Le risque de septoriose est surestimé par Granoduro.net dans 71% des cas (figure 18), ce qui est moins grave que de sous-estimer le risque (14% des cas). Quelle que soit la source, la note est toujours inférieure à 0.5, car Miradoux est considérée comme une variété moyennement sensible à la septoriose. On peut supposer que la différence constatée entre les prévisions de Granoduro.net et les observations proviendrait (au moins en partie) de l'absence de prise en compte des compétitions entre les différentes espèces. Par ailleurs, le développement de la maladie dépend de la date de semis : les semis précoces se traduisent par un inoculum supérieur dès le début de montaison qui accentue le risque d'avoir une quantité de spores plus élevée dès les stades précoces de la montaison (Gate P., 2012). Mais l'outil italien ne prend pas en compte la date de semis pour estimer le risque septoriose.

3.1.5.2 Rouille brune

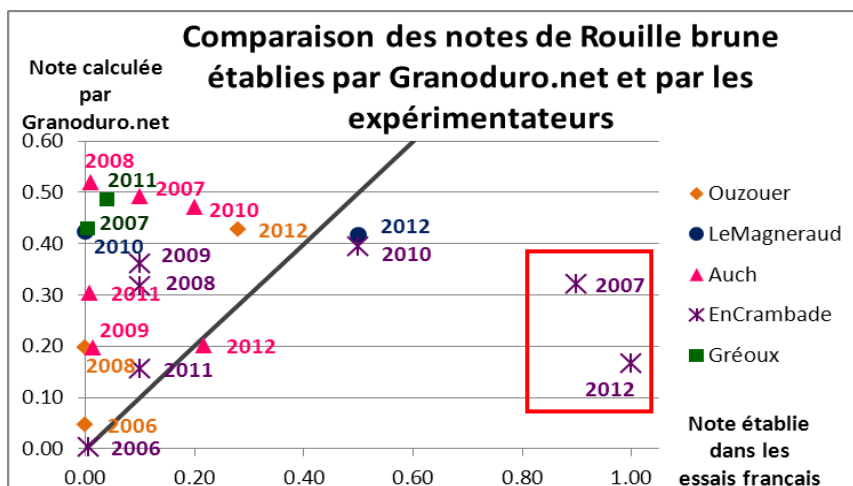


Figure 19 : Graphique de comparaison des notes de rouille brune établies par Granoduro.net et dans les expérimentations françaises (Horta, ARVALIS-Institut du végétal)

Granoduro.net surestime le risque rouille brune pour 70% des cas-types observés. Le risque est cependant sous-estimé une année sur deux à En Crambade. En outre, Granoduro.net a tendance, pour de nombreuses situations, à déclarer la présence de la maladie alors que celle-ci est manifestement absente (figure 19), ainsi il prédit mal les années à faible pression de rouille brune.

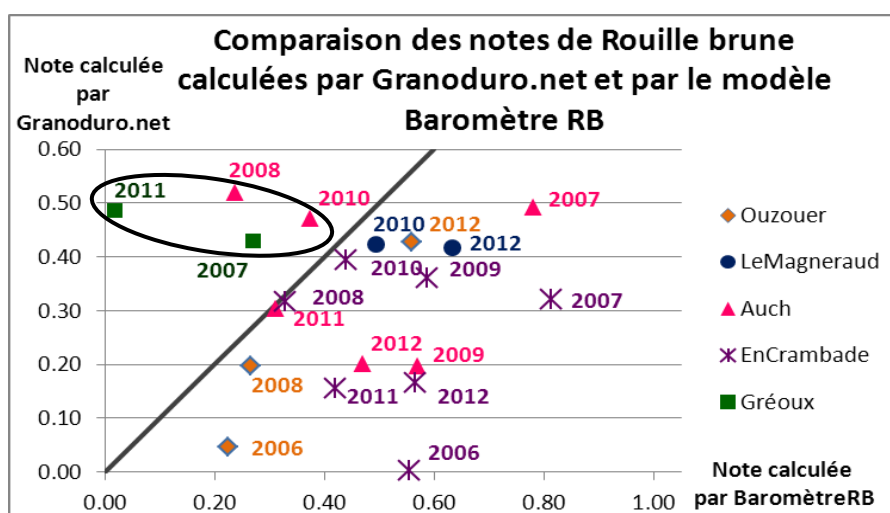


Figure 20 : Graphique de comparaison des notes de rouille brune calculées par Granoduro.net et par le modèle Baromètre Rouille Brune (Horta, ARVALIS-Institut du végétal)

La prévision de Granoduro.net est supérieure à celle du modèle Baromètre RB dans 20% des cas (figure 20). Ce sont tous les deux des modèles climatiques, mais construits avec des variables différentes, ils ne donnent pas les mêmes résultats.

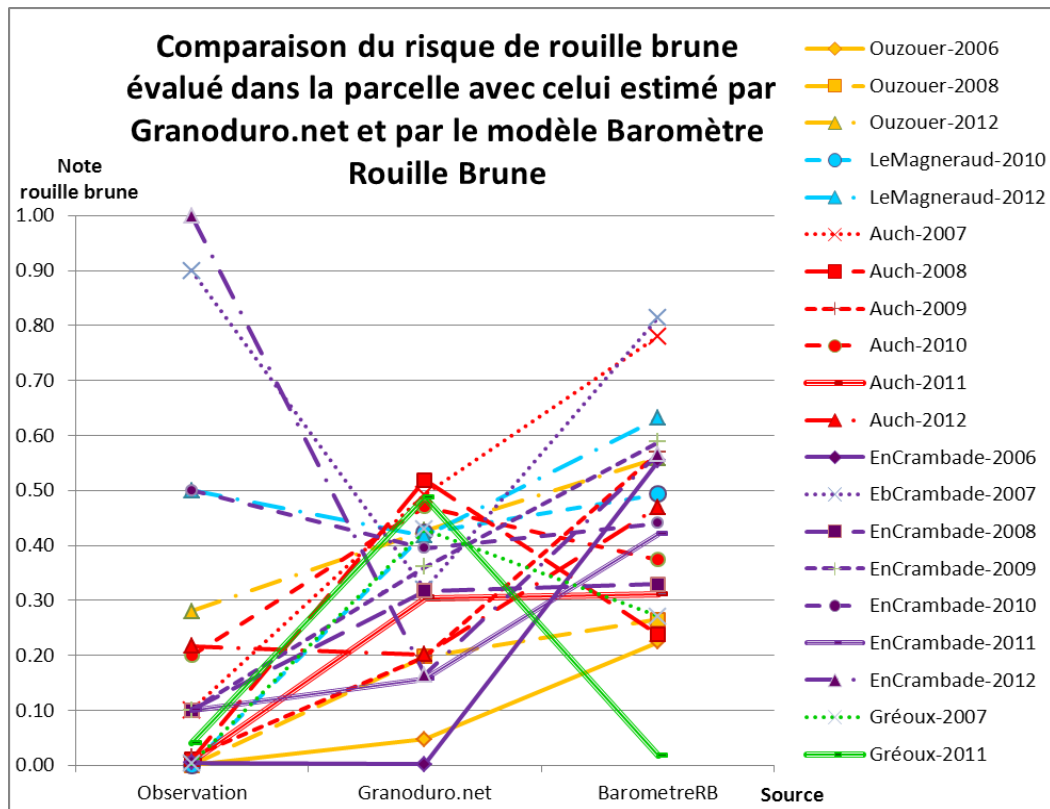


Figure 21 : Graphique comparatif de l'estimation du risque de rouille brune selon la source (Horta, ARVALIS-Institut du végétal)

Granoduro.net classe bien les années (par risque croissant) pour les stations d'Ouzouer et de Gréoux, alors que le modèle Baromètre RB classe bien les années pour les stations d'Ouzouer et du Magneraud (mais ce sont les trois stations avec le moins de cas-types donc il est plus facile de bien les classer). Cependant, on peut observer sur la figure 21 que l'outil italien surestime fortement le risque à la station de Gréoux (où la pression de rouille brune est toujours faible, Jézéquel S., 2012). Il le surestime également à Auch et Ouzouer. De plus, l'OAD a mal classé les années 2007 et 2012 à En Crambade, qui sont des années où la pression de rouille brune est particulièrement forte.

Granoduro.net prend bien en compte l'influence de la température et de l'humidité dans sa prédiction, mais les variables sélectionnées dans les conditions italiennes ne doivent pas refléter au mieux les conditions françaises favorisant le développement de la maladie.

3.1.5.3 Fusariose des épis

Le classement des cas d'étude par risque de fusariose croissant de Granoduro.net est très différent de celui observé (Annexe XIV).

Il est étonnant que l'outil italien prédise des valeurs si faibles (cf. figure 22), Miradoux ayant été renseignée comme variété sensible à la fusariose. De plus le travail du sol à 15-20cm et les précédents pois, colza et tournesol représentent un risque moyen pour l'OAD (cf. Annexe II).

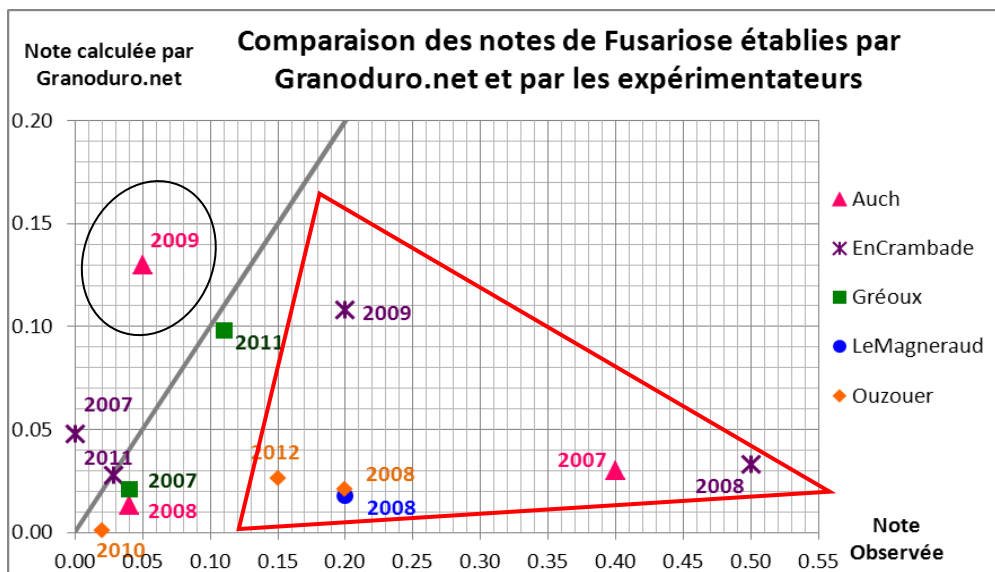


Figure 22 : Graphique comparatif des notes de fusariose établies dans les essais et calculées par Granoduro.net (Horta, ARVALIS-Institut du végétal)

Granoduro.net surestime le risque fusariose dans un cas d'étude sur 13 (2009 était une année à faible pression de fusariose). 46% des cas sont bien prédits et 46% sont sous-estimés, notamment l'année 2008, qui a été une année à forte pression de fusariose (« CHOISIR et décider », 2008). La sous-estimation du risque une fois sur deux, avec des symptômes réels dépassant 15% de la surface, est problématique car cela signifie que Granoduro.net conseille de ne pas traiter alors qu'il y a nécessité de le faire. Il n'arrive pas à prévoir une année à forte pression. Cela semble être indépendant de la localisation géographique. La prise en compte uniquement de la forme asexuée des pathogènes peut-être expliquer cela.

3.1.5.4 DON

Afin de pouvoir comparer les outils, nous avons modifié les catégories : DON < ou > 1750 µg/kg blé dur pour Myco-LIS et risque de dépasser cette teneur < ou > 50% pour Granoduro.net.

Tableau 6 : Comparaison des classements des cas d'étude selon le risque DON établis par Granoduro.net et par Myco-LIS (Horta, ARVALIS-Institut du végétal)

		Classement Myco-LIS		
		< 1750 µg/kg	> 1750 µg/kg	Total
Classement Granoduro.net	< 50%	15	4	19
	> 50%	9	1	10
	Total	24	5	29

Les deux outils donnent le même classement dans seulement 52% des cas (tableau 6). Les cas de bien classés correspondent à une exception près à une teneur en DON faible. Or ce qui nous intéresse est de prévoir les teneurs en DON élevées.

Les classements différents surviennent pour chaque campagne, et chaque station, mais, pour les années 2006, 2007 et 2012, plus de la moitié des cas sont mal classés et plus des trois quarts des mal classés se situent dans une des trois stations du Sud (Annexe XV).

La différence de classement peut provenir de la date de floraison prise en compte : elle diffère effectivement de plusieurs jours dans la majorité des cas. La date de l'épiaison influence aussi les résultats de Myco-LIS. Enfin, les modèles reposent sur des méthodes de modélisation très différentes, leurs résultats sont donc difficilement comparables. Cependant nous ne disposons pas suffisamment de mesures de teneur en DON pour pouvoir les utiliser.

L'analyse des différents résultats peut être synthétisée en émettant un avis sur chacun des modules de l'outil italien et par comparaison avec ce qui est réalisé par ARVALIS-Institut du végétal.

3.2 Avis sur Granoduro.net

3.2.1 Avis global

Le tableau 7 ci-dessous synthétise l'analyse qualitative de l'outil.

Tableau 7 : Synthèse des aspects positifs et des points à améliorer de Granoduro.net

Points positifs	Points à améliorer
Facilité d'accès et de prise en main	Données horaires météorologiques
Simplicité des données d'entrée	Impossibilité d'exporter les résultats
Pas d'observation au champ obligatoire mais possibilité de rectifier la prévision de stade s'il est observé à une autre date	Impossibilité de modifier les données météorologiques ou maladie selon les observations
Rapidité d'obtention des résultats	Difficulté d'intégration de nouvelles variables
Visualisation globale de la situation (stade de la culture, risques des différentes maladies à l'écran)	Faible diffusion d'informations pour tous
Prise en compte des liens entre les modules	Nombre limité des variétés disponibles

Granoduro.net, conçu pour être utilisé en temps réel par les agriculteurs, est très ergonomique : les caractéristiques de la parcelle sont enregistrées en une minute et les résultats sont fournis presque instantanément. Horta a en effet voulu simplifier les algorithmes au maximum pour minimiser les temps de chargement. Les informations essentielles sont acquises en un coup d'œil (cf. figure 4). De plus, différents niveaux de détails sont proposés, selon le niveau d'information que désire l'utilisateur. En revanche ces caractéristiques ne facilitent pas l'étude de l'outil.

3.2.2 Avis sur chaque module

3.2.2.1 Développement phénologique

Le test non paramétrique de Kruskal-Wallis indique qu'il n'y a pas d'effet année ou d'effet lieu sur la différence entre la date prédite et observée, résultat que nous espérons puisque un des critères recherché est une utilisation de l'outil spatio-temporellement illimitée. Par contre il y a un effet stade : Granoduro.net arrive mieux à prédire le stade épiaison que le stade épi à 1cm, tout comme l'outil Agrobbox, sachant qu'une erreur de 3 jours (pour le début de l'épiaison) est tout à fait satisfaisante.

Mais il faudrait approfondir les recherches en analysant les résultats en cours de campagne, et non pas post-récolte comme cela a été fait cette année. En effet, l'outil a été conçu pour être utilisé en temps réel, les modifications de stade post-récolte semblent ainsi avoir été mal prises en compte (la date du stade concerné a bien été modifiée mais les calculs n'ont pas été entièrement refaits). Il resterait aussi à comparer l'impact de la rectification des stades sur Granoduro.net avec celui qu'elle a sur Agrobbox (qui n'a pas été fait du fait d'un manque de temps et de la nécessité d'utiliser un autre outil pour cela).

Le modèle de développement foliaire intégré à l'outil n'est pas du tout valorisé. Il pourrait l'être dans les modules maladies, via l'établissement des fonctions de dégâts.

3.2.2.2 Gestion de la densité de semis

Les semis conseillés par Granoduro.net sont beaucoup plus faibles que ceux réalisés en France mais cela est dû au fait qu'ils sont basés sur les conseils des brochures

d'ARVALIS-Institut du végétal, issus d'anciens essais dont les conclusions sont aujourd'hui mises en doute par les expérimentateurs. Les conseils de Granoduro.net et des brochures françaises sont en effet égales (RMSE de 52).

Sinon, les variations de densité selon les différents facteurs sont du même ordre de grandeur en France et en Italie (voir Annexe IX). Par exemple, pour une différence de date de semis de 15 jours, la densité de semis varie de 30-50 grains/m² ; elle est augmentée de 10% si les conditions de semis sont mauvaises et de 20% pour un sol hydromorphe. Seul l'impact de la texture est considéré différemment : à En Crambade ce ne sont pas les sols argileux mais plutôt les sols limoneux qui gênent le plus la levée. Un semis est considéré trop profond à partir de 4cm, contre 3cm dans Granoduro.net. Les caractéristiques des sols doivent être différentes en France et en Italie.

L'évaluation de la performance de ce module nécessiterait la mise en place d'essais avec différentes densités de semis afin de pouvoir situer de manière objective la densité optimale par cas-type.

3.2.2.3 Gestion des adventices

Le module de gestion des adventices fournit une liste de produits herbicides, plus pratique qu'un dépliant. Cependant choisir le produit reste laborieux, il y a nécessité de sélectionner le produit pour en connaître ses constituants, il n'y a pas d'accès direct à la liste des produits (il faut entrer le stade de la culture, la date correspondante), et il faut obligatoirement cocher le stade du blé mais tous les stades ne sont pas disponibles (levée, début tallage, épi à 1cm, 2 nœuds, 3 nœuds, début gonflement, début épiaison, début floraison, début maturité récolte). Cela correspond aux contraintes d'utilisation des produits par rapport au stade de la culture.

3.2.2.4 Gestion de la fertilisation azotée

Les préconisations d'apports en azote plus élevées de Granoduro.net proviennent de différences de valeurs des paramètres selon le pays, mais les paramètres pris en compte sont, pour la plupart, les mêmes, il suffit de changer leurs valeurs avec celles utilisées en France.

Nous pouvons notamment modifier la profondeur de sol prise en compte : généralement 60cm en France (contre 20cm en Italie), car les racines de blé dur peuvent mesurer un mètre (voire plus). Ceci augmenterait la quantité d'azote disponible, immobilisé et issu de la minéralisation de la matière organique du sol, beaucoup plus faible dans l'OAD.

Le besoin unitaire en azote dépend de la variété dans Granoduro.net et a été fixé à 3.7kgN/q pour Miradoux. Mais il faudrait modifier le module de telle façon qu'il varie selon la zone de culture : 3.7kgN/q pour le Sud-Ouest de la France, 3.9kgN/q pour la région Centre et le Grand-Ouest et 3.5kgN/q pour le Sud-Est de la France (LeSouder C. et al, 2012).

Enfin, les densités apparentes des sols sont à redéfinir pour chaque zone, afin de réajuster les quantités d'azote immobilisées dans le sol.

En France on considère une minéralisation des résidus de culture plus faible qu'en Italie (Annexe XII).

L'apport d'azote par la pluie ne représente même pas 5% de l'apport total, de plus dans la réalité il varie selon l'endroit où l'on se situe (notamment avec la proximité d'industries). Si on veut que le module soit précis, il faut faire varier sa valeur selon la région.

L'estimation de l'azote absorbé par la plante faite en multipliant le rendement estimé par le besoin unitaire de la culture constitue une méthode simple et rapide. Mais elle peut donner des résultats variables car le rendement attendu peut être évalué de manière plus ou moins subjective. Granoduro.net ne donne pas d'indication sur la manière de l'estimer. Mais cette technique est aussi utilisée en France.

Granoduro.net calcule le lessivage jusqu'au 31 janvier, voire fin février, ce qui correspond à peu près au stade 3-4 feuilles (stade pris en compte dans la méthode Sud-Ouest).

Pour estimer la dose totale d'azote à apporter, l'impact d'un semis direct ou avec le minimum de travail du sol n'est pas pris en compte par ARVALIS-Institut du végétal. Mais l'institut prend en compte le fait que tout l'azote du sol ne soit pas utilisé par la culture en appliquant un coefficient d'utilisation de l'azote qui dépend de la structure du sol (excès d'eau) et de l'état de la culture (implantation, maladies).

L'apport au tallage conseillé par Granoduro.net est toujours supérieur à celui conseillé ou pratiqué par ARVALIS-Institut du végétal. Cela est dû à la prise en compte d'un lessivage sur une période plus grande. Mais dans les deux méthodes l'apport n'est pas réalisé si la quantité à apporter est peu importante (elle est ajoutée à la quantité à apporter au stade épi à 1cm). L'apport au stade épi à 1cm est bien le plus important, mais pourrait être fractionné dans Granoduro.net lorsque la quantité est très élevée. L'apport tardif pour assurer la qualité est du même ordre de grandeur qu'en France. Mais en l'absence de courbes de réponse à l'azote (rendement du blé en fonction de la quantité d'azote apportée) nous ne pouvons conclure quant à la dose optimale d'apport.

3.2.2.5 Gestion des maladies

Les prédictions de l'OAD italien sont parfois très éloignées des notations qui ont été faites dans les essais français : surestimation du risque septoriose et rouille brune et sous-estimation du risque fusariose. Mais trop peu d'informations sur les modèles nous ont été fournies pour pouvoir analyser les résultats. En outre la comparaison avec des modèles français est difficile car leur principe est complètement opposé : les modèles de Granoduro.net sont mécanistes, ils tentent de reproduire de manière dynamique le fonctionnement du système dans son ensemble, alors que ceux d'ARVALIS-Institut du végétal sont généralement statistiques : construits à partir de régressions linéaires ils décrivent le comportement du système sur la base d'observations sans en expliquer les fondements (Gourdain E., PA avril 2012). Enfin, le nombre de données issues des essais est également insuffisant pour généraliser les conclusions tirées des résultats obtenus.

Le modèle septoriose de l'OAD ne prend pas en compte la présence de résidus de paille en surface, l'absence de labour ni la densité de végétation, qui sont pourtant des facteurs aggravant la maladie (Braun P., 2006).

En ce qui concerne le risque de rouille brune, Granoduro.net a la même qualité prédictive (RMSEP égale à 0.35) que le modèle Baromètre Rouille Brune, alors que les variables prises en compte sont moins nombreuses. Dans les deux cas, elles sont climatiques et variétale (sensibilité à la maladie), il n'y a pas de variables agronomiques telles que la précocité et densité du semis, apport en azote élevé (Braun P., 2006). Si ses prédictions étaient meilleures, le modèle de Granoduro.net, plus simple, aurait été intéressant.

Egalement, les modèles fusariose et DON ne sont pas satisfaisants (cependant nous n'avons pu étudier que 13 cas-types). Dans les deux pays le risque agronomique est déterminé par le précédent, puis le travail du sol et la sensibilité de la variété. La seule différence concerne le niveau de risque que représente le précédent : le maïs ensilage n'est pas considéré comme précédent à risque fort, mais les céréales dont les pailles ne sont pas exportées présentent un risque fort dans Granoduro.net (Annexe II). Cela s'explique par le fait que dans la région Nord de l'Italie il y a très peu de culture de maïs ou de sorgho, du coup c'est le précédent blé qui constitue le risque majeur. Avec Miradoux paramétré comme variété sensible à la fusariose, la sous-estimation du risque dans la moitié des cas d'étude n'est pas encourageante. L'OAD ne semble pas réussir à prédire des niveaux de forte pression maladie.

Nous avons émis l'hypothèse que les variables climatiques prises en compte dans Granoduro.net ne sont pas les variables les plus pertinentes dans les conditions françaises.

Cette évaluation très rapide des différentes potentialités de l'OAD donne matière à réflexion sur différents travaux pouvant être menés à la suite de cette étude.

3.3 Propositions de pistes à poursuivre

Six mois d'études ont permis d'explorer l'outil, mais pas d'évaluer en détail tous les modules. Leur analyse devrait être poursuivie dans ce sens avec la mise en œuvre de mesures diagnostiques dédiées. Les premiers résultats obtenus suggèrent d'ores et déjà des améliorations à apporter. Les pistes d'amélioration devront porter sur plusieurs axes :

- meilleure connaissance des modèles et notamment meilleure connaissance des variables les plus influentes dans chacun des modules via une analyse de sensibilité,
- mise en place d'essais spécifiques pour évaluer plus précisément, avec notamment un élargissement des modalités de certains facteurs étudiés, en fonction des modules (dates de semis pour les stades, densités de semis pour la densité optimale, doses croissantes pour les maladies et l'azote).

3.3.1 Approfondissement de l'étude

Les caractéristiques des sols français ont été renseignées grossièrement (avec par exemple une plage de teneur en matière organique), il faudrait entrer la valeur exacte pour obtenir des résultats plus précis pour la gestion de la densité de semis et de la fertilisation. De même le paramétrage des nouvelles variétés devrait être fait de manière plus précise et complète.

Le rattachement des stations aux régions italiennes ne semble pas toujours pertinent, notamment pour la densité de semis standard (une densité de 200 grains/m² pour la région Centre adriatique est trop faible pour Le Magneraud) et la densité apparente. Il faudrait obtenir les caractéristiques pédoclimatiques italiennes et les comparer aux nôtres. Cela permettrait de redéfinir des classes correspondant aux régions françaises, et éventuellement de trouver des explications aux différences de conseils entre les deux pays ; par exemple pourquoi un semis à trois centimètres est trop profond pour les italiens et la différence de minéralisation de la matière organique.

Une étude plus approfondie de l'incidence des variables d'entrée sur les sorties de Granoduro.net devrait également être menée.

Il serait aussi intéressant de comparer les résultats obtenus en France avec ceux obtenus en Italie, afin d'évaluer la robustesse de l'outil.

La réalisation d'analyses statistiques permettrait de renforcer les conclusions de cette étude mais pour cela, plus de données sur les dates d'apparition des stades ainsi que sur les pressions maladies sont nécessaires.

Enfin Granoduro.net devrait être comparé à des méthodes plus récentes (la méthode Sud-Ouest pour la gestion de la fertilisation azotée a plus de dix ans).

3.3.2 Expérimentations

L'intégration de nouvelles variétés dans l'OAD ne pose pas de problème au niveau informatique. Mais il faut fournir plus de données sur celles-ci, notamment les dates d'apparition des différents stades dans différentes conditions climatiques et agronomiques, ainsi que la sensibilité des variétés à la température, à la photopériode et aux maladies, afin de pouvoir calibrer correctement les modèles. S'agissant plus particulièrement du stade épi à 1cm, des essais à dates de semis échelonnées seraient intéressants à mettre en place pour analyser les interactions entre température et durée du jour.

Les densités préconisées dans les brochures d'ARVALIS-Institut du végétal proviennent d'essais date-densité de semis menés il y a une quinzaine d'année. Les variétés

étaient alors différentes. Mener des essais à plusieurs dates de semis avec de nouvelles variétés permettrait de mieux évaluer le modèle et de mettre à jour les densités conseillées.

De même pour la fertilisation azotée, il faudrait réaliser des essais avec les doses préconisées par Granoduro.net et celles préconisées par ARVALIS-Institut du végétal, dans le but d'établir des courbes de réponse à l'azote et de déterminer quelle méthode est la plus performante.

3.3.3 Amélioration des modules

Puisque le lessivage survient lorsqu'il y a beaucoup de pluie et que la culture n'est pas assez développée pour retenir l'azote, il serait judicieux de mettre en lien les modules de développement phénologique et de gestion de la fertilisation azotée afin de réaliser le cumul des pluies du 1^{er} octobre jusqu'au stade début de tallage et non jusqu'à la date fixe du 31 janvier.

Les concepteurs sont en cours de réflexion sur l'ajout d'autres modules, notamment l'estimation du rendement, qui constitue une des préoccupations majeures de chacun des membres de la filière. Plusieurs techniques existent en France, nous allons présenter celle développée actuellement dans le Sud-Est de la France, issue du projet GARICC (Génotypes de blé dur et Adaptation Régionale aux Itinéraires techniques et aux Contraintes Climatiques).

Le potentiel de rendement est estimé à chaque stade à partir du calcul du confort hydrique de la culture. Ce dernier est très fortement corrélé à la perte de rendement consécutive au stress hydrique. La réserve utile de la parcelle est calculée à l'aide de la texture, de la présence de cailloux et de la profondeur qui sera supposée atteinte par les racines. Pour chaque phase de développement, on estime la pluviométrie, la réserve hydrique et ce que la culture consomme (égale à l'évapotranspiration potentielle multipliée par un coefficient cultural, fonction du stade de développement, pour estimer l'évapotranspiration réelle). Le rapport de la réserve hydrique sur la réserve utile permet d'évaluer le confort hydrique de la plante à chaque stade. On obtient ainsi un potentiel de rendement auquel on soustrait des pénalités en cas d'accident sur la culture (maladies, ravageurs,...). Ce module doit être mis en relation avec celui de développement physiologique, en particulier pour savoir quand est-ce que le blé atteint le stade de la floraison (une sécheresse avant ce stade limite le nombre de grain formés alors qu'une sécheresse intervenant après la formation des grains n'impacte que le poids des grains).

Un module irrigation pourrait d'autre part suivre celui de l'estimation du rendement, notamment pour des années chaotiques. Une irrigation bien pilotée permet de maintenir le rendement en condition de déficit hydrique voir de l'augmenter en permettant une meilleure valorisation de l'azote. Ajouter un module de gestion de l'irrigation couplé avec le module azote serait donc intéressant. Mais pour lors les techniques développées pour un tel pilotage requièrent un suivi tensiométrique dans les parcelles pour le déclenchement de l'irrigation. Or dans Granoduro.net, il n'y a actuellement pas nécessité de suivi au champ. Cela est sans doute en relation avec le fait que l'irrigation est très peu pratiquée à l'heure actuelle en Italie. Cependant le module peut facilement être élaboré à partir du module d'estimation du rendement. En effet, on peut intégrer l'irrigation dans le bilan hydrique et chercher les doses et fréquences d'apport qui minimisent le drainage et maximisent le rendement.

Le module serait ainsi à mettre en lien avec le module de développement phénologique, avec celui de gestion de la fertilisation azotée et de l'estimation du rendement. Beaucoup des travaux restent donc à réaliser avant d'envisager celui-ci.

Conclusion

L'objectif de ce stage était de parcourir l'OAD récemment identifié par ARVALIS-Institut du végétal afin d'évaluer son potentiel en conditions de culture françaises. Granoduro.net présente un intérêt incontestable de par sa facilité d'utilisation pour les agriculteurs. Cependant divers points doivent être retravaillés.

Les modules de gestion de la densité de semis, des adventices et de la fertilisation azotée s'adaptent très facilement aux conditions de culture françaises, avec une modification rapide de quelques paramètres pour le dernier.

En effet, le dépliant mis à la disposition des agriculteurs par ARVALIS-Institut du végétal fournit les mêmes conseils en désherbage que le module de Granoduro.net mais est beaucoup moins pratique que celui-ci.

La densité de semis conseillée par Granoduro.net correspond à la pratique des agriculteurs. Mais des essais spécifiques devraient être conduits pour valider le module et actualiser le conseil donné par ARVALIS-Institut du végétal, actuellement inférieur à ce qui est réellement semé.

Pour la fertilisation azotée, la caractérisation des sites doit être retravaillée. Faute de temps ils ont été assimilés à des régions italiennes, cependant leurs caractéristiques pédoclimatiques sont quelque peu différentes (densité apparente, profondeur de sol, température). Ainsi les quantités d'azote du sol disponible, issu de la minéralisation de l'humus et immobilisé sont plus faibles, mais le lessivage et la minéralisation des résidus de culture des précédents sont plus importants dans l'OAD italien. La technique de fractionnement est équivalente.

En revanche un travail plus important est nécessaire pour pouvoir utiliser les modules de développement phénologique et des maladies. Les prévisions des stades épiaison et floraison semblent satisfaisantes. Il faudrait disposer de plus de données françaises pour calibrer les modèles de Granoduro.net, ou bien utiliser les propres modèles développés par ARVALIS-Institut du végétal pour lesquels tout ce travail a déjà été réalisé. L'effort devra porter sur le stade épi à 1cm, pour lequel la précision n'est pas satisfaisante pour les deux modèles. La tendance générale des modèles à prédire des dates trop tardives doit être élucidée : paramétrage de l'interaction entre la température et la photopériode notamment.

Les facteurs pris en compte dans les modèles maladies doivent être reconsidérés, l'outil ne parvenant pas à prédire aussi bien les années à forte pression de maladie que les années à faible pression.

L'estimation du rendement, qui impacte notamment la gestion de la fertilisation azotée pourrait être améliorée en ajoutant un module. Pour les situations où la contrainte hydrique reste le facteur limitant majeur, l'estimation du confort hydrique sur des phases clés pourrait effectivement être utilisée pour réévaluer l'objectif de rendement en cours de campagne.

La prise en main de l'outil n'a pas été totale : le manque de précision sur la composition des différents modèles n'a pas permis d'interpréter complètement les résultats, nous avons émis des hypothèses qu'il reste à vérifier. En outre, les concepteurs de Granoduro.net nous ont fourni une version de l'outil différente de celle qu'ils utilisent, qu'il a fallu paramétrer avec les conditions françaises. La gestion des échelles de stades phénologiques différentes selon le pays a notamment été difficile et peut être à l'origine d'écarts notables dans les résultats.

D'autre part trop peu de temps a été consacré à la définition des cas d'étude : certaines données ont été estimées, la valeur précise permettrait d'affiner l'étude et leur nombre était

insuffisant pour pouvoir réaliser des analyses statistiques. Cela a également pénalisé les interprétations. Tout comme la volonté d'avoir le plus grand nombre possible de lieux, qui a conduit à utiliser la station d'Auch, située à plusieurs dizaines de kilomètres de la station fournissant les données météorologiques, ce qui donne des résultats peu pertinents.

Les différences entre les modèles et les observations peuvent être dues à un mauvais paramétrage des modèles mais aussi à une erreur de notation ou une erreur lors du traitement des résultats.

De plus, en l'absence de courbes de réponse à l'azote ou à la densité de semis, on ne peut juger de la performance des méthodes. De la même façon, la robustesse de l'outil ne peut être évaluée sans informations sur les résultats obtenus en Italie avec l'OAD.

Cependant les points à améliorer ont été identifiés, comme il l'était demandé.

Il y a ainsi matière à continuer la collaboration avec les concepteurs italiens : approfondir le contenu des modèles, pour repérer voire réaliser des améliorations de l'outil selon la volonté de chaque partie : ajouter d'autres modules, adapter aux conditions françaises ou à une autre culture telle que le blé tendre, céréale sur laquelle ARVALIS-Institut du végétal a plus d'expérience.

Une étude auprès des concepteurs et des utilisateurs italiens pourrait en parallèle être menée dans le but d'identifier les points forts et faibles de l'outil. Cette investigation contribuerait, en complément à l'analyse des modèles, à comprendre si les écarts constatés proviennent des modèles en eux-mêmes (formalisme, paramétrage) ou à des conditions d'utilisation ou d'initialisation différentes entre les deux pays.

Bibliographie

- ARVALIS-Institut du végétal (2002). Gérer la fertilisation azotée des céréales à paille dans le Sud-Ouest, 4p.
- ARVALIS-Institut du végétal (2010). Programme d'activités 2010>2011. ARVALIS – Institut du végétal, Paris, 50p.
- ARVALIS – Institut du végétal (2010). Protection des céréales à paille : lutte contre les mauvaises herbes. ARVALIS – Institut du végétal, Paris, 2p.
- Bettati T. Agrometeo technical notes. Horta, 2012. 2p.
- Bonin L., Citron G., Vacher C., Jouy L., Yeme P.Y., Real B. (2007). Herbicides des céréales et protéagineux. ARVALIS – Institut du végétal, Paris, 168p.
- BRAUN, P. Génotypes de blé dur et Adaptation Régionale aux Itinéraires techniques et aux Contraintes Climatiques – Dossier technique. Nîmes : ARVALIS-Institut du végétal, 2006. 38p.
- Braun P. (2006). Diagnostic des accidents du blé dur. ARVALIS Institut du végétal, Paris, 105p.
- Braun P., L'Herbier C., Rousselin X. (2012). Marché : les éléments clés de la campagne 2011-2012 et perspectives 2012-2013. In : 14^{ème} journée nationale Filière Blé Dur, La Rochelle, 24 janvier 2012, pp. 85-98.
- COMMISSION EUROPEENNE. Fixation de teneurs maximales pour certains contaminants dans les denrées alimentaires. Bruxelles : Commission des communautés européennes, 2006. 20p. Règlement (CE) N°1881/2006.
- Doucet R. (2005). CHOISIR et décider 2005 : Variétés et traitements d'automne des céréales, ARVALIS Institut du végétal, Région Centre, Ile de France, Limousin, 174p.
- Doucet R. (2006). CHOISIR et décider 2006 : Variétés et traitements d'automne des céréales, ARVALIS Institut du végétal, Région Centre, Ile de France, Limousin, 190p.
- Doucet R. (2007). CHOISIR et décider 2007 : Variétés et traitements d'automne des céréales, ARVALIS Institut du végétal, Région Centre, Ile de France, Limousin, 191p.
- Doucet R. (2008). CHOISIR et décider 2008 : Variétés et traitements d'automne des céréales, ARVALIS Institut du végétal, Région Centre, Ile de France, Limousin, 175p.
- Doucet R. (2009). CHOISIR et décider 2009 : Variétés et traitements d'automne des céréales, ARVALIS Institut du végétal, Région Centre, Ile de France, Limousin, 182p.
- Doucet R. (2010). CHOISIR et décider 2010 : Variétés et traitements d'automne des céréales, ARVALIS Institut du végétal, Région Centre, Ile de France, Limousin, 209p.
- Doucet R. (2011). CHOISIR et décider 2011 : Variétés et traitements d'automne des céréales, ARVALIS Institut du végétal, Région Centre, Ile de France, Limousin, 246p.
- Gate P. (1995). Ecophysiologie du blé. Technique & Documentation – Lavoisier, Paris, 417p.

GOUACHE D. Rapport d'étude : mise au point d'un modèle « baromètre rouille brune » pour l'OAD toutes maladies. Orsay : ARVALIS Institut du végétal, 2012. 26p.

Gourdain E. (2012). Un modèle mécaniste pour prévoir l'éjection des ascospores de *F.graminearum*. *PERSPECTIVES Agricoles*, 388, pp. 34-35.

Guillaume S. (2011). Adaptation d'un modèle de culture et conception d'un modèle de décision pour la gestion conjointe de l'irrigation et de la fertilisation azotée du blé dur. Doctorat Agrosystèmes, Ecosystèmes et Environnement, Institut National Polytechnique de Toulouse, Toulouse, 201p.

Kabiri N. (2008). Modélisation du risque déoxynivalenol sur blé tendre en fonction des facteurs agro-climatiques. Master Sciences Mathématiques, Université Paris-Sud XI, Orsay, 35p.

Lelamer O., Rousselin X. (2011). Marché du blé dur – Monde, Europe, France. Les études de FranceAgriMer, Paris, 44p.

LeSouder C., Vallade S., Moynier J.-L., Bonnefoy M. (2012). Fertilisation du blé dur - Des besoins en azote propres à chaque variété. *PERSPECTIVES Agricoles*, 389, pp. 78-80.

Meier U. (2001). Stades phénologiques des mono-et dicotylédones cultivées : BBCH Monographie. 2 éd, Centre Fédéral de Recherches Biologiques pour l'Agriculture et les Forêts, Allemagne, 166p.

Orsini J. (2005). CHOISIR et décider 2005 : Variétés et traitements d'automne des céréales, ARVALIS Institut du végétal, Région Poitou-Charentes, Plaine de Vendée, 142p.

Orsini J. (2006). CHOISIR et décider 2006 : Variétés et traitements d'automne des céréales, ARVALIS Institut du végétal, Région Poitou-Charentes, Plaine de Vendée, 150p.

Orsini J. (2007). CHOISIR et décider 2007 : Variétés et traitements d'automne des céréales, ARVALIS Institut du végétal, Région Poitou-Charentes, Plaine de Vendée, 165p.

Orsini J. (2008). CHOISIR et décider 2008 : Variétés et traitements d'automne des céréales, ARVALIS Institut du végétal, Région Poitou-Charentes, Plaine de Vendée, 157p.

Orsini J. (2009). CHOISIR et décider 2009 : Variétés et traitements d'automne des céréales, ARVALIS Institut du végétal, Région Poitou-Charentes, Plaine de Vendée, 175p

Orsini J. (2010). CHOISIR et décider 2010 : Variétés et traitements d'automne des céréales, ARVALIS Institut du végétal, Région Poitou-Charentes, Plaine de Vendée, 214p.

Orsini J. (2011). CHOISIR et décider 2011 : Variétés et traitements d'automne des céréales, ARVALIS Institut du végétal, Région Poitou-Charentes, Plaine de Vendée, 176p.

Pascal B. (2005). CHOISIR et décider 2005 : Variétés et traitements d'automne des céréales, ARVALIS Institut du végétal, Région Aquitaine, Midi-Pyrénées, Aude, 190p.

Pascal B. (2005). CHOISIR et décider 2005 : Variétés et traitements d'automne des céréales, ARVALIS Institut du végétal, Région Provence - Languedoc, 158p.

Pascal B. (2006). CHOISIR et décider 2006 : Variétés et traitements d'automne des céréales, ARVALIS Institut du végétal, Région Aquitaine, Midi-Pyrénées, Aude, 181p.

Pascal B. (2006). CHOISIR et décider 2006 : Variétés et traitements d'automne des céréales, ARVALIS Institut du végétal, Région Provence - Languedoc, 113p.

- Pascal B. (2007). CHOISIR et décider 2007 : Variétés et traitements d'automne des céréales, ARVALIS Institut du végétal, Région Aquitaine, Midi-Pyrénées, Aude, 196p.
- Pascal B. (2007). CHOISIR et décider 2007 : Variétés et traitements d'automne des céréales, ARVALIS Institut du végétal, Région Provence - Languedoc, 120p.
- Pascal B. (2008). CHOISIR et décider 2008 : Variétés et traitements d'automne des céréales, ARVALIS Institut du végétal, Région Aquitaine, Midi-Pyrénées, Aude, 172p.
- Pascal B. (2008). CHOISIR et décider 2008 : Variétés et traitements d'automne des céréales, ARVALIS Institut du végétal, Région Provence - Languedoc, 142p.
- Pascal B. (2009). CHOISIR et décider 2009 : Variétés et traitements d'automne des céréales, ARVALIS Institut du végétal, Région Aquitaine, Midi-Pyrénées, Aude, 196p.
- Pascal B. (2009). CHOISIR et décider 2009 : Variétés et traitements d'automne des céréales, ARVALIS Institut du végétal, Région Provence - Languedoc, 119p.
- Pascal B. (2010). CHOISIR et décider 2010 : Variétés et traitements d'automne des céréales, ARVALIS Institut du végétal, Région Aquitaine, Midi-Pyrénées, Aude, 225p.
- Pascal B. (2010). CHOISIR et décider 2010 : Variétés et traitements d'automne des céréales, ARVALIS Institut du végétal, Région Provence - Languedoc, 151p.
- Pascal B. (2011). CHOISIR et décider 2011 : Variétés et traitements d'automne des céréales, ARVALIS Institut du végétal, Région Aquitaine, Midi-Pyrénées, Aude, 202p.
- Pascal B. (2011). CHOISIR et décider 2011 : Variétés et traitements d'automne des céréales, ARVALIS Institut du végétal, Région Provence - Languedoc, 123p.
- Rossi V., Racca P., Giosué S., Pancaldi D., Alberti I. (1997). A simulation model for the development of brown rust epidemics in winter wheat. *European Journal of Plant Pathology*, 103, pp. 453-465.
- Rossi V., Caffi T., Giosué S., (2010). Modelling Plant Diseases for Decision Making in Crop Protection. In : Precision Crop Protection – the Challenge and Use of Heterogeneity. Oerke E.-C. et al ed., Springer, Milan, pp. 241-258.
- Rossi V., Meriggi P., Caffi T., Giosué S., Bettati T. (2010). A Web-based Decision Support System for Managing Durum Wheat Crops. In : Decision Support Systems, Advances in. Ger Devlin, Croatie, pp. 1-26.
- Samson M.F., Desclaux D. (2006). Amélioration de la valeur technologique et commerciale du blé dur : vers une réduction des taux de moucheture et de mitadin. In : Pour et sur le développement régional en Languedoc-Roussillon, Montpellier, 21 juin 2006, 4p.
- Vallade S. (2009). Variétés de blé dur – Bien les connaître pour cultiver leurs forces. *PERSPECTIVES Agricoles*, 355, pp. 42-53.
- VALLADE S. Rapport d'activités 2010-2011 Blé dur. Paris : ARVALIS – Institut du végétal, 2011, 4p.

Sitographie

Agreste (2009). Grandes culture, fourrages, prairies – Chiffres clés
<http://agreste.agriculture.gouv.fr/thematiques/productions-vegetales/grandes-cultures-fourrages/> (consulté le 1^{er} août 2012)

BASF Agro – France (2012). Les stades clés de la régulation du blé.
http://www.agro.basf.fr/agroportal/fr/fr/cultures/les_cereales/le_ble/la_protection_phyto_du_b/le/les_regulateurs/les_stades_cles_de_la_regulation.html (consulté le 24 août 2012)

Horta S.r.l (2010). Servizi
http://www.horta-srl.com/nqcontent.cfm?a_id=7920&tt=horta_www (consulté régulièrement de mars à août 2012)

Vömel H. (1996). Saturation vapor pressure formulations
<http://cires.colorado.edu/~voemel/vp.html> (consulté le 9 mai 2012)

ARVALIS – Institut du végétal (2012). Silena essais (Base de données des essais menés par ARVALIS – Institut du végétal, consultée régulièrement de mars à août 2012)

Entretiens

Deudon O., ARVALIS Institut du végétal. Gestion des données météorologiques. 23/03/2012.

Gate P., ARVALIS Institut du végétal. Expertise des résultats. 17/07/2012.

Gourdain E., ARVALIS Institut du végétal. Présentation et fonctionnement de MycoLIS. 26/03/2012.

LeSouder C., ARVALIS Institut du végétal. Gestion de la fertilisation à ARVALIS Institut du végétal. 16/08/2012.

L'Herbier C., ARVALIS Institut du végétal. Contexte économique de la production de blé dur en France. 5/06/2012.

Meriggi P., Horta. Présentation générale et fonctionnement des modules densité de semis, adventices et fertilisation azotée de Granoduro.net. 28/03/2012, 29/03/2012, 26/04/2012.

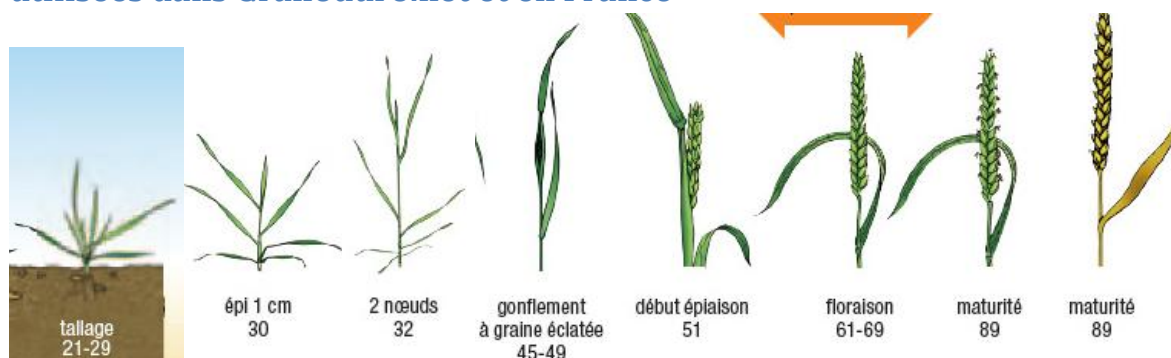
Salinari F., Horta. Fonctionnement des modèles maladies et développement phénologique de Granoduro.net. 23/04/2012.

Vallade S., ARVALIS Institut du végétal. Contexte de production du blé dur et conduite de la culture dans le Sud-Ouest de la France. 1/06/2012.

Liste des annexes

ANNEXE I : ECHELLES DE NOTATION DES STADES DE DEVELOPPEMENT DU BLE UTILISEES DANS GRANODURO.NET ET EN FRANCE	46
ANNEXE II : GRILLES D’EVALUATION DU NIVEAU DE RISQUE AGRONOMIQUE DON SUR BLE DUR.....	48
ANNEXE III : DIAGRAMME DE SYNTHESE DU MODULE DE GESTION DE LA DENSITE DE SEMIS DE GRANODURO.NET (ROSSI V. ET AL, 2010).....	49
ANNEXE IV : DIAGRAMME DE SYNTHESE DU MODULE DE GESTION DE LA FERTILISATION AZOTEE DE GRANODURO.NET (ROSSI V. ET AL, 2010).....	50
ANNEXE V : DIAGRAMME DE SYNTHESE DU MODULE DE GESTION DES ADVENTICES DE GRANODURO.NET (ROSSI V. ET AL, 2010)	51
ANNEXE VI : TABLEAU DES CARACTERISTIQUES DES VARIETES DE BLE DUR (PASCAL B., 2011).....	52
ANNEXE VII : LISTE DES CAS D’ETUDE UTILISES POUR L’EXPERTISE DE GRANODURO.NET (ARVALIS-INSTITUT DU VEGETAL).....	53
ANNEXE VIII : CARTE DES REGIONS ITALIENNES UTILISEES DANS GRANODURO.NET (MERIGGI P.).....	57
ANNEXE IX : IMPACT DES VARIABLES D’ENTREE DU MODULE DE GESTION DE LA DENSITE DE SEMIS (HORTA).....	58
ANNEXE X : IMPACT DES VARIABLES D’ENTREES SUR LES POSTES DU BILAN AZOTE DE GRANODURO.NET A EN CRAMBADE (HORTA)	59
ANNEXE XI : SCHEMATISATION DE LA METHODE SUD-OUEST DE CONSEIL EN FERTILISATION (ARVALIS-INSTITUT DU VEGETAL).....	60
ANNEXE XII : TABLEAU COMPARATIF DE LA QUANTITE D’AZOTE (KGN/HA) ISSU DE LA MINERALISATION DES RESIDUS DE CULTURE CONSIDEREE EN ITALIE (POUR UN SOL ARGILEUX) ET EN FRANCE (HORTA, ARVALIS-INSTITUT DU VEGETAL).....	61
ANNEXE XIII : TABLEAU COMPARATIF DU CLASSEMENT DES CAS D’ETUDES PAR NIVEAU DE RISQUE SEPTORIOSE CROISSANT SELON LES EXPERIMENTATEURS ET SELON GRANODURO.NET (ARVALIS-INSTITUT DU VEGETAL, HORTA)	62
ANNEXE XIV : TABLEAU COMPARATIF DU CLASSEMENT DES CAS D’ETUDES PAR NIVEAU DE RISQUE FUSARIOSE CROISSANT SELON LES EXPERIMENTATEURS ET SELON GRANODURO.NET (ARVALIS-INSTITUT DU VEGETAL, HORTA)	63
ANNEXE XV : TABLEAU COMPARATIF DU RISQUE DON ESTIME PAR MYCO-LIS ET GRANODURO.NET (ARVALIS-INSTITUT DU VEGETAL, HORTA).....	64

Annexe I : Echelles de notation des stades de développement du blé utilisées dans Granoduro.net et en France



Principaux stades de développement du blé (source : BASF Agro – France, 2012)

Echelle Zadoks (Gate P., 1995) :

- **Levée (Z10) :**

90 % du nombre final de plantes sont levées, c'est-à-dire ont leur 1^{ère} feuille qui a percé le coléoptile (gaine rigide et protectrice enveloppant la 1^{ère} feuille)

- **Début tallage (Z21) :**

50 % des plantes possèdent une talle primaire visible

- **Epi à 1cm (Z30) :**

Début montaison : la distance moyenne du sommet de l'épi au plateau de tallage est de 10 mm

- **2nd nœud (Z32) :**

Le 2nd nœud est à 2cm au-dessus du 1^{er} nœud

- **Gonflement (Z45) :**

50 % des épis des tiges gonflent et commencent à éclater la gaine de la dernière feuille (F1)

- **Epiaison (Z55) :**

50 % des épis sont à moitié dégainés

- **Floraison (Z65) :**

Les premières étamines (généralement situées au milieu de l'épi) sortent des épillets sur 50 % des épis de la parcelle.

- **Grain laiteux (Z75) :**

Contenu laiteux, les grains ont atteint leur taille maximale mais sont encore verts

- **Grain pâteux (Z85) :**

Contenu du grain tendre mais sec, une empreinte faite avec un ongle est réversible

- **Maturité récolte (Z92) :**

Le grain se casse quand on tente de le couper avec un scalpel

Echelle BBCH (Meier U., 2001) :

- **Levée (Z9) :**

Le coléoptile perce la surface du sol

- **Début tallage (Z21) :**

La 1ère talle est visible

- **Epi à 1cm (Z30) :**

Début montaison : les talles sont dressées, début d'élongation du 1^{er} entre-noeud, inflorescence au plus à 1cm au-dessus du plateau de tallage

- **2nd noeud (Z32) :**

Le 2nd noeud est au plus à 2cm au-dessus du 1^{er} noeud

- **Début gonflement (Z41) :**

Elongation de la gaine foliaire de la dernière feuille

- **Début épiaison (Z51) :**

10% des épis sont sortis de la gaine

- **Début floraison (Z61) :**

Les premières étamines sortent des épillets sur 10 % des épis de la parcelle

- **Début grain laiteux (Z73) :**

Le grain occupe la totalité de la cavité floral, son contenu est surtout liquide

- **Début grain pâteux (Z83) :**

La couleur verte du grain commence à disparaître, il peut encore aisément être écrasé entre les doigts, il a atteint son poids frais maximum

- **Maturité récolte (Z92) :**



Le grain est dur et ne peut pas être marqué à l'ongle

Annexe II : Grilles d'évaluation du niveau de risque agronomique DON sur blé dur

- Grille Granoduro.net (Horta)

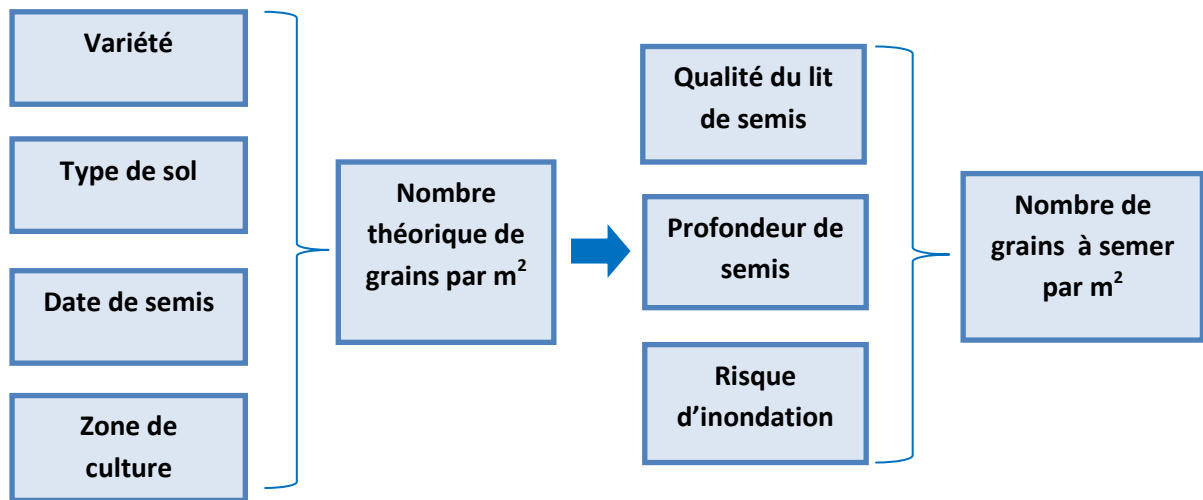
Niveau de Risque	Précédent	Travail du sol
Risque faible	Pomme de Terre	Charrue
	Pois Industrie	
Risque Moyen	Pois grain	25-30cm
	Colza	
	Tournesol	15-20cm
	Maïs ensilage	
	Blé dur paille exportées	
Risque Fort	Sorgho	Semis direct
	Maïs grain	
	Avoine grain	Non labour
	Blé dur grain	

- Grille Myco-LIS (ARVALIS-Institut du végétal)

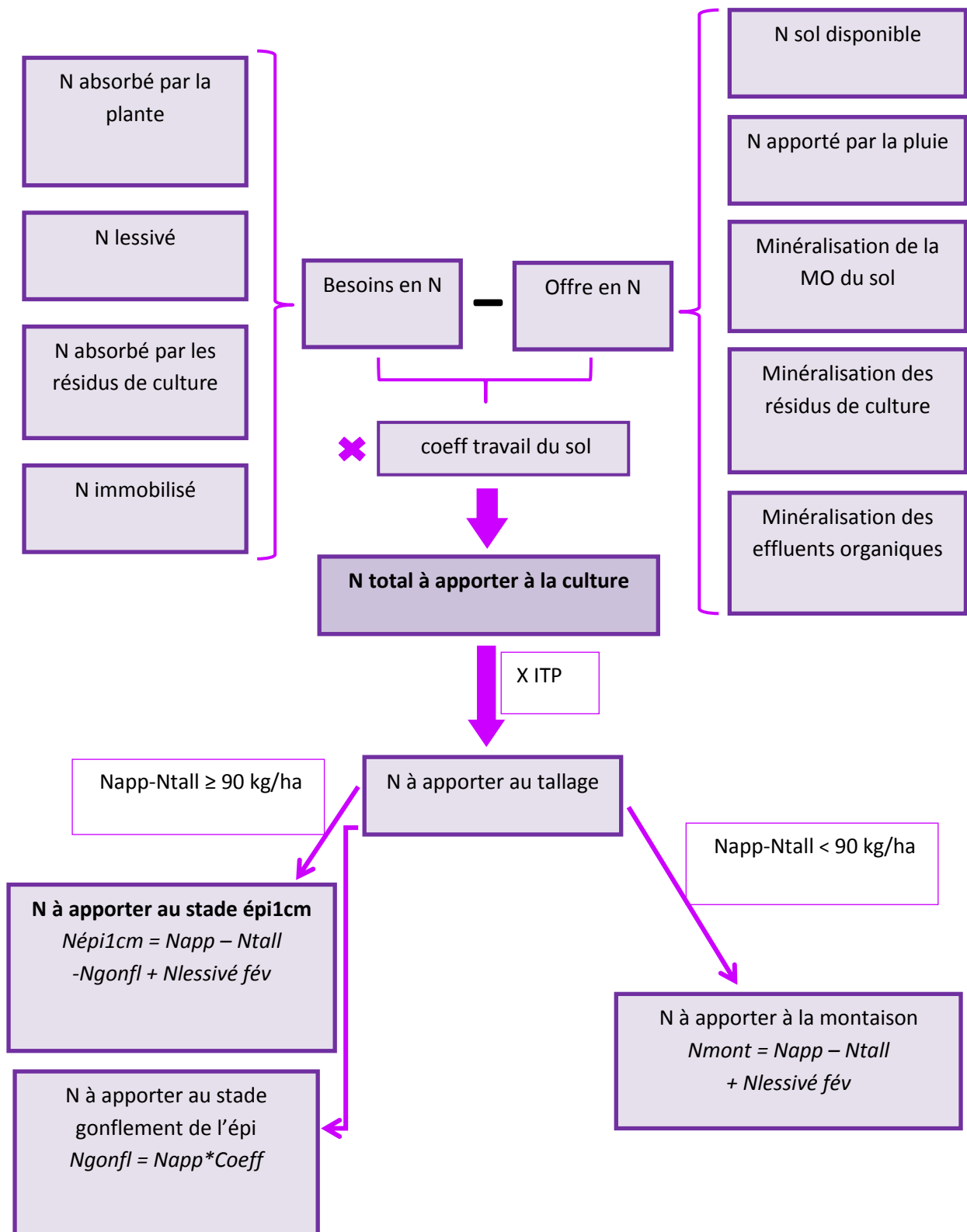
Système de culture		Sensibilité variétale	Niveaux de risque						
	Autres	Labour	Moyennement sensibles	a					
			Sensibles	a					
	Techniques sans labour		Les plus sensibles	b					
			Moyennement sensibles	b					
	Maïs	Labour	Moyennement sensibles	(b)	c				
			Sensibles	(b)	c				
			Les plus sensibles	(c)	d				
	Sorgho (fourrages)	Techniques sans labour	Moyennement sensibles	(c)	d				
			Sensibles	(d)	e				
			Les plus sensibles	(e)	f				

© ARVALIS - Institut du végétal

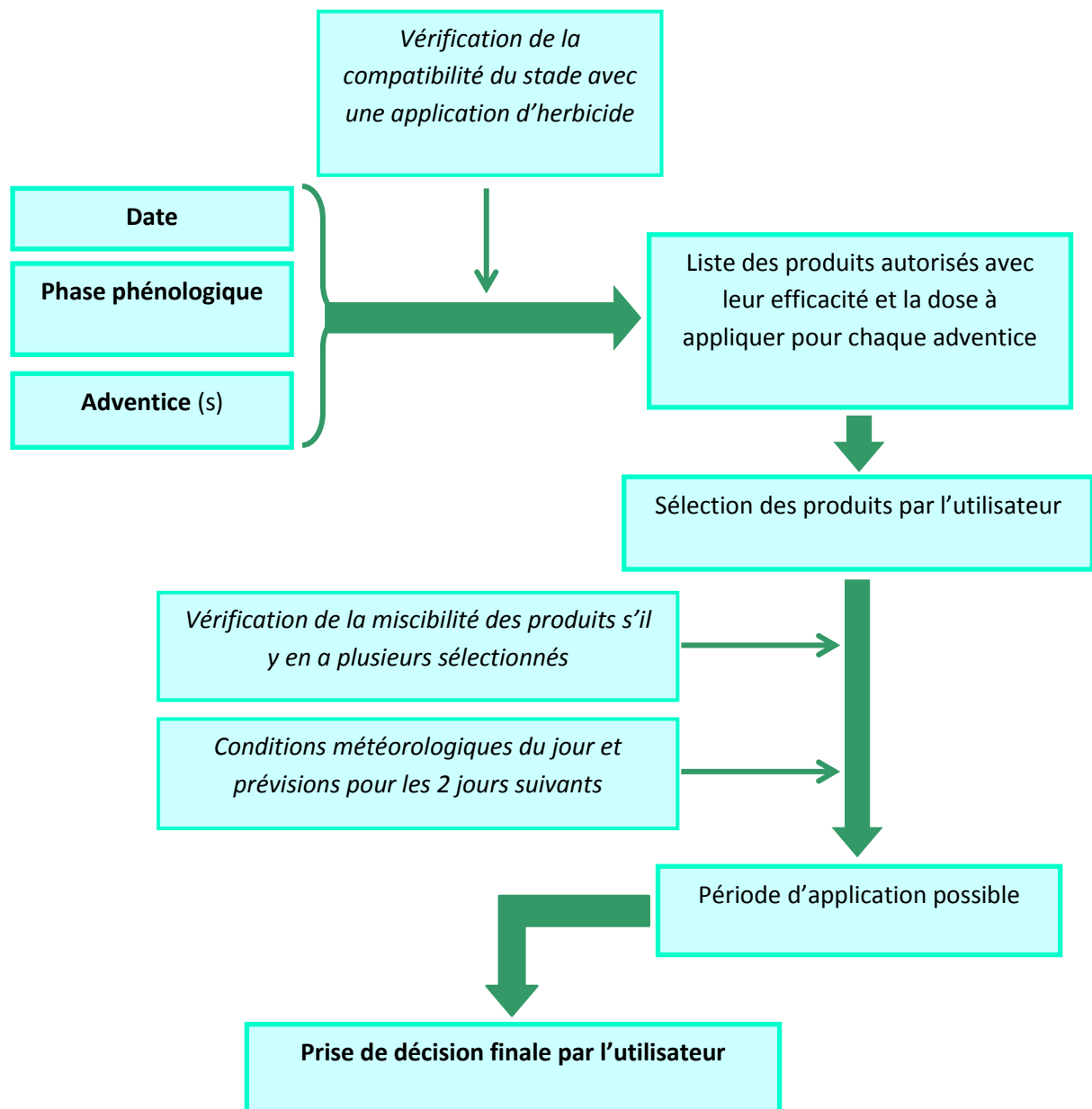
Annexe III : Diagramme de synthèse du module de gestion de la densité de semis de granoduro.net (Rossi V. et al, 2010)



Annexe IV : Diagramme de synthèse du module de gestion de la fertilisation azotée de Granoduro.net (Rossi V. et al, 2010)



Annexe V : Diagramme de synthèse du module de gestion des adventices de Granoduro.net (Rossi V. et al, 2010)



Annexe VI : Tableau des caractéristiques des variétés de blé dur (Pascal B., 2011)

Caractéristiques des variétés de Blé dur

Représentant	NOM	Année d'inscription	Source ARVALIS - Institut du végétal et/ou GEVES (Note ARVALIS - Institut du végétal actualisée 2011 et/ou note GEVES)																	CFSI							
			Alternativité	Précocité à montaison	Précocité épiaison	Froid	Hauteur	Verse	Germination sur pied	Piétin Verse	Oidium	Rouille jaune	Rouille brune	Septorioses (majoritairement S.tritici)	Septoriose nodorum	Fusarioses - symptômes sur épis	Fusariose - DON	PMG	Poids Spécifiques		Protéines totales	Indice de jaune	Indice de brun	Moucheture	Mitadnage	Classe technologique	Avis semoulière
Act	ALEXIS	10			6	6	2.5	6.5	2			7.5	7	6.5	5		4.5	3.5	6.5	6	5.5	8	7	7.5	6	BDC	
Eur	ARGELES	97	9	4	7	3.5	4	4	4	3	4.5	4	4.5	5	7		3	8.5	7	5.5	8.5	6.5	5.5	5.5	B		
R2n	ATOUDUR	11			6.5		3.5	2			7	8	6.5	5.5		4		9		6	6.5	6	7.5	5.5	BDM		
R2n	AVENTUR	11			5.5	6	3					8				3.5		6.5		5	9	7.5	6	4	BD		
CCB	BABYLONE	09		3	6	1.5	3.5	7	2		6		7	7		5.5	5.5	9	6.5	5	8	7	6.5	4	BD	Conf	
R2n	BIENSUR	01	9	1	6	4	2.5	6	3	2	6	7	6	4.5	5	5.5	5	6.5	7	6	8	6.5	5.5	7	B	BV	
Eur	BYBLOS	04	8	2	6	3	2.5	6.5	3		7	9	7.5	6			1.5	7	6	6	7	6.5	6	6.5	C		
Hel	CLAUDIO	IT-98	9	4	7	2.5	3	4			6		5	4		3	3	7.5	8	6	6	6.5	7	4.5			
Eur	CLOVIS	09			6.5	3.5	3.5	3.5	2		6		5	6		4.5	5	7	8	6	7.5	6	6.5	6	BDM	Conf	
R2n	COUSSUR	10			6.5	6	2.5	6			6	6	5.5	4.5		5		7	6	5.5	8	6.5	7.5	5	BD		
R2n	CULTUR	07	9	2	6	4.5	3	6	3		5.5		6	5		4.5	3.5	6	5.5	6	8	7	7	5.5	BDC		
Eur	DAKTER	05	9	3	6.5	2.5	2.5	6.5	1		7		7	6.5		4	4	7.5	5	6.5	7.5	6.5	7.5	6	BDHQ	BV	
Mom	DURASOL	ALL-09					4.5				5		5			5		7.5	5	6	8	7	5	5			
Act	DUROBONUS	AT-05	8	1	6.5	3.5	3.5	5	4		6.5		4	5		5.5	4.5	7.5	7	5	8	6.5	6.5	5	BDM		
Eur	FABULIS	11			6.5	6	3.5	5.5			7	8	5	4		4.5		8.5	6	8.5	6.5	7	6.5	6.5	BDC		
R2n	ISILDUR	07	8	3	6	2	2.5	6	2		7		7	6.5		4.5	4.5	6.5	6	5.5	8	6	7	5.5	BDM	BV	
CCB	JOYAU	02	9	2	6	3.5	3.5	6.5	2		5.5	8	4	5	5	6.5	5.5	6.5	6	6	8	7	8	6	A	Rec	
R2n	KARUR	02	9	1	6	5	3.5	6	3	3	6	8	4.5	6.5	3	5.5	4.5	6.5	4.5	6	7.5	6	8	6	B	Rec	
R2n	LIBERDUR	07	9	3	6	1	3.5	6	2		7		6.5	6		4.5	4	7	6	5.5	8	6	7	5.5	BDM		
FD	MIRADOUX	07	8	2	6	2	3.5	6	3		7		4.5	6		5	4	8	6.5	5.5	8.5	6.5	7.5	5.5	BDHQ	BV	
CCB	MURANO	10			6	3	3	5.5			7	8	7	4.5		5.5		8	6	5.5	9	6.5	8	5	BD		
Eur	NEFER	97	9	3	6	3	3	4	4	1	6.5	8	4.5	5.5	6	3.5	3.5	7	6	5.5	6.5	6.5	9	6	B		
R2n	NEODUR	87	9	2	6.5	3	3	6.5	2	2	5	6	2	5.5	5	5.5	5	7	6.5	6.5	7.5	6.5	4	6.5		Rec	
Eur	ORLU	02	9	2	6	4	3	6.5	2	2	6.5	8	6.5	5.5	5		5	7	5.5	6	7	6.5	5.5	5.5	D		
R2n	PASTIFLUR	11			6	5	3	5			7	4	4.5	7.5		4		7		6.5	8	6	8.5	6	BDHQ		
FD	PESCADOU	02	9	2	6.5	2.5	3.5	6.5	2	1	6	7	4.5	5		5.5	5.5	7.5	6.5	6.5	8	6	6.5	6	B	BV	
Eur	PHARAON	08		4	7	3	3	5.5			7		5.5	4		5	4	7	5	6.5	7.5	5.5	6.5	4.5	BD	BV	
Act	PICTUR	09			6	3	3	6.5	3		5.5		6.5	6		5	4.5	8.5	4	6.5	6.5	7	7	6	BDP	Conf	
Act	PROVENZAL	IT-98		2	6.5		6				5.5		3	5.5			4.5	6	6	5	7	7	7.5	5.5			
R2n	SCULPTUR	08		4	6.5	2.5	2.5	5.5			5.5		5.5	5		4	3	6	6	5.5	7.5	6.5	7	4.5	BDM		
Act	SURMESUR	10			6	5.5	3.5	4.5	2		6.5	5	7	6		5.5	4.5	8	6.5	6	7.5	6	7	6	BDP		
CCB	SY BANCO	11			6.5	5	3.5	6.5			6	7	4.5	5.5	4		7.5		6	8	6	7.5	5.5	5.5	BDC		
CCB	SY CYSCO	11			6.5	3	3.5	6.5			7	5	6.5	5		5		6		5.5	8	6.5	7	6	BDC		
CCB	SY ENZO	11			6.5		3.5	5.5			6.5	7	6	2.5		4		6.5		6.5	8	6	8	6.5	BDHQ		
R2n	TABLUR	11			6	4.5	3.5	7			5	8	6	5		4		7		4.5	8.5	6.5	8	4	BD		

DON = mycotoxine Deoxynivalenol

Rec = variétés recommandées par l'industrie (2010)

BV = variétés à bonne valeur d'utilisation (2010)

Conf = variétés dont les caractères sont à confirmer (2010)

Précocité à montaison : 1 = variété tardive ; 5 = variété précoce

Précocité à épiaison : 1 = variété tardive ; 9 = variété ultra-précoce

maladies et accidents : de 1 (très sensible) à 9 (très résistant)

qualité : de 4 (médiocre) à 9 (excellent)

Act = Actisem

CCB= Benoist

Eur = Eurodur

FD = Florimond-desprez

Hel = Héliosem

Mom = Momont

R2n = RAGT semences

classes technologiques : BDHQ (blé dur haute qualité), BDC (blé dur couleur), BDP (blé dur protéines), BDM (blé dur moyen), BD (blé dur passable)

Annexe VII : Liste des cas d'étude utilisés pour l'expertise de Granoduro.net (ARVALIS-Institut du végétal)

- Cas d'étude des modules de gestion de la densité de semis, de la fertilisation azotée, des adventices et les modules maladies

Lieu	GREOUX			
Année	2006-2007	2007-2008	2010-2011	2011-2012
ZVN	Non	Non	Non	Non
Province de l'UP	Ravennes	Ravennes	Ravennes	Ravennes
Commune de l'UP	Ravennes	Ravennes	Ravennes	Ravennes
Altitude de l'UP	201-300m	201-300m	201-300m	201-300m
Variété de blé dur	Miradoux	Miradoux	Miradoux	Miradoux
Rendement attendu	8.4 t/ha	8.4 t/ha	8.4 t/ha	8.4 t/ha
Culture précédente	colza	vesce	lin	lin oléagineux
Date de semis	02-nov	31-oct	21-oct	20-oct
Présence de gravier	Non	Non	Non	Non
Texture	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne
Taux de MO	1,8 - 2,5 %	1,8 - 2,5 %	1,8 - 2,5 %	1,8 - 2,5 %
Teneur N sol	1,0 - 1,5 ‰	1,0 - 1,5 ‰	1,0 - 1,5 ‰	1,0 - 1,5 ‰
Travail du sol	charrue	outil à disq	outil à disq	outil à disques (15-20cm)
Aération du sol	Bonne	Bonne	Bonne	Bonne
Qualité du semis	Bonne	Bonne	Bonne	Bonne
Profondeur de semis	1 - 2 cm	1 - 2 cm	1 - 2 cm	1 - 2 cm
Risque d'inondation	absent	absent	absent	absent
Effluent Organique	Non	Non	Non	Non

Lieu	EN CRAMBADE						
Année	2005-2006	2006-2007	2007-2008	2008-2009	2009-2010	2010-2011	2011-2012
ZVN	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non
Province de l'UP	Ascoli Picen	Ascoli Picen	Ascoli Picen	Ascoli Picen	Ascoli Picen	Ascoli Picen	Ascoli Piceno
Commune de l'UP	Ascoli Picen	Ascoli Picen	Ascoli Picen	Ascoli Picen	Ascoli Picen	Ascoli Picen	Ascoli Piceno
Altitude de l'UP	101-200m	101-200m	101-200m	101-200m	101-200m	101-200m	101-200m
Variété de blé dur	Miradoux	Miradoux	Miradoux	Miradoux	Miradoux	Miradoux	Miradoux
Rendement attendu	8.6 t/ha	8.6 t/ha	8.6 t/ha	8.6 t/ha	8.6 t/ha	8.6 t/ha	8.6 t/ha
Culture précédente	Tournesol	Tournesol	Tournesol	Tournesol	Tournesol	Tournesol	Tournesol
Date de semis	29-oct	27-oct	29-oct	17-oct	16-nov	04-nov	31-oct-11
Présence de gravier	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non
Texture	Fine/Argile	Fine/Argile	Fine/Argile	Fine/Argile	Fine/Argile	Fine/Argile	Fine/Argileuse
Taux de MO	1,2% - 2,2%	1,2% - 2,2%	1,2% - 2,2%	1,2% - 2,2%	1,2% - 2,2%	1,2% - 2,2%	1,2% - 2,2%
Teneur N sol	1,0 - 1,5 ‰	1,0 - 1,5 ‰	1,0 - 1,5 ‰	1,0 - 1,5 ‰	1,0 - 1,5 ‰	1,0 - 1,5 ‰	1,0 - 1,5 ‰
Travail du sol	outil à disq	outil à disq	outil à disq	outil à disq	outil à disq	outil à disq	outil disques
Aération du sol	Bonne	Bonne	Bonne	Bonne	Bonne	Bonne	Bonne
Qualité du semis	Bonne	Moyenne	Bonne	Bonne	Bonne	Bonne	Bonne
Profondeur de semis	1 - 2 cm	1 - 2 cm	1 - 2 cm	1 - 2 cm	1 - 2 cm	1 - 2 cm	1 - 2 cm
Risque d'inondation	absent	absent	absent	absent	absent	absent	absent
Effluent Organique	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non

Lieu	AUCH					
Année	2006-2007	2007-2008	2008-2009	2009-2010	2010-2011	2011-2012
ZVN	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Province de l'UP	Ascoli Picen	Ascoli Picen	Ascoli Picen	Ascoli Picen	Ascoli Picen	Ascoli Piceno
Commune de l'UP	Ascoli Picen	Ascoli Picen	Ascoli Picen	Ascoli Picen	Ascoli Picen	Ascoli Piceno
Altitude de l'UP	101-200m	101-200m	101-200m	101-200m	101-200m	101-200m
Variété de blé dur	Miradoux	Miradoux	Miradoux	Miradoux	Miradoux	Miradoux
Rendement attendu	6.6 t/ha	6.6 t/ha	6.6 t/ha	6.6 t/ha	6.6 t/ha	6.6 t/ha
Culture précédente	tournesol (r	colza	tournesol	tournesol (r	colza (rés)	Tournesol
Date de semis	24-oct	30-oct	15-nov	27-oct	27-oct	25-oct-11
Présence de gravier	Non	Non	Non	Non	Non	Non
Texture	Fine/Argile	Fine/Argile	Fine/Argile	Fine/Argile	Fine/Argile	Fine/Argileuse
Taux de MO	1,2% - 2,2%	1,2% - 2,2%	1,2% - 2,2%	1,2% - 2,2%	1,2% - 2,2%	1,2% - 2,2%
Teneur N sol	1,0 - 1,5 ‰	1,0 - 1,5 ‰	1,0 - 1,5 ‰	1,0 - 1,5 ‰	1,0 - 1,5 ‰	1,0 - 1,5 ‰
Travail du sol	outil à disq	outil à disq	outil à disq	outil à disq	outil à disq	ques(15-20cm)
Aération du sol	Bonne	Bonne	Bonne	Bonne	Bonne	Bonne
Qualité du semis	Bonne	Bonne	Bonne	Bonne	Bonne	Bonne
Profondeur de semis	1 - 2 cm	1 - 2 cm	1 - 2 cm	1 - 2 cm	1 - 2 cm	1 - 2 cm
Risque d'inondation	absent	absent	modéré	absent	absent	absent
Effluent Organique	Non	Non	Non	Non	Non	Non

Lieu	LE MAGNERAUD						
Année	2005-2006	2006-2007	2007-2008	2008-2009	2009-2010	2010-2011	2011-2012
ZVN	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non
Province de l'UP	Pesaro	Pesaro	Pesaro	Pesaro	Pesaro	Pesaro	Pesaro
Commune de l'UP	Urbino	Urbino	Urbino	Urbino	Urbino	Urbino	Urbino
Altitude de l'UP	0-100m	0-100m	0-100m	0-100m	0-100m	0-100m	0-100m
Variété de blé dur	Miradoux	Miradoux	Miradoux	Miradoux	Miradoux	Miradoux	Miradoux
Rendement attendu	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
Culture précédente	Pois protéag	Pois protéag	Tournesol	Pois protéag	Colza	Tournesol	Pois
Date de semis	21-oct	23-oct	23-oct	23-oct	23-oct	22-oct	21-oct-12
Présence de gravier	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Texture	Fine/Argile	Fine/Argile	Fine/Argile	Fine/Argile	Fine/Argile	Fine/Argileuse	Fine/Argileuse
Taux de MO	> 3,0%	> 3,0%	> 3,0%	> 3,0%	> 3,0%	> 3,0%	> 3,0%
Teneur N sol	2,5 - 5,0 ‰	2,5 - 5,0 ‰	2,5 - 5,0 ‰	2,5 - 5,0 ‰	2,5 - 5,0 ‰	2,5 - 5,0 ‰	2,5 - 5,0 ‰
Travail du sol	outil à disq	outil à disq	outil à disq	outil à disq	outil à disq	outil à disques	outil disques
Aération du sol	Bonne	Bonne	Bonne	Bonne	Bonne	Bonne	Bonne
Qualité du semis	Bonne	Bonne	Moyenne	Bonne	Bonne	Bonne	Bonne
Profondeur de semis	1 - 2 cm	1 - 2 cm	1 - 2 cm	1 - 2 cm	1 - 2 cm	1 - 2 cm	1 - 2 cm
Risque d'inondation	absent	absent	absent	absent	absent	absent	absent
Effluent Organique	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non

Lieu	OUZOUER					
Année	2005-2006	2007-2008	2008-2009	2009-2010	2010-2011	2011-2012
ZVN	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Province de l'UP	Ravennes	Ravennes	Ravennes	Ravennes	Ravennes	Ravennes
Commune de l'UP	Ravennes	Ravennes	Ravennes	Ravennes	Ravennes	Ravennes
Altitude de l'UP	101-200m	101-200m	101-200m	101-200m	101-200m	101-200m
Variété de blé dur	Miradoux	Miradoux	Miradoux	Miradoux	Miradoux	Miradoux
Rendement attendu	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5
Culture précédente	Pois protéag	Pois protéag	Colza	Colza	Colza	Colza
Date de semis	25-oct	26-oct	24-oct	26-oct	22-oct	27-oct-11
Présence de gravier	Non	Non	Non	Non	Non	Non
Texture	Fine/Argile	Fine/Argile	Fine/Argile	Fine/Argile	Fine/Argile	Fine/Argileuse
Taux de MO	1,2% - 2,2%	1,2% - 2,2%	1,2% - 2,2%	1,2% - 2,2%	1,2% - 2,2%	1,2% - 2,2%
Teneur N sol	1,0 - 1,5 ‰	1,0 - 1,5 ‰	1,0 - 1,5 ‰	1,0 - 1,5 ‰	1,0 - 1,5 ‰	1,0 - 1,5 ‰
Travail du sol	outil à disq	outil à disq	outil à disq	outil à disq	outil à disq	outil disques(1
Aération du sol	Bonne	Bonne	Bonne	Bonne	Bonne	Bonne
Qualité du semis	Bonne	Bonne	Bonne	Bonne	Bonne	Bonne
Profondeur de semis	3 - 4 cm	3 - 4 cm	3 - 4 cm	3 - 4 cm	3 - 4 cm	3 - 4 cm
Risque d'inondation	absent	absent	absent	absent	absent	absent
Effluent Organique	Non	Non	Non	Non	Non	Non

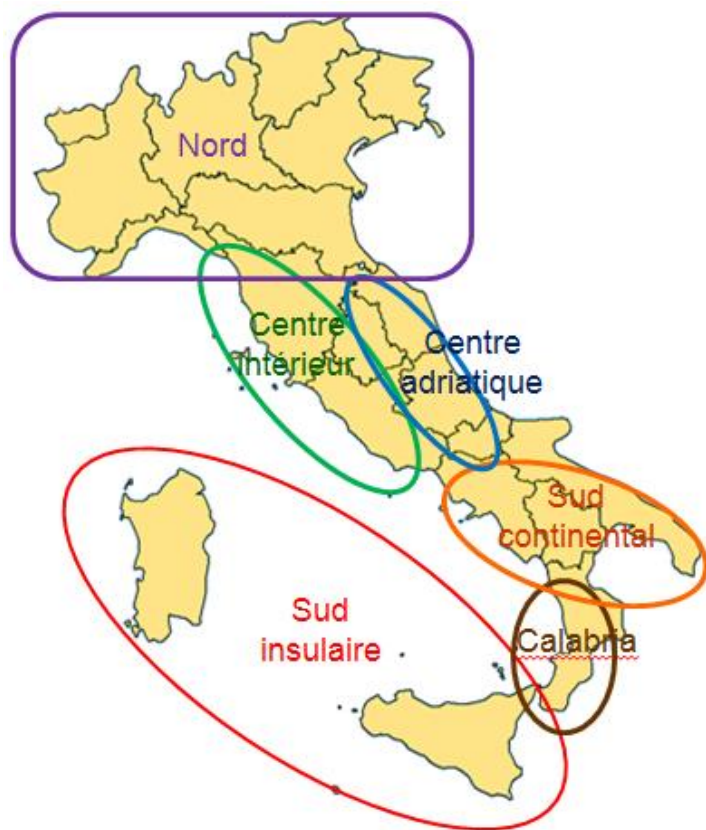
NB : Nous ne disposons pas de l'ensemble des notations de chacune des maladies ainsi que de chacun des stades pour tous les cas d'études.

- Cas d'étude du module de développement phénologique

Seule la date de semis diffère des cas d'études des autres modules.

Année récolte	Semis	Lieu
2007	02-nov	Gréoux
2008	31-oct	Gréoux
2011	08-oct	Gréoux
2012	05-oct	Gréoux
2012	11-oct	Gréoux
2012	20-oct	Gréoux
2006	29-oct	EnCrambade
2007	27-oct	EnCrambade
2007	18-oct	EnCrambade
2008	17-oct	EnCrambade
2008	29-oct	EnCrambade
2009	21-nov	EnCrambade
2010	16-oct	EnCrambade
2012	17-oct	EnCrambade
2012	31-oct	EnCrambade
2007	24-oct	Auch
2008	30-oct	Auch
2009	15-nov	Auch
2012	25-oct	Auch
2006	21-oct	LeMagneraud
2008	23-oct	LeMagneraud
2012	21-oct	LeMagneraud
2006	25-oct	Ouzouer
2008	18-oct	Ouzouer
2008	06-nov	Ouzouer
2009	24-oct	Ouzouer
2009	07-oct	Ouzouer
2012	27-oct	Ouzouer
2012	26-oct	Ouzouer

Annexe VIII : Carte des régions italiennes utilisées dans Granoduro.net
(Meriggi P.)



Annexe IX : Impact des variables d'entrée du module de gestion de la densité de semis (Horta)

Zone	Densité Standard	Période de semis
Nord (Gréoux, Ouzouer)	250 gr/m ²	21 oct – 25 oct
Centre (Auch, En Crambade, Le Magneraud)	200 gr/m ²	1 ^{er} nov – 5 nov



Date de semis
- 20% à + 30%

Texture	% Variation
Argileuse	+ 2,50 %
Moyenne	0 %
Sableuse	-2,50 %

Cailloux	% Variation
Absence	0%
Présence	10%

Zone-Altitude	% Variation
	0%
	2,50%
	5%
	10%
	15%
	20%
	25%

Qualité du semis	% Variation
Bonne	0 %
Moyenne	+ 2,5%
Mauvaise	+ 10 %
Semis direct	+ 10 %

Profondeur de semis	% Variation
1 – 2 cm	0%
3 – 4 cm	+ 5 %
5 – 6 cm	+ 10 %
> 6 cm	+ 20 %

Risque d'inondation	% Variation
Absent	0 %
Risque moyen	+ 10 %
Risque élevé	+ 20 %

Annexe X : Impact des variables d'entrées sur les postes du bilan azoté de Granoduro.net à En Crambade (Horta)

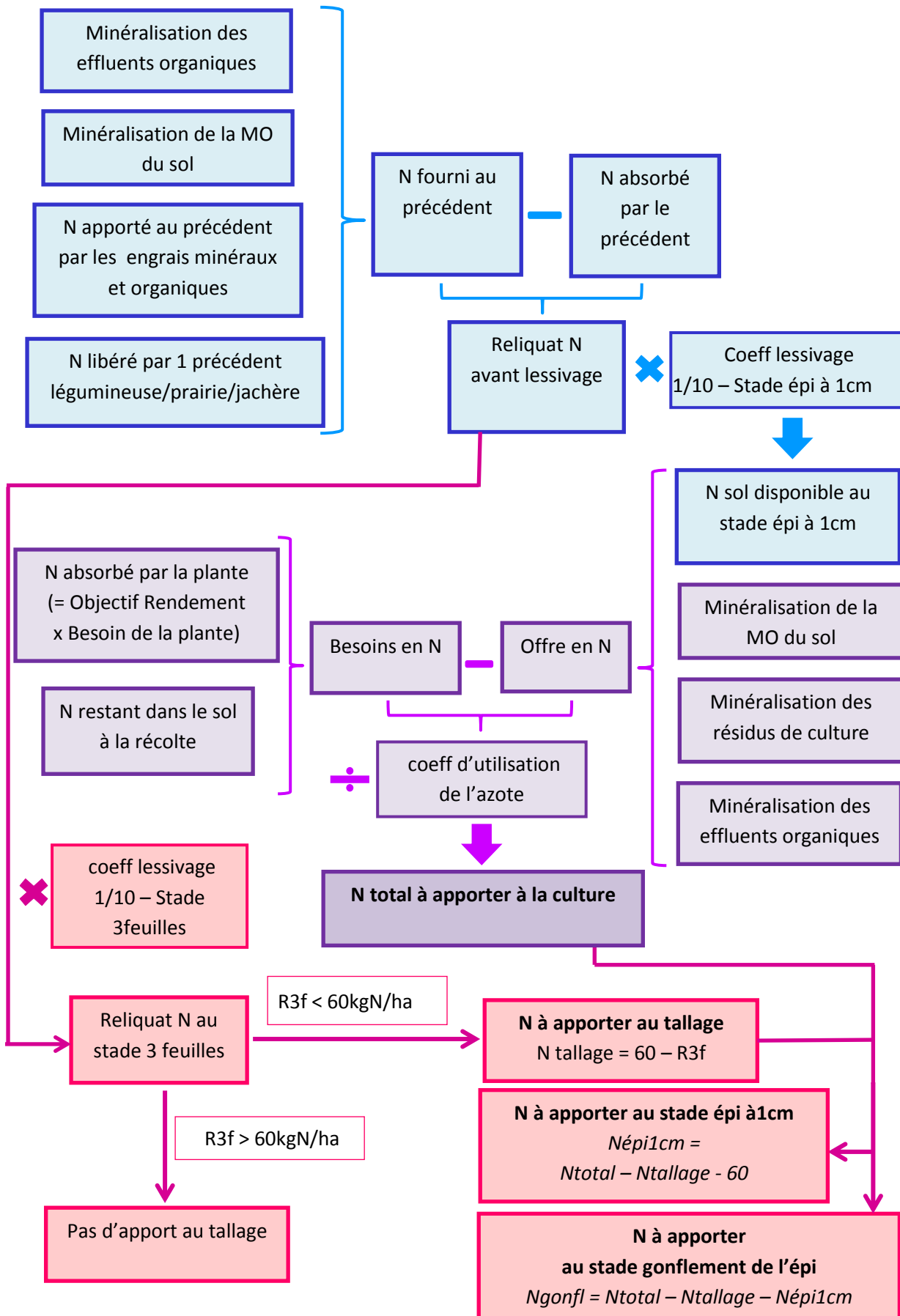
Minéralisation MO sol (Nm)			
texture	%MO	%Ntotal	Nm (kg/ha)
argileuse	0-1.2	< 0.5	2
argileuse	0-1.2	2,5-5	6
argileuse	1.2-2.2	< 0.5	6
argileuse	1.2-2.2	2.5-5	18
argileuse	2.2-3	< 0.5	9
argileuse	2.2-3	2.5-5	28
argileuse	> 3	< 0.5	11
argileuse	>3	2.5-5	32
moyenne	0-1	<0.5	7
moyenne	0-1	2.5-5	8
moyenne	1-1.8	<0.5	19
moyenne	1-1.8	2.5-5	22
moyenne	1.8-2.5	<0.5	29
moyenne	1.8-2.5	2.5-5	34
moyenne	>2.5	<0.5	40
moyenne	>2.5	2.5-5	47
sableuse	0-0.8	<0.5	8
sableuse	0-0.8	2.5-5	10
sableuse	0.8-1.4	<0.5	18
sableuse	0.8-1.4	2.5-5	28
sableuse	1.4-2	<0.5	29
sableuse	1.4-2	2.5-5	43
sableuse	>2	<0.5	40
sableuse	>2	2.5-5	60

N immobilisé (Nd)			
texture	aération du sol	% MO	Nd
argileuse	bonne	0-1.2	9
argileuse	moyenne	0-1.2	11
argileuse	mauvaise	0-1.2	15
argileuse	bonne	>3	10
argileuse	moyenne	>3	12
argileuse	mauvaise	>3	16
moyenne	bonne	0-1	8
moyenne	moyenne	0-1	10
moyenne	mauvaise	0-1	14
moyenne	bonne	>2.5	14
moyenne	moyenne	>2.5	18
moyenne	mauvaise	>2.5	25
sableuse	bonne	0-0.8	7
sableuse	moyenne	0-0.8	9
sableuse	mauvaise	0-0.8	14
sableuse	bonne	>2	13
sableuse	moyenne	>2	17
sableuse	mauvaise	>2	26

N sol disponible (Np)		
texture	%Ntotal	Np (kg/ha)
argileuse	<0.5	6
argileuse	2-2.5	50
moyenne	<0.5	7
moyenne	2-2.5	55
sableuse	<0.5	7
sableuse	2.5-5	59

La minéralisation de l'azote selon le précédent est présentée en annexe XII.

Annexe XI : Schématisation de la méthode Sud-Ouest de conseil en fertilisation (ARVALIS-Institut du végétal)



Annexe XII : Tableau comparatif de la quantité d'azote (kgN/ha) issu de la minéralisation des résidus de culture considérée en Italie (pour un sol argileux) et en France (Horta, ARVALIS-Institut du végétal)

Précédent	Granoduro.net	ARVALIS-Institut du végétal
Betterave	40	20
Colza	25	20
Céréales pailles enfouies	-30	-20
Tournesol	0	-10
Lin grain	5	
Lin fibre	0	0
Maïs grain	-40	-10
Maïs ensilage	-10	0
Pois protéagineux	40	20
Pomme de terre	35	20
Prairie	15	0

Annexe XIII : Tableau comparatif du classement des cas d'études par niveau de risque septoriose croissant selon les expérimentateurs et selon Granoduro.net (ARVALIS-Institut du végétal, Horta)

Classement Observations			Classement Granoduro.net		
Date de Semis	Lieu	Note	Date de Semis	Lieu	Note
23-oct-09	Le Magneraud	0.00	25-oct-11	Auch	0.00
26-oct-09	Ouzouer	0.02	21-oct-10	Gréoux	0.18
27-oct-10	Auch	0.02	02-nov-06	Gréoux	0.20
04-nov-10	En Crambade	0.03	15-nov-08	Auch	0.23
27-oct-06	En Crambade	0.05	29-oct-05	En Crambade	0.23
23-oct-08	Le Magneraud	0.05	23-oct-07	Le Magneraud	0.23
30-oct-07	Auch	0.07	27-oct-10	Auch	0.25
24-oct-06	Auch	0.10	27-oct-09	Auch	0.28
29-oct-05	En Crambade	0.10	27-oct-06	En Crambade	0.28
16-nov-09	En Crambade	0.10	16-nov-09	En Crambade	0.28
21-oct-10	Gréoux	0.10	23-oct-08	Le Magneraud	0.28
24-oct-08	Ouzouer	0.13	26-oct-07	Ouzouer	0.28
25-oct-11	Auch	0.14	17-oct-08	En Crambade	0.30
27-oct-11	Ouzouer	0.15	04-nov-10	En Crambade	0.30
02-nov-06	Gréoux	0.18	23-oct-09	Le Magneraud	0.30
26-oct-07	Ouzouer	0.20	24-oct-08	Ouzouer	0.35
27-oct-09	Auch	0.25	30-oct-07	Auch	0.38
29-oct-07	En Crambade	0.25	26-oct-09	Ouzouer	0.38
17-oct-08	En Crambade	0.30	27-oct-11	Ouzouer	0.40
15-nov-08	Auch	0.32	24-oct-06	Auch	0.43
23-oct-07	Le Magneraud	0.40	29-oct-07	En Crambade	0.45

Annexe XIV : Tableau comparatif du classement des cas d'études par niveau de risque fusariose croissant selon les expérimentateurs et selon Granoduro.net (ARVALIS-Institut du végétal, Horta)

Classement Observations		Classement Granoduro.net	
Cas d'étude	Note	Cas d'étude	Note
3190-27oct2006	0.000	4198-26oct2009	0.001
4198-26oct2009	0.020	3252-30oct2007	0.013
3190-4nov2010	0.029	1788-23oct2007	0.018
3252-30oct2007	0.040	0451-2nov2006	0.021
0451-2nov2006	0.040	4198-26oct2007	0.021
3252-15nov2008	0.050	4198-27oct2011	0.026
0451-21oct2010	0.110	3190-4nov2010	0.028
4198-27oct2011	0.150	3252-24oct2006	0.030
3190-21nov2008	0.200	3190-29oct2007	0.033
1788-23oct2007	0.200	3190-27oct2006	0.048
4198-26oct2007	0.200	0451-21oct2010	0.098
3252-24oct2006	0.400	3190-21nov2008	0.108
3190-29oct2007	0.500	3252-15nov2008	0.130

Légende :

0451 → Gréoux-les-Bains

1788 → Le Magneraud

3190 → En Crambade

3252 → Auch

4198 → Ouzouer-le-Marché

Annexe XV : Tableau comparatif du risque DON estimé par Myco-LIS et Granoduro.net (ARVALIS-Institut du végétal, Horta)

Cas d'étude	Myco-LIS	Granoduro.net
4198_25102005	< 1750	< 50%
4198_26102007	> 1750	< 50%
4198_24102008	< 1750	< 50%
4198_26102009	< 1750	< 50%
4198_22102010	< 1750	< 50%
4198_27102011	< 1750	> 50%
1788_21102005	< 1750	> 50%
1788_23102006	< 1750	< 50%
1788_23102007	< 1750	< 50%
1788_23102008	< 1750	< 50%
1788_23102009	< 1750	< 50%
1788_22102010	< 1750	< 50%
1788_21102011	< 1750	< 50%
3252_24102006	> 1750	< 50%
3252_30102007	< 1750	< 50%
3252_15112008	< 1750	> 50%
3252_27102010	< 1750	< 50%
3252_25102011	> 1750	< 50%
3190_29102005	< 1750	> 50%
3190_27102006	< 1750	> 50%
3190_29102007	< 1750	< 50%
3190_17102008	< 1750	> 50%
3190_16112009	< 1750	> 50%
3190_04112010	< 1750	< 50%
3190_31102011	< 1750	< 50%
0451_02112006	< 1750	> 50%
0451_31102007	> 1750	> 50%
0451_21102010	< 1750	> 50%
0451_20102011	> 1750	< 50%

Légende :

0451 → Gréoux-les-Bains


1788 → Le Magneraud

3190 → En Crambade

3252 → Auch

4198 → Ouzouer-le-Marché

 Cas d'étude surestimé par Granoduro.net

 Cas d'étude sous-estimé par Granoduro.net



Diplôme : Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences Agronomiques, Agroalimentaires, Horticoles et du Paysage
Spécialité : Sciences et Productions Végétales
Spécialisation / option : Ingénierie des Agrosystèmes
Enseignant référent : Matthieu CAROF

Auteur(s) : Marie PARIZEL
Date de naissance* : 21 / 07 / 1989
Nb pages : 40p. Annexe(s) : 15
Année de soutenance : 2012

Organisme d'accueil : ARVALIS-Institut du végétal
Adresse : Station Expérimentale
91720 Boigneville
Maître de stage : Sylvie GUILLOT, Stéphane JEZEQUEL

Titre français : Granoduro.net : Outil d'aide au pilotage de la culture du Blé dur. Présentation et évaluation en conditions françaises

Titre anglais : Granoduro.net : Decision support system for Durum wheat growing. Presentation and evaluation in French conditions

Résumé :

La culture du blé dur est exclusivement destinée à l'alimentation humaine et doit de ce fait répondre à de nombreux critères de qualité. Les opérations culturales réalisées dans les champs contribuent fortement à l'acquisition de ces critères, notamment la teneur en protéines et en mycotoxines. Le raisonnement de la conduite de culture devenant de plus en plus complexe, des outils d'aide à la décision sont développés afin d'appuyer les acteurs de la production. Très peu sont à ce jour des outils intégrés, comme *Granoduro.net*. Cet outil développé par une entreprise italienne et disponible sur internet offre une solution globale pour la culture du blé dur : prévision des principaux stades de développement, conseils sur la gestion de la densité de semis, de la fertilisation azotée, des adventices et du risque de septoriose, rouille jaune, rouille brune, oïdium, fusariose et déoxynivalénol. Il n'a été utilisé qu'en Italie, depuis deux ans.

L'objectif est d'évaluer la pertinence de l'outil en conditions de culture françaises, s'il peut répondre aux besoins de la filière blé dur, ainsi que d'identifier des adaptations nécessaires ou améliorations.

Nous avons tout d'abord étudié ses paramètres et son fonctionnement en détail, afin de savoir quelles sont les données à fournir, et de définir les cas d'étude français. Les sorties de *Granoduro.net* sont ensuite comparées aux résultats obtenus dans les essais français, ainsi qu'avec des outils développés par ARVALIS-Institut du végétal, afin d'identifier les aspects positifs et les points à améliorer de *Granoduro.net*. A l'issue de l'expertise des pistes de poursuite des travaux sont proposées.

Abstract :

Durum wheat is exclusively intended for human feeding and must therefore meet a lot of requirements of quality. The cropping operations strongly contribute to achieve these criteria, the proteins and mycotoxins content for instance. Decision support systems are developed to cope with a crop management that becomes more and more complex. A few of them are integrated to date, like *Granoduro.net*. This web-based tool, developed by an Italian start-up, gives a global solution for durum wheat growing: prediction of the main phenological stages, advices about management of the seed density, nitrogen fertilization, weed, risks of septoria disease, yellow rust, brown rust, powdery mildew, fusarium head blight and deoxynivalenol. It has only been used in Italy for two years.

The study aimed at assessing the relevance of *Granoduro.net* in French conditions, if it meets the needs of the durum wheat field, and identifying necessary adaptations or improvements.

We first studied in details its parameters and working in order to know what data are required and to determine the French cases to use. Then, the results of *Granoduro.net* are compared with the ones we get in our experiments and with tools of ARVALIS-Institut du végétal, so as to highlight positive points of *Granoduro.net* and the ones to improve. At the end of the survey we give suggestions about continuation of the study.

Mots-clés :
Blé dur – Outil d'aide à la décision – Granoduro.net – Semis - Fertilisation azotée – Gestion des adventices - Stade de croissance - Septoriose – Rouille brune - Fusariose – Déoxynivalénol

Key-words
Durum wheat – Decision Support Systems - Granoduro.net – Sowing - Nitrogen Fertilization – Weed management - Growth stage – *Septoria* disease - Brown Rust – Fusarium Head Blight - Deoxynivalenol

