
Suivi de la dynamique des principales maladies fongiques en froment d'hiver (Triticum Aestivum) en fonction de la sensibilité variétale et de l'itinéraire technique

Auteur : Gilquin, Justine

Promoteur(s) : Bodson, Bernard

Faculté : Gembloux Agro-Bio Tech (GxABT)

Diplôme : Master en bioingénieur : sciences agronomiques, à finalité spécialisée

Année académique : 2016-2017

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/3107>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.

Résumé

La production de blé au niveau mondial et local constitue un enjeu majeur pour l'ensemble des secteurs concernés et plus particulièrement pour notre sécurité alimentaire. En Wallonie, les maladies les plus préoccupantes sont généralement : la septoriose (*Zymoseptoria tritici*), la rouille jaune (*Puccinia striiformis*) et la rouille brune (*Puccinia triticina*). C'est pourquoi le présent travail traite de la dynamique des principales maladies fongiques en froment d'hiver (*Triticum aestivum*), en fonction de la date de semis, des variétés et des traitements appliqués.

En rouille jaune, la variété Kws-Smart, jusqu'ici tolérante, s'est montrée particulièrement sensible pour la saison culturale de 2017. Il s'agit d'ailleurs de la variété la plus touchée en termes de sévérité, bien que sa dernière feuille soit peu impactée. Le type de souche rencontrée en 2017 est mis en cause. La variété Benchmark était considérée comme très sensible mais la maladie s'est manifestée dans des proportions relativement faibles. Les variétés Bergamo, Henrik, Edgar et Tobak ont quant à elles maintenu leur caractère résistant face à la rouille jaune. L'effet de la date de semis fut différent selon la sensibilité des variétés. Le semis de décembre a toutefois entraîné une augmentation de la pression de rouille jaune.

La rouille brune se comporte de manière assez similaire à l'année culturale de 2016. Les variétés Kws-Smart, Benchmark et Bergamo ont répondu aux attentes et se sont montrées relativement résistantes. La variété Edgar présentait une côte de résistance moyenne héritée de 2016 mais elle s'est montrée relativement résistante cette année. À contrario, la variété Henrik résistante jusque-là commence à manifester une certaine sensibilité. Le cultivar Tobak, reconnu pour sa sensibilité à la rouille brune a été le plus atteint de tous.

Le semis d'octobre a eu un effet négatif sur la variété la plus sensible. Enfin, l'effet du premier traitement fut positif car il a permis de diminuer suffisamment la pression de rouille brune au point de pouvoir se passer du second traitement.

Abstract

Global and local wheat production is a major challenge for all sectors concerned, and more especially for our food security. In Wallonia, diseases of most concern are generally: septoria (*Zymoseptoria tritici*), yellow rust (*Puccinia striiformis*) and brown rust (*Puccinia triticina*). For this reason, the present paper deals with the dynamics of the major fungal diseases in winter wheat (*Triticum aestivum*), depending on the date of sowing, varieties and treatments applied.

In yellow rust, the hitherto tolerant Kws-Smart variety has been particularly sensitive for the 2017 growing season. It is the most severely affected variety, although its last leaf is less impacted. The type of strain encountered in 2017 is questioned. The Benchmark variety was considered to be very sensitive but the disease was relatively weak. The Bergamo, Henrik, Edgar and Tobak varieties have retained their resistance against yellow rust. The effect of the sowing date was different depending on the sensitivity of the varieties. However, the December sowing resulted in an increase in yellow rust pressure.

The brown rust behaves fairly similar to the crop year of 2016. The Kws-Smart, Benchmark and Bergamo varieties have met expectations and have been relatively resistant. The Edgar variety had a medium resistance rib that was inherited from 2016 but was relatively resilient this year. On the other hand, the resistant Henrik variety begins to show a certain sensitivity. The cultivar Tobak, known for its sensitivity to brown rust, was the most affected of all.

October sowing had a negative effect on the most sensitive variety. Finally, the effect of the first treatment was positive because it made it possible to reduce the brown rust pressure enough to be able to do without the second treatment.

Table des matières

1.	Synthèse bibliographique :	1
1.1.	Contexte de l'étude :	2
1.2.	Les pathogènes d'intérêt agricole du genre Puccinia, les rouilles	4
1.2.1.	La rouille jaune :	4
1.2.2.	La rouille brune :	12
2.	Matériel et méthode :	16
2.1.	Conditions phytotechniques du site expérimental :	16
2.2.	Aperçu climatologique pour la saison culturale 2016-2017 :	16
2.2.1.	Stations météorologiques exploitées :	16
2.2.2.	Bilan de la saison culturale 2016-2017 à Ernage :	17
2.3.	Dispositif et conditions expérimentales :	18
2.3.1.	Facteur n°1 - Les dates de semis (3) :	18
2.3.2.	Facteur n°2 - Les variétés (6) :	19
2.3.3.	Facteur n°3 - Les modalités de traitement (3) :	19
2.4.	Observations et mesures :	20
2.4.1.	Degrés jour et somme des températures :	20
2.4.2.	Echantillonnage :	20
2.4.3.	Maladie et méthode de cotation :	21
3.	Résultats et Discussions :	23
3.1.	Stades et somme des températures :	23
3.2.	Discussions générales sur la phénologie :	24
3.3.	La Rouille Jaune :	25
3.3.1.	Comparaisons variétales :	25
3.3.2.	Comparaisons des résultats pour les dates de semis :	28
3.3.3.	Evaluation de l'efficacité des traitements :	33
3.3.4.	Réponse au double traitement (T2) :	34
3.3.5.	Discussions générales sur la rouille jaune :	35
3.4.	La rouille Brune :	39
3.4.1.	Comparaisons variétales :	39
3.5.	Comparaisons des résultats pour les dates de semis :	43
3.6.	Évaluation de l'efficacité des traitements :	52
3.6.1.	Réponse au traitement unique (T1) dans les semis du mois d'octobre :	52
3.6.2.	Réponse au double traitement (T2) :	54
3.7.	Discussion générales sur la rouille brune :	55

Liste des figures

Figure 1 : (A) Tâches chlorotiques précédents les sporulations de rouille jaune (© Arvalis,2017), (B) Urédospores sur feuilles de froment (Gilquin, 2017), (C) Pustules noires contenant les téléutospores (© Arvalis,2017), (D) Parcelles d'une variété sensible non traitée (Gilquin, 2017).	7
Figure 2 : cycles de reproduction sexuée et asexuée de <i>Puccinia striiformis</i> . Source : W. Zheng et al. 2013. High genome heterozygosity and endemic genetic recombination in the stripe rust fungus. Nature communications. DOI: 10.1038/ncomms3673.	8
Figure 3 : Diagramme décisionnels en rouille jaune (stade 30-31 BBCH) (Watillon & Bodson, 2017)	11
Figure 4 : Diagramme décisionnels en rouille jaune (stade 32 BBCH) (Watillon & Bodson, 2017).....	11
Figure 5 : (A) premières fructifications observables (© Arvalis,2017, (B) urédosores sur feuilles de froment (Gilquin J.,2017), (C) téléutospores de foin de cycle (© Arvalis,2017)	13
Figure 6 : Disposition des grandes parcelles dans le champ expérimental.....	18
Figure 7 : Disposition des parcelles intermédiaires et des petites parcelles dans une grande parcelle	19
Figure 8 : Schéma d'une parcelle avec les 6 individus suivis.....	21
Figure 9 : Les étages foliaires du froment (schéma adapté de CADCO, 2016).....	21
Figure 10 : Échelle de cotation de la rouille brune (Clive James).....	22
Figure 11 : Évolution de la pression de rouille jaune en parcelles témoins semées en octobre des 6 variétés durant les 12 semaines de suivis.	25
Figure 12 : Dynamique de la rouille jaune sur la variété Benchmark dans les parcelles témoins implantées au mois d'octobre en fonction des étages foliaires.	26
Figure 13 : Dynamique de la rouille jaune sur la variété Bergamo dans les parcelles témoins implantées au mois d'octobre en fonction des étages foliaires.	27
Figure 14 : Dynamique de la rouille jaune sur la variété Kws-Smart dans les parcelles témoins implantées au mois d'octobre en fonction des étages foliaires	27
Figure 15 : Comparaison de l'occurrence et de la sévérité des symptômes observés en F5 et F7 entre le 20 avril et le 29 mai) sur la variété Kws-Smart dans les parcelles témoins implantées au mois d'octobre.	28
Figure 16 : Évolution de la pression de rouille jaune sur les 6 variétés durant les 12 semaines de suivis. Observation sur des parcelles implantées en novembre et sans aucun traitement fongicide. .	28
Figure 17 : Dynamique de la rouille jaune sur la variété Benchmark dans les parcelles témoins implantées au mois de novembre en fonction des étages foliaires.....	29
Figure 18 : Dynamique de la rouille jaune sur la variété Kws-Smart en fonction des étages foliaires. Observation réalisée sur les parcelles implantées en novembre et sans aucun traitement fongicide.	30
Figure 19 : Comparaison de l'occurrence et de la sévérité des symptômes observés en F5 et F6 entre le 20 avril et le 30 mai 2017) sur la variété Kws-Smart dans les parcelles témoins implantées au mois de novembre.	30
Figure 20 : Évolution de la pression de rouille jaune sur les 6 variétés durant les 12 semaines de suivis. Observation sur des parcelles implantées en décembre et sans aucun traitement fongicide. .	31
Figure 21 : Dynamique de la rouille jaune sur la variété Kws-Smart en fonction des étages foliaires. Observation réalisée sur les parcelles implantées en décembre et sans aucun traitement fongicide.	31
Figure 22 : Comparaison de l'occurrence et de la sévérité des symptômes observés en F7 et F8 entre le 20 avril et le 31 mai 2017) sur la variété Kws-Smart dans les parcelles témoins implantées au mois de décembre.	32
Figure 23 : Évolution de la pression de rouille jaune sur les 6 variétés durant les 12 semaines de suivis. Observation sur des parcelles implantées en octobre et ayant reçu un traitement fongicide le 22 mai.	33

Figure 24 : Évolution de la pression de rouille jaune sur les 6 variétés durant les 12 semaines de suivis. Observation sur des parcelles implantées en octobre et ayant reçu un traitement fongicide le 15 et le 31 mai.	34
Figure 25 : Évolution de la pression de rouille brune dans les parcelles témoins sans traitement fongique semées en octobre sur les 6 variétés durant les 12 semaines de suivis.	39
Figure 26 : Évolution de la pression de rouille brune sur la variété Kws-Smart dans les parcelles témoins sans traitement fongique semées en octobre en fonction des étages foliaires.	40
Figure 27 : Comparaison de l'occurrence et de la sévérité des symptômes de rouille brune observés en F2 et F1 entre le 20 avril et le 31 mai 2017) sur la variété Kws-Smart dans les parcelles témoins implantées au mois d'octobre.	41
Figure 28 : Évolution de la pression de rouille brune sur la variété Bergamo dans les parcelles témoins sans traitement fongique semées en octobre en fonction des étages foliaires.	41
Figure 29 : Comparaison de l'occurrence et de la sévérité des symptômes de rouille brune observés en F2 et F1 entre le 20 avril et le 31 mai 2017) sur la variété Bergamo dans les parcelles témoins implantées au mois d'octobre.	42
Figure 30 : Évolution de la pression de rouille brune sur la variété Bergamo dans les parcelles témoins sans traitement fongique semées en octobre en fonction des étages foliaires.	42
Figure 31 : Comparaison de l'occurrence et de la sévérité des symptômes de rouille brune observés en F2 et F1 entre le 20 avril et le 31 mai 2017) sur la variété Tobak dans les parcelles témoins implantées au mois d'octobre.	43
Figure 32 : Évolution de la pression de rouille brune dans les parcelles témoins sans traitement fongique semées en novembre sur les 6 variétés durant les 12 semaines de suivis.	43
Figure 33 : Évolution de la pression de rouille brune sur la variété Kws-Smart dans les parcelles témoins sans traitement fongique semées en novembre en fonction des étages foliaires.	44
Figure 34: Comparaison de l'occurrence et de la sévérité des symptômes de rouille brune observés en F2 et F1 entre le 20 avril et le 31 mai 2017) sur la variété Kws-Smart dans les parcelles témoins implantées au mois de novembre.	45
Figure 35 : Évolution de la pression de rouille brune sur la variété Bergamo dans les parcelles témoins sans traitement fongique semées en novembre en fonction des étages foliaires.	45
Figure 36 : Comparaison de l'occurrence et de la sévérité des symptômes de rouille brune observés en F2 et F1 entre le 20 avril et le 31 mai 2017) sur la variété Bergamo dans les parcelles témoins implantées au mois de novembre.	46
Figure 37 : : Évolution de la pression de rouille brune sur la variété Tobak dans les parcelles témoins sans traitement fongique semées en novembre en fonction des étages foliaires.	46
Figure 38: Comparaison de l'occurrence et de la sévérité des symptômes de rouille brune observés en F2 et F1 entre le 20 avril et le 31 mai 2017) sur la variété Tobak dans les parcelles témoins implantées au mois de novembre.	47
Figure 39 : Évolution de la pression de rouille brune dans les parcelles témoins sans traitement fongique semées en décembre sur les 6 variétés durant les 12 semaines de suivis.	47
Figure 40 : Évolution de la pression de rouille brune sur la variété Kws-Smart dans les parcelles témoins sans traitement fongique semées en décembre en fonction des étages foliaires.	48
Figure 41: Comparaison de l'occurrence et de la sévérité des symptômes de rouille brune observés en F2 et F1 entre le 20 avril et le 31 mai 2017) sur la variété Kws-Smart dans les parcelles témoins implantées au mois de décembre.	49
Figure 42: Dynamique de la rouille brune sur les parcelles témoins de la variété Bergamo semées en décembre en fonction des étages foliaires.	49
Figure 43: Comparaison des occurrences de cotations obtenues en F2 et en F1 dans les parcelles témoins de la variété Bergamo semées en décembre.	50

Figure 44 : Dynamique de la rouille brune sur les parcelles témoins de la variété Tobak semées en décembre en fonction des étages foliaires	50
Figure 45: Comparaison des occurrences de cotations obtenues en F2 et en F1 dans les parcelles témoins de la variété Tobak semées en décembre.....	51
Figure 46 : évolution de la pression de rouille brune en fonction des variétés dans les parcelles « traitement unique » semées en octobre.....	52
Figure 47 : évolution de la pression de rouille brune en fonction des variétés dans les parcelles « traitement unique » semées en octobre.....	53
Figure 48 : Dynamique de la rouille brune sur les parcelles à traitement unique de la variété Tobak semées en octobre en fonction des étages foliaires.....	53

Liste des tableaux

Tableau 1 : Suivi des précipitations du mois d'octobre 2016 à juin 2017 à la station météorologique d'Ernage.....	17
Tableau 2 : Suivi des températures du mois d'octobre 2016 à juin 2017 à la station météorologique d'Ernage.....	17
Tableau 3 : Comportement des variétés face aux maladies (réalisé à partir des données fournies par la plateforme internet du Livre Blanc Céréales, (Bodson & Watillon,2017)	19
Tableau 4 : Produits fongiques et dates d'application en fonction de la modalité de traitement et de la date de semis.....	20
Tableau 5 : Stade des variétés (Zadok) en fonction de la date, des sommes de températures (station d'Ernage et de Lonzée) et des variétés. Observations réalisées sur les parcelles implantées au mois d'octobre. Tobak (T), Kws-Smart (K-S), Henrik (H), Edgar (E), Benchmark (BK) et Bergamo (B).....	23
Tableau 6 : Stade des variétés (Zadok) en fonction de la date, des sommes de températures (station d'Ernage et de Lonzée). Observations réalisées sur les parcelles implantées au mois de novembre. Tobak (T), Kws-Smart (K-S), Henrik (H), Edgar (E), Benchmark (BK) et Bergamo (B).	24
Tableau 7 : Stade des variétés (Zadok) en fonction de la date, des sommes de températures (station d'Ernage et de Lonzée). Observations réalisées sur les parcelles implantées au mois de décembre. Tobak (T), Kws-Smart (K-S), Henrik (H), Edgar (E), Benchmark (BK) et Bergamo (B).	24
Tableau 8 : Paramètres météorologiques fournis par la station de Lonzée du 01/05/2017 au 14/05/2017 (T° moyenne (C°) = température moyenne, HR moyenne (%) = humidité relative moyenne, P112 total = précipitations totales fournies par le capteur P112, P111 total = précipitations totales fournies par le capteur P111.	26
Tableau 9 : Pression moyenne de rouille jaune au terme des 12 semaines (%).....	32
Tableau 10 : Réponse aux modalités de traitement en fonction des variétés et de la date de semis .	54

1. Introduction

En Wallonie, les maladies les plus préoccupantes sont généralement : la septoriose (*Zymoseptoria tritici*), la rouille jaune (*Puccinia striiformis*) et la rouille brune (*Puccinia triticina*).

La maladie endémique par excellence est la septoriose, elle est considérée comme étant la plus problématique (Bodson & Watillon, 2017), elle peut causer jusqu'à 40 % de pertes de rendements (David Morais., 2015).

La rouille jaune fait partie des maladies cryptogamiques également courantes dans nos régions et dont la présence est détectée à travers le monde. Les variétés sensibles peuvent voir leur rendement réduit de 70% les années où la pression est élevée (Bodson & Watillon, 2017). La rouille brune est une autre maladie du froment qui est très largement répandue. Sous nos latitudes, elle peut engendrer jusqu'à 30% de pertes (Bodson & Watillon, 2017).

De manière générale, l'oïdium (*Blumeria graminis*) n'est en revanche pas problématique en Wallonie. C'est une maladie considérée comme « rare » et n'ayant d'impact que lorsque les dernières feuilles sont atteintes (Bodson & Watillon, 2017).

Bien que la présence de fusarioses (*Microdochium/Fusarium*) ne soit pas observée chaque année et que les pertes qu'elles engendrent sont généralement considérées comme faibles, elles sont susceptibles de provoquer des pertes importantes dans les situations à risques. De plus, cette infection présente un risque pour la sécurité sanitaire des aliments à base de blés.

Les impacts liés à ces attaques fongiques peuvent donc être conséquentes, tant pour la sécurité alimentaire que sanitaire. Leur contrôle est donc un des leviers que l'agriculteur peut actionner pour s'assurer une bonne récolte.

Ce contrôle peut passer par l'application de produits fongicides agréés. Néanmoins, en plus du coût supplémentaire que leur utilisation engendre, des problèmes de résistances apparaissent régulièrement, limitant les produits disponibles. De plus, dans le contexte actuel l'agriculteur doit veiller, d'une part, à rester économiquement rentable et, d'autres part, répondre aux exigences posées par la directive 2009/128/CE du parlement européen et du conseil du 21 octobre 2009 instaurant un cadre d'action communautaire pour parvenir à une utilisation des pesticides compatible avec le développement durable.

Le défi actuel pour l'agriculteur ne se limite donc plus à produire de manière à assurer une sécurité alimentaire et sanitaire tout en étant économiquement rentable. Le producteur d'aujourd'hui doit également répondre aux exigences sociétales et environnementales posées par le consommateur et le législateur.

Dans cette même optique de gestion intégrée, le producteur peut se tourner vers certaines mesures prophylactiques pour réduire la pression de ces maladies. Ce sont par exemple le choix de variétés résistantes, d'une date de semis appropriée, ... C'est dans ce contexte que le présent travail s'inscrit.

L'objectif du travail est le suivi de la dynamique de développement des maladies fongiques sur des cultures de froment d'hiver au cours de la saison culturale 2016-2017. Cette dynamique a été observée sur 6 variétés, semées à 3 dates de semis et recevant dans chaque cas des modalités de protection fongicide contrastées. La sensibilité différente des variétés couplée aux variations de l'impact des conditions climatiques de l'année, engendrées par le décalage des dates de semis et donc du développement des cultures, permettent de modifier les dynamiques de développement.

2. Synthèse bibliographique :

2.1. Le froment d'hiver, situation :

Le blé est une culture largement distribuée à travers le monde. En termes de production céréalière, elle occupe, après le maïs (968.81 millions de tonnes), la seconde position (736.98 millions de tonnes) (USDA, 2017). Pour la saison 2015-2016, la production mondiale de blé a été évaluée à 736.98 millions de tonnes par l'USDA et à 735,60 millions de tonnes par la FAO tandis que la consommation totale aurait atteint 714.8 millions de tonnes (FAO, 2017).

Avec ses 160.48 millions de tonnes (saison 2015-2016), l'Europe fût le plus grand producteur de blé, suivi de la Chine (130.19 millions de tonnes) et de l'Inde (86.53 millions de tonnes) (USDA, 2017 ; Statista, 2017). Les plus gros producteurs européens sont : la France, l'Allemagne et la Pologne. L'hexagone a d'ailleurs souvent détenu le titre de « grenier à blé de l'Europe » durant ces dernières années.

La Belgique, n'a pas à rougir de ses rendements face à ses grandes-sœurs. En 2014, 193.668 ha étaient consacrés à la culture de froment d'hiver avec un rendement de 92.6 qx/ha. Plus précisément, 62 473 ha en Région flamande (91.8 qx/ha), 608 ha en Région Bruxelles-Capitale (91.5 qx/ha) et 130 587 ha en Région Wallonne (93.0 qx/ha). (Statbel, 2014 ; Statistics Belgium, 2015).

Si on compare avec les années précédentes, les surfaces et rendements sont relativement stables. En effet, entre 2007 et 2010, ce ne sont pas moins de 60 % des terres arables wallonnes qui étaient déjà consacrées aux céréales (maïs fourrager compris), le froment étant la plus cultivée d'entre elles. Celle-ci occupait en effet 36% des emblavements, le froment de printemps ne représentant qu'un seul pourcent de cette surface tandis que le froment d'hiver occupait 131 671 ha avec un rendement en grain de 74 qx MS/ha. (Delcour A., 2014)

Le froment d'hiver est essentiellement employé à des fins alimentaires et majoritairement humaines. Cependant, la tendance wallonne diffère de cette tendance mondiale, le blé wallon approvisionnant le secteur de l'alimentation animale en lui fournissant 50 % de ses besoins en céréales (qui représentent eux-mêmes 45% des produits transformés). L'alimentation humaine (meunerie) est donc un débouché secondaire du froment belge, elle représente moins de 10 % de sa finalité, la meunerie belge se fournissant essentiellement à l'étranger. Avec l'emploi de près d'un tiers de blé fourrager wallon, les industries du bioéthanol apparaissent comme étant un autre marché important. (Delcour A., 2014)

Au vu de ces chiffres et des différents secteurs d'utilisation, on mesure mieux l'importance de cette culture tant au niveau mondial que local et par conséquent l'importance d'en assurer une bonne production. Chacune de ces finalités possède des exigences spécifiques auxquelles la sélection tente de répondre en fournissant des variétés de caractéristiques qualitatives élevées. Avec l'importance qu'occupe la qualité dans le choix variétal des agriculteurs, celui-ci résulte autant de la prise en compte de paramètres tels que le rendement à l'hectare et par épis que de critères comme le taux de protéines ou l'indice de Zélény mis en avant par les semenciers.

Cependant, des années culturales telles que 2016 rappellent que les incertitudes liées aux conditions climatiques peuvent avoir des conséquences importantes sur la production du froment et la qualité tant technologique que sanitaire. En effet, les conditions ont été tellement défavorables pour la France et l'Allemagne que leurs rendements ont subis une chute d'environ 30% par rapport à 2015.

Avec des rendements respectifs de 28 millions et 24,5 millions de tonnes, ces deux puissances céréalières se sont vues détrônées par la Roumanie, devenue ainsi le premier exportateur européen de blé (Planetoscope, 2017 ; Marc Delos, 2016). La Belgique n'a pas non plus été épargnée par cette crise, la récolte de cette année-là a d'ailleurs été considérée comme la pire de ces trente dernières années.

En plus des pertes économiques qu'elle engendre, ce genre de situation menacent la sécurité alimentaire et humaine. Il n'est en effet pas nécessaire de rappeler les conséquences de la crise alimentaire mondiale de 2007-2008 sur l'équilibre géopolitique. Une meilleure maîtrise de l'insécurité dû à la climato-dépendance semble donc indispensable.

Bien que tous les facteurs ne soient pas maîtrisables (ex : manque de rayonnement solaire) il est possible de limiter l'impact de certains facteurs négatifs telles que la pression des maladies fongiques. Ces dernières peuvent en effet amener des pertes non négligeables.

2.2. Les pathogènes d'intérêt agricole du genre *Puccinia*, les rouilles

Il existe plusieurs types de rouilles mais dans nos régions on en retrouve deux sur le froment : la rouille jaune (*Puccinia striiformis*) et la rouille brune (*Puccinia recondita*). Une attention particulière sera donc portée à ces dernières.

Ces pathogènes appartiennent au phylum des basidiomycota, à la classe des Pucciniomycetes anciennement nommé Urédinomycètes ou encore Teliomycetes, et à l'ordre des Pucciniales, anciennement nommé les urédinales. Ce dernier comprend plusieurs familles dont la principale est la famille des *Pucciniacees*. Celle-ci regroupe de nombreux genres dont celui des *Puccinia*. (EPPO, 2016 ; Nasraoui, 2006)

Plus précisément, on distingue les rouilles à cycle **autoïque** (également repris sous les termes **autoécique, autoxène** ou encore **monoïque**), des rouilles à cycle **hétéroïque** (**hétéroéciques** ou encore **hétéroxène**). Les premières ont un cycle biologique se réalisant sur une seule plante hôte alors que les **dioïques**/ ont un cycle qui nécessitent plusieurs hôtes pour être complet. (Watillon & Bodson, 2017 ; Lepoivre, 2003)

Ces maladies du feuillage se caractérisent notamment par l'absence de potentiel saprophytique et leur spécificité à un genre ou une espèce botanique (Watillon & Bodson, 2017 ; Chen, 2005).

2.2.1. La rouille jaune :

A. Classification :

L'agent causal de la rouille jaune en céréale est l'espèce *Puccinia striiformis* Westend. On distingue en tout neuf sous espèces, chacune ayant un hôte céréales spécifique. Le froment d'hiver étant l'hôte de *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* Erikss (*Pst*). (Watillon & Bodson, 2017 ; Chen, 2014).

Ce pathogène est retrouvé sous différentes appellations : *Uredo glumarum*, (Schmidt 1827), *Puccinia striaeformis* (Westendorp 1854), *Puccinia straminis* (Fuckel 1860), *Puccinia glumarum* (Eriksson and Henning 1894) (Chen, 2005). La rouille jaune est en outre retrouvée dans la littérature anglophone sous la dénomination de « stripe rust » en raison de l'alignement caractéristique de ses fructifications.

Auparavant classé dans les champignons monoïques (Lepoivre, 2003), elle est désormais considérée comme appartenant aux rouilles hétéroïques, cette spécificité sera détaillée plus amplement dans le point D de cette section.

B. Les races de (*Pst*) et cultivar de froment d'hiver :

En consultant les catalogues variétaux belges on s'aperçoit qu'un certain nombre de cultivar de froment d'hiver présentant une résistance à la rouille jaune sont disponibles sur le marché belge.

Par ailleurs, il existe plusieurs types de résistances et les gènes qui en sont à l'origine peuvent se catégoriser de la manière suivante : **(1)** les gènes qui s'expriment dès le stade plantule et ce durant toute la croissance de la plante, ce sont les **gènes majeurs**, ils sont à l'origine de la **résistance spécifique***, ils offrent à la plante une protection totale, **(2)** « les gènes de résistances adultes » ou « **gènes mineurs** » qui ne s'activent qu'à partir d'un stade de développement spécifique (à partir de la montaison) eux donnent lieu à une **résistance générale***, ils fournissent une protection partielle (Cheyron P., 2016 ; Bataille et al., 2015 ; Aliaga C., 2014)

Cependant, les variétés de froment d'hiver présentant des gènes résistance (R) spécifiques à la rouille jaune sont plus susceptibles d'être contournés (Cheyron, 2016). Un code Yr (Yellow Rset) ainsi qu'un numéro leur sont attribués (Jacquemin et al., 2016). À titre informatif, septante gènes candidats ont été validés et désignés comme Yr (Aliaga C., 2014).

Tandis que les résistances générales sont bien souvent quantitatives et non spécifiques, elles sont considérées comme étant « plus durables ». (Cheyron P., 2016 ; Aliaga C., 2014).

En parallèle, il existe un large éventail de races physiologiques de ce pathogène. Celles-ci contournent les mécanismes de résistances mis en place par les végétaux, créant ainsi de nouvelles races avec le gène d'« avirulence » (Avr) correspondant (Bataille et al., 2015 ; Mascher et al., 2010).

Les virulences* de *Puccinia Striiformis* sont définies « comme la capacité à surmonter les facteurs de résistance de la plante » (Jacquemin et al., 2016). Celles-ci sont identifiées par le numéro du gène de résistance qu'elles ont réussi à contourner (Jacquemin et al., 2016). En d'autres termes, plus une race entrainera de défaillances de résistance chez ses hôtes, plus elle sera considérée comme virulente (Watillon & Bodson, 2017).

Le nom d'une souche de rouille jaune correspond à celui du cultivar dont elle a annihilé la résistance (Jacquemin et al., 2016). À titre d'exemple, « Solstice/Oakley » est la souche qui a rendu sensible la variété « Oakley », variété de froment considéré comme résistante jusqu'en 2011 où elle a développé pour la première fois des symptômes de rouille jaune (Bataille et al., 2015).

C. Historique et état des lieux :

Si au cours des trois dernières décennies le secteur céréalière a été secoué par plusieurs épidémies de rouille jaune (Jacquemin et al., 2016), il semble cependant que depuis 2012, les attaques soient plus fréquentes et surtout géographiquement plus étendues (Cheyron, 2016). L'explication réside sûrement dans la simultanéité des facteurs climatiques favorables (hiver peu rigoureux) et l'apparition de nouvelles races (contournement de résistance) (Jacquemin et al., 2016 ; Cheyron, 2016).

Avant 2010 étaient présentes en Belgique, les souches européennes suivantes : Brigadier (1998), Lynx (2002), Robigus (2007), Solstice/Oakley (2009) et Tulsa (Jacquemin et al., 2016 ; Bataille et al., 2015).

En 2014, la race dominante en Europe fût « Warrior/Ambition » (Bataille et al., 2015), également nommée Warrior 1 (Jacquemin et al., 2016). Cette souche provenant des régions himalayennes, est arrivée en Europe en 2011 (Bataille et al., 2017 ; Watillon & Bodson, 2017) et est actuellement omniprésente en Wallonie comme en atteste l'épidémie de 2014 (Bataille et al., 2017).

Warrior dispose d'une diversité génétique importante qui a donné lieu à plusieurs variantes dont Warrior 3 (également nommé Warrior (-) en raison de son spectre de virulence plus restreint). (Bataille et al., 2017 ; Jacquemin et al., 2016). Cette dernière serait présente depuis 2015 et semble être la race dominante en 2016 (Bataille et al., 2017).

C'est une race particulièrement agressive. Elle déjoue en effet les gènes de résistance dès le stade plantule et semble disposer d'une capacité de multiplication plus importante (cycle de développement plus court) que les anciennes races qu'elle a supplantées (Bataille et al., 2015). De plus, ses exigences thermiques et sa sensibilité aux UV semblent moindres, elle est largement distribuée à travers le globe (Aussi bien en Espagne qu'en Suède) (Bataille et al., 2015 ; Grare, 2014).

En raison de sa capacité de dispersion élevée, elle est largement répandue à travers le monde, notamment en Belgique. Mais ce sont les régions littorales qui sont les plus touchées, tant en termes de présence que de virulence (Watillon & Bodson, 2017).

D. Les hôtes :

Puccinia striiformis f. sp. tritici Erikss (Pst) a notamment pour hôte primaires le blé tendre (*Triticum aestivum* L.) et le blé dur (*T.turgidum* var. *durum* L.). (Watillon & Bodson, 2017 ; Chen et al., 2014).

Cependant, *P. striiformis* disposent de nombreux autres hôtes teleutosporien telle que le triticales (Triticosecale), sur seigle (*Secale cereale* L.) et certains orges cultivés (*Hordeum vulgare* L.) mais n'induit généralement pas de pertes importantes. En outre, cette maladie se retrouve sur les espèces d'herbes de pâturages améliorés. (Chen et al,2014)

Auparavant ses hôtes secondaires n'avaient pas été identifié, c'est pourquoi la littérature plus ancienne considère *P. striiformis* comme une rouille monoïque (Lepoivre, 2003 ; Bovey,1967).

Actuellement, on lui attribue les hôtes alternatifs pycnidien/aecial suivants : l'épine-vinette (*Berberis chinensis*, *B. koreana*, *B. holstii*, *B. vulgaris*, *B. shensiana*, *B. potaninii*, *B. dolichobotrys*, *B. heteropoda*) (Chen et al., 2014 ; Yue Jin, 2011) et Le Mahonia faux houx ou Mahonia à feuilles de houx (*Mahonia aquifolium*) (Chen et al., 2014). Cependant, en Europe son cycle sexué n'a pas encore été observé, en raison de la phénologie et la prévalence des hôtes principaux et secondaire qui ne sont pas coordonnés (Watillon & Bodson, 2017).

E. Les symptômes :

En condition optimale de température, les symptômes sont observables sur le matériel végétal 1 semaine après l'infection tandis que la sporulation débute 2 semaines après (Chen, 2005). Plus précisément, les chloroses sont visibles 6 à 8 jours après l'infection tandis que la sporulation l'est environ 12 à 14 jours après (Chen et al.,2014).

La rouille jaune gagne les différents étages foliaires de la plante et dans les cas les plus sévères, les épis et les grains (Watillon & Bodson, 2017 ; Soltner, 2012).

Au stade plantule :

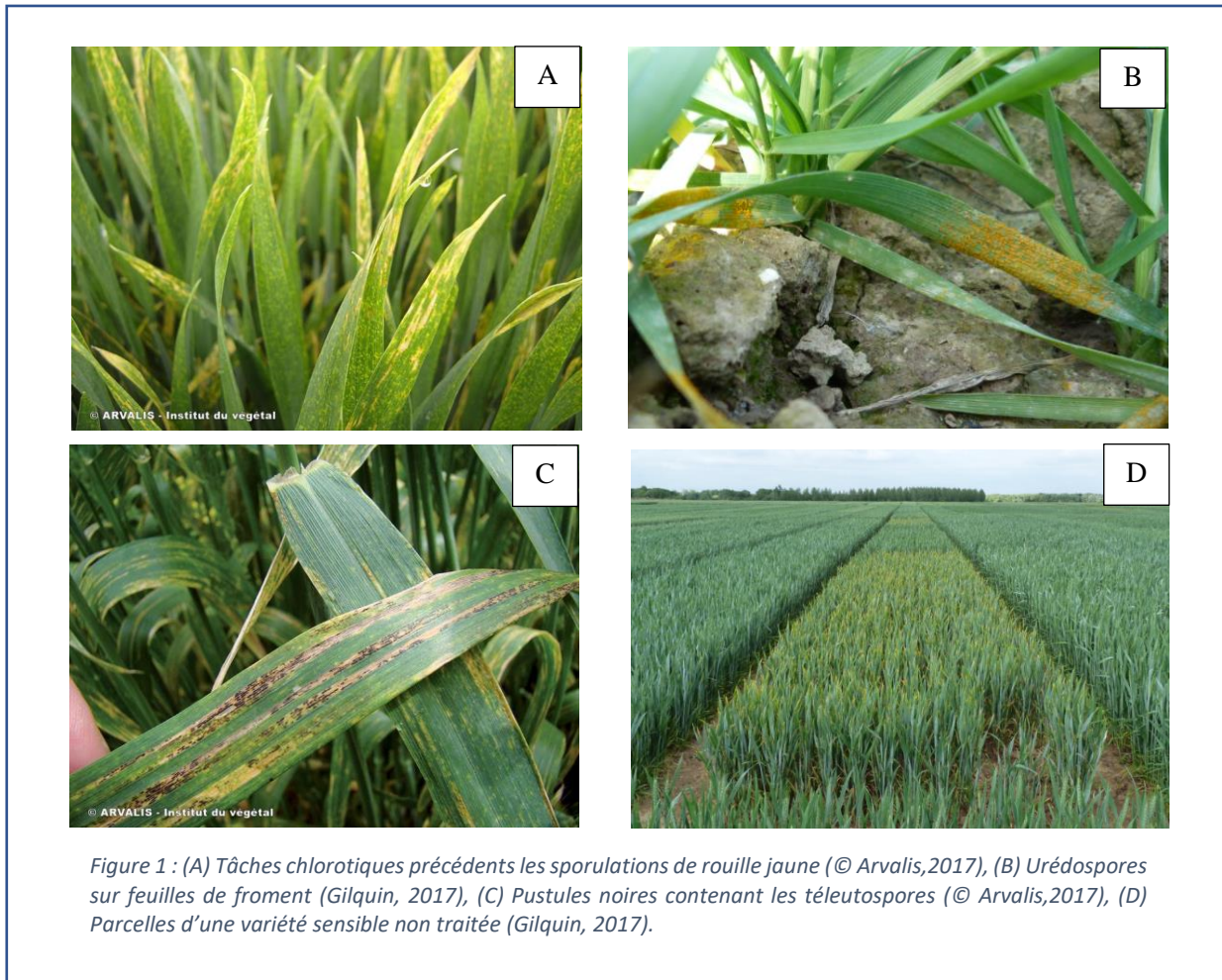
Bien que la maladie s'observe plus souvent à partir du stade montaison, il est possible de relever ponctuellement la présence de pustules (les urédospores) isolées de couleur jaune-orange sur certaines plantules (Watillon & Bodson, 2017 ; Chen, 2005 ; Maurin, 1999).

Du début de la montaison à la fin du gonflement :

En générale ce sont sur les feuilles du bas que sont localisées les premières pustules, ces premières attaques sont attribuées à l'inoculum de la parcelle (Watillon & Bodson, 2017 ; Perspectives agricoles, 2013). Quand les plants sont infectés mais que les pustules sont encore en « incubation », les feuilles peuvent présentées des taches chlorotiques allongées dans le sens des nervures (figure 1A) (Perspectives agricoles, 2013).

On relève la présence de petites pustules jaunes (entre 0.3-1 mm), parfois orangées (les urédospores) sur les feuilles et gaines. Ces fructifications sont alignées entre les nervures formant ainsi de longues stries étroites et parallèles (figure 1B). (Watillon & Bodson, 2017 ; Perspectives agricoles, 2013). Ces pustules peuvent devenir noires (téleutospores), signe que la phase de reproduction sexuées est initiée (figure 1C). (Watillon & Bodson, 2017 ; Maurin, 1999).

En champ, l'infection se remarque de loin par la présence de tâches jaunes nettement délimitées, d'environ 1m². Dans un premier temps, la contamination débute à l'intérieure de la parcelle et quand les conditions climatiques sont réunies, l'infection gagne l'entièreté de la parcelle (figure 1D). (Watillon & Bodson, 2017 ; Perspectives agricoles, 2013).



De l'épiaison à la récolte : les tiges, les feuilles et les gaines présentent des pustules. Plus rarement, les épis peuvent être touchés, des spores sur le grain et la face intérieure des glumelles sont alors observables. Dans certains cas les épillets présentent une décoloration (Arvalis, 2017).

F. Cycle et conditions de développement de *Puccinia triticina* :

La partie sexuée du cycle n'étant pas observée jusqu'à présent sous nos latitudes, la description du cycle se limitera à la partie asexuée de *Puccinia striiformis*.

En automne, le vent transporte les urediniospores des repousses infectées vers les plantes de semis précoces (Bataille et al., 2015). La dissémination par cette voie, se fait d'ailleurs sur de grandes distances, jusqu'à plusieurs centaines (Bataille et al., 2015), voire des milliers de kilomètres (Chen et al., 2014 ; Chen, 2005).

Durant l'hiver, *Puccinia striiformis* hivernent sur les cultures de céréales sous forme de mycélium. En effet, si le froid provoque l'arrêt du développement de la maladie, il ne provoque, en général, pas la destruction de l'inoculum (Watillon & Bodson, 2017). La littérature précise que des températures en dessous de -10°C ne serait pas fatale mais induirait une interruption de la croissance du mycélium (Watillon & Bodson, 2017 ; Chen, 2005). La survie des uredosporos serait également assurée jusqu'à des températures de -4°C (en dessous, l'inoculum s'en trouve réduit) (Watillon & Bodson, 2017) et leur germination peut encore se réaliser à 0°C (Chen et al., 2014). Les températures hivernales seraient donc le facteur le plus impactant en ce qui concerne la survie du pathogène (Watillon & Bodson, 2017).

Le pathogène ne survit en revanche que sur les feuilles vertes, le champignon étant dépourvu de potentiel saprophytique, il ne se développe et ne se conserve que sur des tissus végétaux vivants (Bataille et al., 2015 ; CRAGx, 1990). Les hivers doux et humides sont donc favorables au développement et au maintien de l'inoculum comme en atteste l'année 2014 (Bataille et al., 2015).

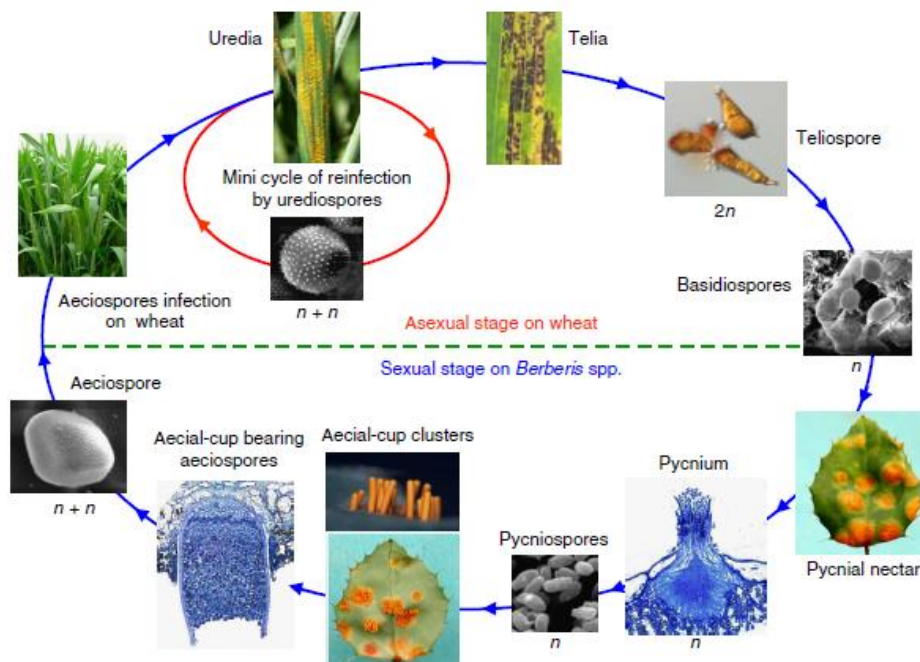


Figure 2 : cycles de reproduction sexuée et asexuée de *Puccinia striiformis*. Source : W. Zheng et al. 2013. High genome heterozygosity and endemic genetic recombination in the stripe rust fungus. Nature communications. DOI: 10.1038/ncomms3673.

Au printemps, les spores se développent sur les nouvelles feuilles et l'infection s'étend en foyers (Bataille et al., 2015). Étant biotrophe obligatoire, les premières contaminations sont donc liées à l'inoculum de la parcelle, les infestations se faisant essentiellement à l'intérieur du champ et peu depuis l'extérieur (Bataille et al., 2015 ; Perspectives agricoles, 2013 ; Arvalis, 2017).

Ensuite, les uridiniospores peuvent être libérées sous l'impact des gouttes de pluies (Chen, 2005) et dispersés via le trafic aérien et le vent (Bataille et al., 2015 ; Chen et al.,2014).

Le vent joue un rôle crucial dans la dispersion de la maladie (Watillon & Bodson, 2017). La précocité et le taux de développement d'épidémies de rouille jaune seraient d'ailleurs liés au moment auquel surviennent les vents, à leur type et direction (Watillon & Bodson, 2017 ; Chen, 2005). S'il n'est généralement pas un facteur limitant pour la dispersion des spores au niveau local, surtout dans les régions avec un inoculum local, il peut l'être sur de longues distances (Chen, 2005). En plus de la dispersion de l'inoculum, le vent augmente la viabilité des spores. En revanche, en les séchant, il réduit l'infection et leur germination en champ (Chen, 2005).

Puccinia striiformis Westend. se développe préférentiellement sous climat froid et humide, à des températures relativement basses (Chen et al.,2014 ; Chen, 2005), raison pour laquelle elle est principalement présente dans les régions tempérées et les zones de hautes altitudes des régions tropicales (Chen, 2005). La température joue donc un rôle clé dans les épidémies de rouille jaune, elle impacte à la fois l'infection de la plante, la germination et la survie des spores, la période de latence, la sporulation et la résistance de l'hôte (Chen, 2005).

Plus précisément, la **germination** des uridiniospores se réalise à une température optimale de 7 à 12°C (Chen et al.,2014) en présence d'eaux libre à la surface des feuilles (pluie ou rosée) pendant au moins 3 heures (Watillon & Bodson, 2017 ; Chen et al.,2014 ; Chen, 2005). La germination est encore possible à la température minimale de 0°C et en deçà de 20 à 26°C, au-delà des téleutosores sont produits (Chen et al.,2014).

Cependant, selon les sources, les conditions optimales varient légèrement. Dans l'édition février 2015 du Livre Blanc Céréales, il était fait mention d'un optimum de température de 10 à 16°C pour l'**infection** avec un minimum de 7°C pour la **germination** ainsi qu'une réduction du développement à partir de températures supérieures à 20°C avec un arrêt total à 25°C (Bataille et al., 2015 ; Soltner, 2012).

La température optimale en **période de latence**, c'est-à-dire le temps s'écoulant entre le moment de l'infection et le début de la sporulation, est de 13 à 16°C (Chen et al.,2014). L'humidité relative doit quant à elle, être supérieure à 50% pour que la sporulation survienne (Chen et al.,2014). La production d'urédospores augmente d'ailleurs de manière exponentielle avec ce facteur climatique (Chen et al.,2014). Dans ces conditions, la production de spores débute 12-14 jours après l'infection (Chen et al.,2014).

Les souches étant nombreuses et évoluant très vite, il n'est pas toujours aisé de fixer des conditions optimales mais la tendance actuelle sont des races de rouilles jaunes avec des exigences thermiques moindres comme le rapporte le livre blanc de février 2015 et comme le révèle les essais menés en 2004 par Milus et Seyran (Chen, 2005).

S'il est vrai qu'une humidité élevée est favorable à la germination des spores de *P. striiformis* et augmente la fréquence d'infection, sur une longue durée et à des seuils élevés, elle peut l'impacter négativement. Elle diminue en effet la vitalité des spores et leur dispersion. (Bataille et al., 2015 ; Chen X.M., 2005)

En effet, avec l'humidité, les urédiniospores s'agglomèrent en grappe, augmentant ainsi leur l'adhésion aux feuilles (Chen et al.,2014 ; Chen , 2005).

Cependant certaines sources affirment que la configuration en amas offre aux spores une protection contre les ultraviolets, auxquels elles sont sensibles. Pour cette raison, les printemps frais, humides et couverts sont donc propices aux épidémies de rouilles jaune. (Chen et al., 2014 ; Maufra, 2014)

À contrario, si un temps sec limite la germination des spores, celui-ci augmente leur survie et leur transport (Bataille et al., 2015 ; Chen, 2005).

Dans ce dernier cas, les spores pourront infecter les cultures suivantes et être dispersées sur de longues distances (Chen X.M., 2005). Il semble aussi que les périodes de dessiccations fassent avorter de manière irréversible la germination des urédiospores.

L'intensité lumineuse influence entre autres l'interaction pathogène-hôte et tout comme la pollution de l'air, réduit la germination des urédiospores (Chen et al., 2014). En comparaison avec les autres rouilles, la rouille jaune montre d'ailleurs une sensibilité plus élevée à la pollution de l'air (Chen et al., 2014).

En été, le champignon régresse rapidement après la floraison (CRAGx, 1990) et se conserve sur les repousses de céréales sous formes d'urédiospores, forme de dissémination et d'hivernation, qui serviront de réservoir (Watillon & Bodson, 2017)

G. Facteurs et leviers agronomiques :

Les conditions climatiques sont bien évidemment déterminantes puisqu'elles conditionnent son développement. Comme vu précédemment, l'humidité, la température et le vent semblent être les trois plus importants facteurs climatiques qui influencent les épidémies de rouille jaune (Chen, 2005). D'autres sources considèrent plutôt la température, l'humidité, la luminosité, l'intensité lumineuse et la pollution de l'air comme les facteurs les plus impactant (Chen et al., 2014).

Cependant, ce ne sont pas des leviers sur lesquels l'agriculteur peut jouer pour lutter contre la rouille jaune. En revanche, la connaissance de ces paramètres permet une meilleure évaluation de la pression de la maladie.

Malgré le contournement variétal qui peut être rapide, l'utilisation de variétés résistantes reste un facteur majeur dans la lutte contre la rouille jaune (Bataille et al., 2015 ; Perspectives agricoles, 2013).

La fertilisation azotée est un autre paramètre sur lequel il est possible de jouer. En effet, en créant un couvert végétal dense et humide, un apport important d'azote est favorable au développement de la maladie. C'est pourquoi il est conseillé de fractionner cet apport (Arvalis, 2017).

La date de semis impacterait également la pression de la maladie, un semis précoce augmenterait la probabilité d'infection automnale (Bataille et al., 2015). Cependant, des essais réalisés en 2014 à Lonzée par Gembloux Agro Biotech sur l'effet des dates de semis ont montré que les semis précoces (octobre) présentaient moins de rouille jaune que les parcelles semées en novembre et en décembre. Ceci s'explique par les stades des plantes et les résistances qui ne se mettent place qu'à partir du stade redressement (30). (Bataille et al., 2015)

La rotation et la destruction en interculture des repousses de céréales sont d'autres pratiques culturales nécessaires à la lutte contre la rouille jaune, particulièrement lorsque des antécédents d'infections ont pu être relevés (Bataille et al., 2015). En effet, ce pathogène étant biotrophe obligatoire, il se conserve sur les repousses et adventices poacées (Bataille et al., 2015 ; Chen, 2005).

La lutte chimique contre la rouille jaune passe par l'usage de triazoles, associé aux strobilurine, leur rémanence et efficacité s'en voient augmenté. Afin de profiter de leur action contre la septoriose, les produits à base de SDHI (Succinate Dehydrogenase Inhibiting) seront plutôt réservés au stade 39 BBCH.

L'emploi de produits fongicides ne peut s'envisager qu'à partir du stade épi 1cm (31 BBCH) et ce seulement pour les variétés très sensibles présentant une pression importante de rouille jaune, c'est-à-dire lorsque les plantes présentent presque toutes des sporulations sur leurs feuilles.

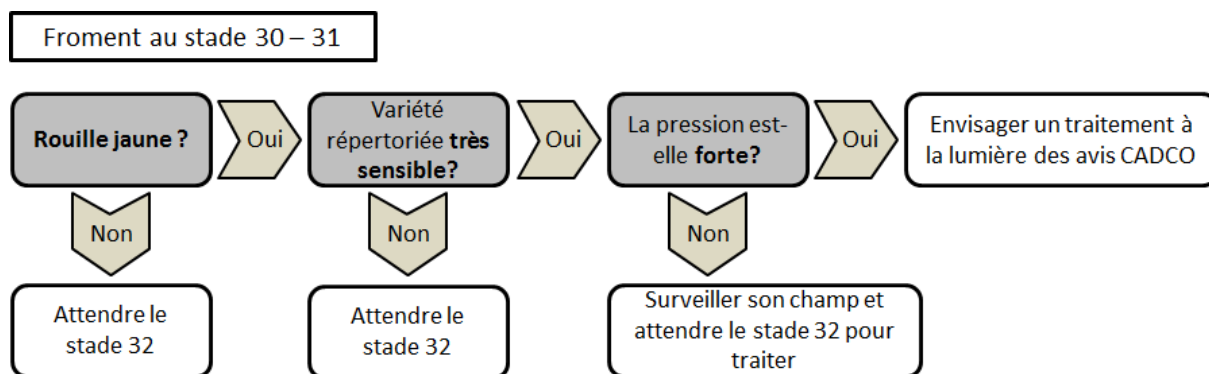


Figure 3 : Diagramme décisionnels en rouille jaune (stade 30-31 BBCH) (Watillon & Bodson, 2017)

Pour les variétés ne manifestant pas de comportement sensible à la maladie, le traitement fongique ne se réaliser qu'à partir du stade 2^{ème} nœud (32 BBCH). Le premier traitement relai pour les variétés sensible sera également appliqué à ce stade tandis que les suivants seront effectués toutes les deux à trois semaines et ce jusqu'à ce que la dernière feuille soit sortie. (Watillon & Bodson, 2017)

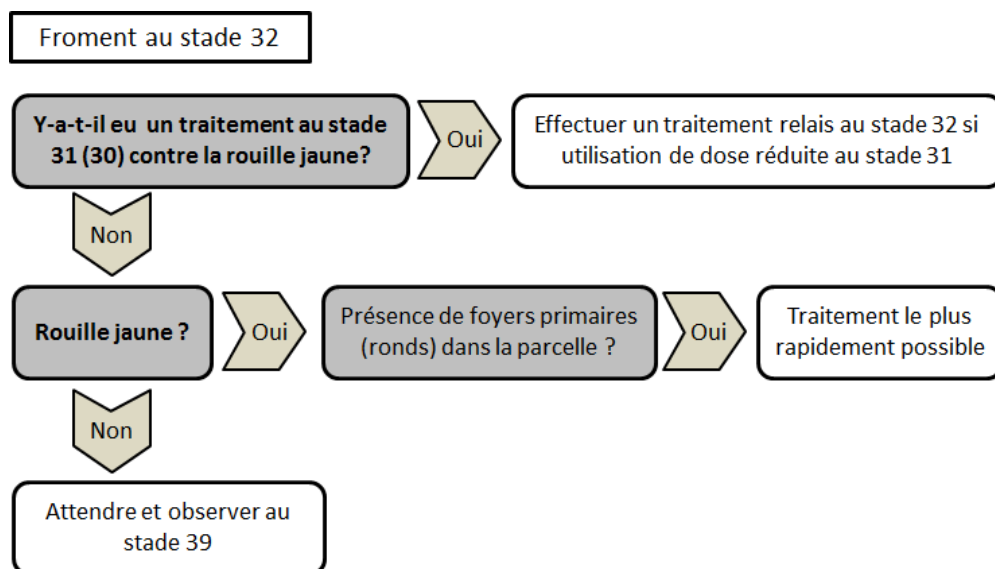


Figure 4 : Diagramme décisionnels en rouille jaune (stade 32 BBCH) (Watillon & Bodson, 2017)

2.2.2. La rouille brune :

A. Classification :

L'agent pathogène de la rouille brune, *Puccinia triticina* Eriks., appartient à la même famille (pucciniaceae) et au même genre (*Puccinia*) que *Puccinia striiformis* (EPPO, 2015). Accomplissant son cycle sur deux hôtes, elle appartient aux rouilles hétéroïques (Watillon & Bodson, 2017).

Anciennement, elle était également parfois retrouvée sous le vocable de « rouille dispersée » en raison de la dispersion de ses fructifications brunes sur le limbe foliaire. Jusqu'il y a peu, le pathogène était identifié sous le nom *Puccinia recondita* f *sp tritici*, (Bataille et al., 2015 ; Maurin, 1999 ; Benizri & Progetti, 1992), (Cragg, 1990).

Dans la littérature anglophone elle est désigné par le terme de « leaf rust ».

B. Historique et état des lieux :

Cette rouille est la plus commune de toutes, elle est plus fréquemment présente et dans davantage de pays que la rouille jaune ou la rouille noire (Watillon & Bodson, 2017).

Si les dégâts qu'elle provoque sont moins importants que la rouille jaune, les pertes n'en restent néanmoins pas moins significatives (BOLTON M. D. et al, 2008). En Europe, elle peut en effet entraîner une chute de rendement de 30% (Watillon & Bodson, 2017).

De plus, une intensification de la rouille brune est observée ces dernières années en raison des températures hivernales qui sont plus favorables à ces cycles épidémiques (CAUBEL, 2012).

C. Les hôtes :

Puccinia triticina a besoin d'hôtes primaires, principalement le blé tendre (*Triticum aestivum* L.) et le blé dur (*T.turgidum* var. *durum* L.) ainsi que des hôtes alternatifs, tel que le pigamon (*Thalictrum speciosissimum* L.), d'ailleurs présent dans le Sud de l'Europe, pour réaliser son cycle complet (BOLTON et al, 2008).

D'autres hôtes pycnidiens existent tel que l'isopyre faux pigamon (*Isopyrum fumaroides* L.), mais l'état sexué n'y est observé qu'en Sibérie (Watillon & Bodson, 2017 ; BOLTON et al, 2008). Ces hôtes alternatifs sont rarement présents pour compléter le cycle du pathogène (BOLTON et al, 2008).

Sur le territoire belge ils ne le sont d'ailleurs que de manière très ponctuel (plantes ornementales) (Watillon & Bodson, 2017 ; Duvivier et al, 2015) et présenteraient une certaine résistance face au pathogène (Watillon & Bodson, 2017). Ceci explique pourquoi la phase sexuée ne contribue que de façon très minoritaire à la dispersion de la maladie et ne constitue pas non plus une source de variation génétique (Watillon & Bodson, 2017).

D. Les symptômes :

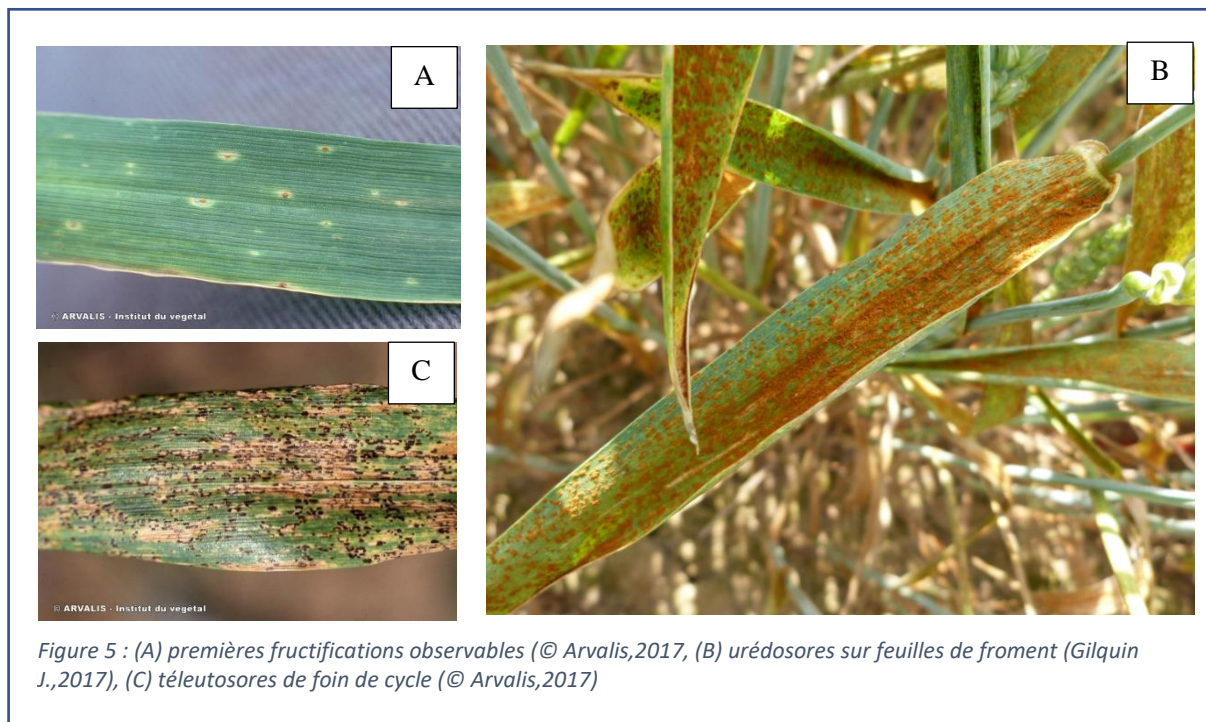
Dans nos régions, l'apparition de la maladie se fait en général tardivement à partir du stade dernière feuille étalée (Watillon & Bodson, 2017). Cependant, dans de rare cas des attaques plus précoces sont

observables, notamment à partir du début de la montaison (Watillon & Bodson, 2017 ; Arvalis, 2017 ; Maurin, 1999).

Stade 3 feuilles : les années au cours desquelles les conditions hivernales sont particulièrement douces et dans des situations de semis précoces, il est possible d'observer quelques pustules brunes-orangées de forme ovales à ce stade (Watillon & Bodson, 2017 ; Arvalis, 2017).

Du début de la montaison à la fin du gonflement : à ces stades, de premières fructifications présentant un halo jaune (figure 5A), sont visibles dans le cas d'attaques précoces, la rouille brune survenant ordinairement vers la fin mai (Arvalis, 2017).

Du stade dernière feuille étalée et l'épiaison : C'est à ce stade que surviennent généralement les symptômes, c'est également à celui-ci que l'attaque de la maladie sera la plus préjudiciable (Duvivier et al, 2015). Le limbe des feuilles est uniformément recouvert de pustules (urédosores). Celles-ci sont essentiellement réparties sur les feuilles supérieures (figure 5B), de manière aléatoire et déchirent l'épiderme de la feuille (Watillon & Bodson, 2017). Dans les cas d'infections plus graves et en fin de cycle, la maladie peut même atteindre l'épi. À cette période des pustules noires (téleutosores) sont observables sur les feuilles (figure 5C) (Arvalis, 2017).



Confusion possible : La rouille jaune se distingue de la rouille brune d'une part par sa répartition en champ et d'autre part par l'observation et la dispersion des pustules. En rouille jaune l'infection se fait en foyers dans un premier temps alors que la répartition de la rouille brune est homogène.

Les pustules de rouille brune sont brunes-orangées et sont plus grosses que les pustules jaunes-orangées de la rouille jaune (Watillon & Bodson, 2017). Un alignement des pustules le long des nervures est caractéristique d'une rouille jaune alors que les pustules de la rouille brune sont dispersées sur toute la feuille (Arvalis,2017).

E. Cycle et conditions de développement de *Puccinia triticina* :

À l'instar de la rouille jaune, la reproduction asexuée de *Puccinia triticina* est majoritairement responsables de la propagation de la maladie. Pour ce motif, seule cette partie du cycle de développement sera décrite.

En Belgique, il existe un phénomène de « *green bridge* » permettant à la rouille brune de survivre d'année en année sur les parcelles agricoles (Duvivier et al, 2015). En effet, étant un biotrophe obligatoire et les cultures de blés successives ne se chevauchant pas (il s'écoule 2 mois entre la récolte de la 1^{ère} culture et l'émergence de la seconde), la survie de la rouille brune dépend des repousses de céréales et des adventices présentes aux alentours (Duvivier et al, 2015).

En automne, les urédospores présentes sur ces plantes relais, contaminent les cultures de semis précoces. La sévérité de l'attaque de l'année culturale précédente, conditionne donc ce phénomène en favorisant l'infection (Duvivier et al, 2015). En revanche, elle n'influence pas significativement la densité de spores lors du stade montaison à la dernière feuille (Duvivier et al, 2015).

Après y avoir hiverner en champ sous formes de mycélium ou d'urédospores, la maladie se propage vers d'autres plantes et d'autres parcelles (BOLTON et al, 2008). L'infection peut également provenir de régions plus chaudes (Duvivier et al, 2015).

Pour ces deux sources d'inoculum, le vent constitue la voie principale de dispersion (Watillon & Bodson, 2017). Il semble par ailleurs que les turbulences dans la canopée aient une influence considérable sur les épidémies de rouille brune (Watillon & Bodson, 2017 ; Duvivier et al, 2015). Cependant, la dispersion est également possible par la pluie (Duvivier et al, 2015).

La survie de l'inoculum en période hivernale est essentiellement liée à une humidité suffisante lors de l'infection et à l'absence de brusques gouttes à températures négatives (Duvivier et al, 2015).

Comme indiqué précédemment, la maladie ne fait son apparition que tardivement dans l'année, vers la fin du mois de mai (Watillon & Bodson, 2017).

L'**infection** de la feuille requiert en effet des températures plus élevées que la rouille jaune, celles-ci doivent être comprises entre 10 et 25°C avec un taux d'humidité suffisant (Watillon & Bodson, 2017).

Les infections de rouilles brunes se font généralement la nuit, les paramètres météorologiques étant plus favorables. En effet, la germination des urédospores nécessite la présence d'eau libre sur les feuilles alors que la lumière l'inhibe (El Jarroudi M. et al, 2012).

Dans cette optique, El Jarroudi et son équipe avaient d'ailleurs développé un modèle stochastique, tenant compte de données météorologiques nocturnes. La surface foliaire avec symptômes de rouilles brune serait fortement corrélée aux paramètres suivants : une température nocturne comprises entre 8-16°C, ainsi qu'une humidité supérieure à 60% pendant minimum 12h consécutives (El Jarroudi M. et al, 2012).

La **germination** survient 4 à 8 h après, lorsque la température est de 20°C et l'humidité de 100% (BOLTON et al, 2008). Si les conditions d'humidité n'arrivent pas immédiatement après l'infection, les spores sont encore viables 1 à 3 jour (BOLTON et al, 2008).

La **période de latence** est de 8 à 12 jours sous des températures de 15 à 20 °C (Watillon & Bodson, 2017). À l'issue de ce délai, la sporulation génère des urédospores qui contaminent les plantes du champ et les autres parcelles (Duvivier et al, 2015).

Des corrélations positives ont pu être établis entre la densité de spores au printemps (entre les stades montaison et dernière feuille) et certaines conditions météo antérieures : la pluviosité totale de début août à fin décembre de la saison culturale précédente d'une part, et les températures minimales positives hivernales d'autres part (Duvivier et al, 2015).

En revanche, le nombre de jours hautement humides mais sans précipitation ou le niveau épidémique de l'année précédente, n'influencent pas significativement la densité de spores à ces stades-là. (Duvivier et al, 2015)

La première corrélation s'explique par l'action la pluviosité sur le phénomène de « green bridge ». En effet, celle-ci favorise d'une part la germination de la végétation spontanée et d'autre part la dispersion de l'inoculum (Duvivier et al, 2015). La seconde trouve son explication dans les conditions de survie du pathogène, les températures négatives ne lui étant pas favorable.

F. Facteurs et leviers agronomiques :

La perte de rendement causée par la rouille brune est principalement liée à la sévérité de l'attaque sur les deux dernières feuilles (F1 et F2) (Duvivier M. et al, 2015). L'absence d'inoculum à cette période limite les risque d'épidémie (Duvivier M. et al, 2015).

La sévérité de la maladie est principalement fonction de 3 principaux paramètres : la précocité de la maladie, la résistance de l'hôte et les conditions climatiques (Duvivier M. et al, 2015).

Il est possible pour l'agriculteur de jouer sur les deux premiers leviers. D'une part, en réduisant le phénomène de « green bridge ». En effet, en réalisant un travail du sol pour détruire les repousses de céréales il est possible de réduire l'inoculum primaire avant la période hivernale (Watillon & Bodson, 2017). De plus, un semis tardif permettra la réduction de l'exposition des plantules en automne à cet inoculum primaire et de ce fait le nombre de cycle accomplis par le pathogène (Watillon & Bodson, 2017). D'autre part, l'utilisation de variétés résistantes reste le meilleur moyen de lutter contre les épidémies de rouille brune (Watillon & Bodson, 2017).

Comme pour la rouille jaune, l'agriculteur peut limiter les conditions favorables à la maladie en ajustant sa densité de semis et sa fumure azotée (Watillon & Bodson, 2017). De plus, un surplus d'azote augmente la sensibilité de la plante à la maladie (Arvalis, 2017)

La lutte chimique pour la rouille brune passe par l'emploi de certaines triazoles, ou de strobilurines. Il est également possible de les utiliser en mélange. Dans la situation où un seul traitement serait appliqué entre le stade dernière feuille complètement sortie (stade BBCH 39) et le stade épisaison, l'ajout de SDHI au mélange triazoles / strobilurines est vivement conseillé. (Watillon & Bodson, 2017)

3. Matériel et méthode :

Le suivi de ces infections fongiques a été réalisé durant 12 semaines (du 20 avril 2017 au 7 juillet 2017), sur les mêmes individus (plantes). La méthodologie originale proposée vise à quantifier dans quelle mesure un suivi à l'échelle de l'individu présente un avantage par rapport au suivi des populations. Cette approche dynamique devrait permettre par la suite de valider ou non des modèles prédictifs de risque d'infection fongique.

L'essai a eu lieu dans un des champs expérimentaux de l'unité de Phytotechnie des régions tempérées de la Faculté de Gembloux Agro-Biotech (ULg), plus précisément sur le site de Lonzée à Gembloux (Belgique) [X = 176843 ; Y = 137810 – Syst. Coord. Belge Lambert 72].

3.1. Conditions phytotechniques du site expérimental :

Ce site est situé dans la région limoneuse de Hesbaye, il se caractérise par un sol limoneux à drainage naturel favorable à modéré (« **Aba** » / « **Aca** ») et des conditions tempérées. Le précédent cultural était la betterave.

La fumure azotée est composée de 165 Kg N/ha, fractionnées en 3 apports aux stades suivants : 40 N au tallage, 50 N au redressement et 75 N à la dernière feuille. Plus précisément, la 1^{ère} fraction a été appliquée le 23 mars 2017 pour les 3 modalités de semis, la 2^{ème} fraction fût réalisée le 21 avril 2017 (FH17-01 et FH17-02) et le 27 avril (FH17-03) et la 3^{ème} fraction azotée a été apportée le 29 mai 2017 pour les 3 dates de semis.

Aucun insecticide n'a été appliqué lors de cette saison culturale. En ce qui concerne la lutte herbicide, une application fût réalisée le 30 mars 2017 (Pacifica (300g/ha) + Capri (250g/ha) + Gratil (20g/ha) + huile (1L)). Un régulateur de croissance (CYCOCEL® 75 1L/ha) a également été appliqué le 24 avril 2017 pour les trois dates de semis. Les traitements fongiques suivent un protocole bien défini, ils seront par conséquent détaillés dans le point 2.3.3.

3.2. Aperçu climatologique pour la saison culturale 2016-2017 :

3.2.1. Stations météorologiques exploitées :

Les données météorologiques qui suivent sont issues des stations suivantes : la station de l'Institut Royal Météorologique (IRM) d'Ernage (Gembloux), la station de Lonzée (Terrestrial Observatory of Lonzée)

La **station (IRM) d'Ernage** dispose d'un historique suffisamment important pour déterminer les valeurs normales sur la période 1981-2010. De plus, c'est la station de référence la plus proche du site d'expérimentation de Lonzée.

La **station de Lonzée (OTL)** présente quant à elle l'avantage d'être située à proximité du champ expérimental [50°33'5.7096 ''N – 4°44'46.0716''E], les mesures qu'elle fournit sont donc représentatives puisqu'il n'y a plus l'effet localité. Elle est entrée en fonction en 2004 mais les capteurs n'ont pas tous été installés en même temps. (Heinesch et al, 2016)

3.2.2. Bilan de la saison culturale 2016-2017 à Ernage :

La saison culturale 2016-2017 a été caractérisée à Ernage par des valeurs de précipitation très anormalement basses. Les mois de décembre 2016 et avril 2017 furent les plus marquants, ils ont accusé respectivement un déficit de précipitations de 73.6 % et de 70.8%, soit un indice pluviométrique de 0.3 (tableau 1). Seules les mois de novembre 2016, janvier 2017 et mai 2017 ont été proches des normes.

L'indice pluviométrique est calculé de la manière suivante :

$$\text{Indice pluviométrique [-]} = \text{précipitations observées [mm]} / \text{précipitations historiques [mm]}$$

De mars à avril 2017, les précipitations s'élevaient à 62.5 mm alors que la normale est de 120.5 mm, soit un déficit de 48 %. Les mois de mai et juin 2017 furent moins secs (126.5 mm au total) mais furent cependant 13% en deçà des normes (146 mm). Au total, du mois d'octobre 2016 à juin 2017, c'est un déficit de 30% par rapport aux précipitations normales attendues pour cette même période.

Tableau 1 : Suivi des précipitations du mois d'octobre 2016 à juin 2017 à la station météorologique d'Ernage.

	Précipitations totales (mm)	Précipitations normales (mm)	Différence absolue (mm)	Déficit (%)	Indice pluviométrique
Oct. 2016	39.1	69.2	30.1	43,5	0,6
Nov. 2016	65.2	67.9	2.7	4,0	1,0
Déc. 2016	20.0	75.8	55.8	73,6	0,3
Jan. 2017	64.4	69.4	5	7,2	0,9
Fév. 2017	47.7	58.1	10.4	17,9	0,8
Mars. 2017	47.0	67.4	20.4	30,3	0,7
Avr. 2017	15.5	53.1	37.6	70,8	0,3
Mai 2017	70.0	69.7	0.3	0,4	1,0
Juin. 2017	56.5	76.3	19.8	26,0	0,7
Total	425,4	606,9	181,5	29,9	0,7

Le début de la saison 2017 a été un peu plus froid que la norme. Cependant, après les douceurs du mois de décembre (+0,9°C), le mois de janvier a été marqué par des températures inférieures aux moyennes historiques (> - 2°C) (tableau 2).

Tableau 2 : Suivi des températures du mois d'octobre 2016 à juin 2017 à la station météorologique d'Ernage.

Dates	Température moyenne de l'air * (°C)	Normes de température de l'air (°C)	Écart à la normale de température (°C)
Oct. 2016	9.3	10.6	-1,3
Nov. 2016	5.7	6.2	-0,5
Déc. 2016	4.2	3.3	0,9
Jan. 2017	0.1	2.5	-2,4
Fév. 2017	5.6	2.8	2,8
Mars. 2017	8.8	6.0	2,8
Avr. 2017	7.6	8.7	-1,1
Mai 2017	14.7	12.6	2,1
Juin 2017	17.8	14.9	2,9

* la température moyenne est calculée comme suit dans le cas de la station d'Ernage (Tmin+Tmax) /2.

Exception faite du mois d'avril 2017 qui avait été légèrement plus froid (- 1.1 °C), les températures ont été anormalement élevées pour la période allant de février à juin 2017 par rapport aux normes. Les écarts à la normale de température ont dépassé les +2°C.

En conclusion, alors que l'hiver 2017 avait déjà été anormalement bas en termes de quantité de précipitations, ce printemps 2017 a aussi été caractérisé à Ernage par une quantité très anormalement basse de précipitations et une température moyenne anormalement élevée.

3.3. Dispositif et conditions expérimentales :

Le dispositif expérimental repose sur les essais mis en place dans le cadre de la convention de recherche « Production Intégrée en Céréales » (PIC)-Gembloux Agro-Biotech, notamment valorisé dans le cadre du Livre Blanc Céréales. Chaque année dans le cadre de cette convention différents essais (variétaux, de fumures, de protection sanitaire, ...) sont réalisés

Plus précisément, cette étude intègre trois facteurs établis dans un dispositif expérimental en « split-split plot » soit : la date de semis (facteur n°1), les variétés (facteur n°2) et les traitements (facteur n°3). Le facteur principal (ou premier facteur) est la date de semis (3 modalités), le facteur secondaire (sub-factor) est la variété (6 modalités) et le troisième facteur étudié (subsubfactor) est le type de traitement (3 modalités). Les différents niveaux statistiques seront présentés dans les points 2.3.1 à 2.3.3.

Le dispositif expérimental de base comprend 4 blocs (4 répétitions). Cependant, pour des raisons pratiques, il a été décidé de limiter la prise de données aux 3 premiers (temps nécessaire de collecte et conditions climatiques). Cet essai comporte donc 162 parcelles (3 modes de traitements X 6 variétés X 3 dates de semis X 3 répétitions). Les sections suivantes décrivent plus précisément les 3 facteurs étudiés et la méthodologie employée.

3.3.1. Facteur n°1 - Les dates de semis (3) :

Dans cet essai, 3 modalités de semis ont été testées avec les densités *ad hoc* : le 25 octobre 2016 (250 grains/m²) [FH17-01], le 21 novembre 2016 (350 grains/m²) [FH17-02] et le 14 décembre 2016 avec (400 grains/m²) [FH17-03]. Les différentes modalités de ce 1^{er} facteur sont réparties à l'intérieur de 3 blocs, dans 9 grandes parcelles (si on ne tient compte que des trois premières répétitions, R1, R2 et R3).

Des bordures de la variété « Cellule » ont également été semées entre celles-ci sur une largeur de 2,05 m ainsi que tout autour de l'essai, permettant de cette façon le contrôle de l'effet de bordure.

L'implantation de l'essai a été pensée de manière à réaliser deux choses : simplifier et randomiser l'essai. Chaque date de semis est en contact avec les deux autres et les trois modalités de semis sont toujours adjacentes. La figure 6 illustre cette disposition.

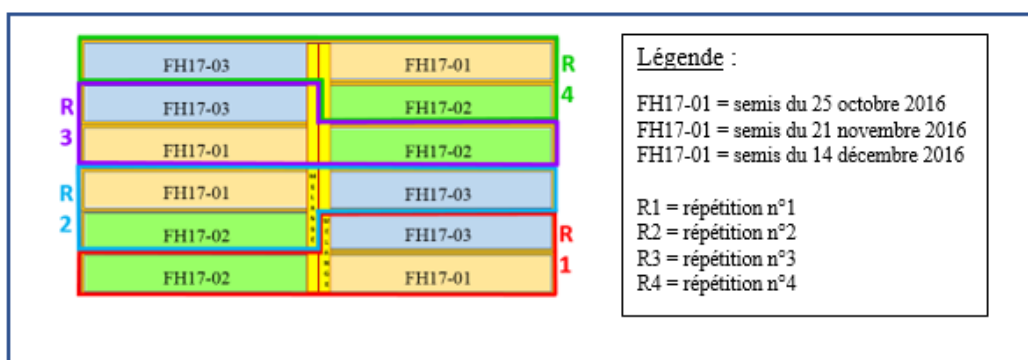


Figure 6 : Disposition des grandes parcelles dans le champ expérimental

3.3.2. Facteur n°2 - Les variétés (6) :

Chaque grande parcelle comprend 28 variétés de froment. Parmi tous ces cultivars commerciaux de blé tendre d'hiver, six ont été sélectionnés sur base du contraste qu'elles présentent dans leurs niveaux de sensibilités aux principales maladies fongiques (tableau 3).

Les variétés retenues sont : **Benchmark** (Limagrain Belgium), **Bergamo** (Jorion Philip Seeds), **Edgar** (Aveve Zaden), **Henrik** (Aveve Zaden), **KWS Smart** (Aveve Zaden) et **Tobak** (Limagrain Belgium).

Les différentes modalités du deuxième facteur (Variétés) sont donc disposées à l'intérieur des grandes parcelles en 54 parcelles intermédiaires (6 variétés X 3 dates de semis X 3 répétitions).

Tableau 3 : Comportement des variétés face aux maladies (réalisé à partir des données fournies par la plateforme internet du Livre Blanc Céréales, (Bodson & Watillon, 2017)

	Benchmark	Bergamo	Edgar	Henrik	KWS Smart	Tobak
Rouille jaune	4.8	7.6	8.7	8.7	8.7	9.0
Rouille Brune	7.3	8.2	7.5	8.3	8.0	5.2
Oïdium	ND	5.5	8.5	8.5	ND	9.0
Septoriose (<i>S.tritici</i>)	7.2	7.0	7.1	6.6	6.5	6.3
Fusariose des feuilles	ND	4.5	3.0	5.5	8.5	4.5
Fusariose des épis (<i>F.graminearum</i>)	6.6	8.0	7.5	7.4	7.5	6.5
Fusariose des épis (<i>F.nivale</i>)	6.8	7.7	7.2	7.1	8.5	6.0

Les cotations fonctionnent selon une échelle de 1 à 9, 1 étant la cote attribuée aux variétés les plus sensibles et 9 la cote attribuée aux variétés les plus résistantes.

3.3.3. Facteur n°3 - Les modalités de traitement (3) :

Les modalités du facteur 3, soit l'application d'un seul traitement (**T1**), de 2 traitements (**T2**) comparé au témoin sans traitement (**T0**), sont réparties à l'intérieur des 54 parcelles intermédiaires en 162 petites parcelles de 16.4 m² (2.05 X 8m).

Au sein des différents blocs (répétitions), la distribution des variétés est faite aléatoirement mais celle-ci est identique pour les trois dates de semis d'un même bloc. De la même façon, la distribution des traitements est aléatoire mais identique pour les trois dates de semis d'un même bloc. La figure 7 illustre la disposition des parcelles intermédiaires et des petites parcelles dans une grande parcelle.

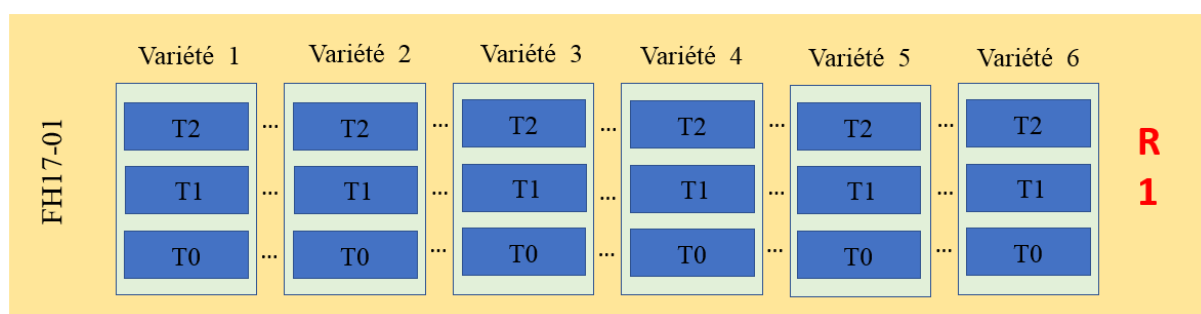


Figure 7 : Disposition des parcelles intermédiaires et des petites parcelles dans une grande parcelle

Le tableau 4 présente les traitements ainsi que la phytotechnie appliquée.

Tableau 4 : Produits fongiques et dates d'application en fonction de la modalité de traitement et de la date de semis

Modalité de traitement	Produit	FH17-01	FH17-02	FH17-03
Témoins (T0)	/	/	/	/
Traitement unique (T1)	Adexar ® (1.5L)	22 mai	22 mai	24 mai
Traitement double (T2)	Opus team ® (1.5L) + Bravo (1L)	10 mai	15 mai	15 mai
	Aviator Xpro ® (1.25L)	31 mai	31 mai	2 juin

Adexar ® (10119P/B) est un concentré émulsionnable (EC) à base de fluxapyroxad (62,5 g/l) et d'époxiconazole (62,5 g/l) dont l'usage est notamment autorisé sur blé d'hiver et ayant une action contre les septorioses, les rouilles (brunes et jaunes), l'helminthosporiose, oïdium ainsi que le piétin-verse. (Fytoweb, 2017)

Opus® Team (8473P/B) est une Suspo-émulsion (SE) à base d'époxiconazole (84 g/l) et de fenpropimorphe (250 g/l) dont l'usage est notamment autorisé en froment d'hiver pour lutter contre les septorioses, les oïdiums et les rouilles (brunes et jaunes). (Fytoweb, 2017)

BRAVO® (7003P/B) est une suspension concentrée (SC) à base de chlorothalonil (500 g/l) utilisé en céréales afin de lutter contre les septorioses, les oïdiums et les rouilles (brunes et jaunes). (Fytoweb, 2017)

Aviator® **Xpro** (9994P/B) est un concentré émulsionnable (EC) à base de bixafen (75 g/l) et de prothioconazole (150 g/l) et autorisé en blé d'hiver. Ce produit cible le piétin-verse, la septoriose des feuilles, la rouille jaune, la rouille brune, l'oïdium, les fusarioses, l'helminthosporiose. (Fytoweb, 2017)

3.4. Observations et mesures :

3.4.1. Degrés jour et somme des températures :

Les degrés jours ont été calculés de la manière suivante :

$$[(T_{\max} + T_{\min}) / 2] - T^{\circ} \text{ base.}$$

T_{max} étant la température maximale relevée pour un jour, **T_{min}** étant la température minimale relevée pour ce même jour et **T°base** étant la température en dessous de laquelle la plante ne croît pas, c'est-à-dire le zéro de végétation, 0°C dans le cas du blé (Gate,1995).

La somme des températures base 0 correspond au « cumul des températures moyennes journalières supérieures à 0°C sur une période donnée » (Gate,1995).

3.4.2. Echantillonnage :

Au niveau de chaque parcelle, ce sont six individus qui ont été suivis, ceux-ci ont été sélectionnés pour être positionné au sein de la parcelle selon la figure 8. Plus précisément, ce sont les plantes se trouvant dans les 4^{ème} et 11^{ème} rangée qui ont été sélectionnées tous les mètres (sans tenir compte des 2 zones de prélèvement) Les plantes à coter ont été marquées par des bambous disposés à droite des rangées.

Dans chacune des 162 petites parcelles, 6 plantes furent donc sélectionnées en vue du suivi des maladies, soit 18 plantes par combinaison.

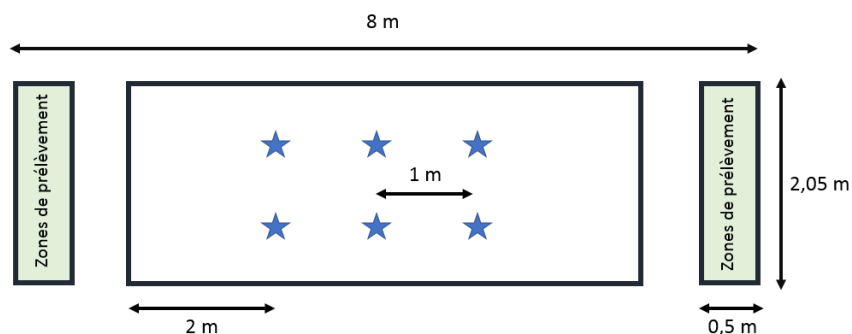


Figure 8 : Schéma d'une parcelle avec les 6 individus suivis

3.4.3. Maladie et méthode de cotation :

Les cotations visuelles hebdomadaires ont été réalisées du 20 avril 2017 au 7 juillet 2017 (soit depuis le stade montaison jusqu'au stade maturité) sur les différentes variétés.

Alors que l'année culturale 2015-2016 avait été caractérisée par une pression élevée en maladies, en particulier en fusariose de l'épi, la saison 2016-2017 s'est avérée très différente. Le printemps 2017 a été caractérisé par des épisodes de fortes chaleurs, plus précisément durant les mois de mars, avril et mai qui furent particulièrement secs, les totaux pluviométriques étant en effet largement inférieurs aux normes saisonnières (IRM, 2017).

La fusariose, bien qu'elle ait été également présente cette année, n'a fait son apparition que la dernière semaine de relevé. Pour cette raison, il a été décidé de ne pas présenter les résultats. La présente étude traitera donc essentiellement de la rouille jaune, de la rouille brune et de l'oïdium.

Au vu des conditions météorologiques de la saison seuls la rouille jaune et la rouille brune ont été suivies, la septoriose et la fusariose s'étant très peu exprimées cette année.

Seules les feuilles de la tige principale ont fait l'objet d'une évaluation et celle-ci portait sur tous les étages foliaires de cette tige. La F1 définitive étant la dernière feuille (figure 9). Les F6, F7 et F8 présentés dans la partie « résultats » correspondent aux feuilles du tallage.

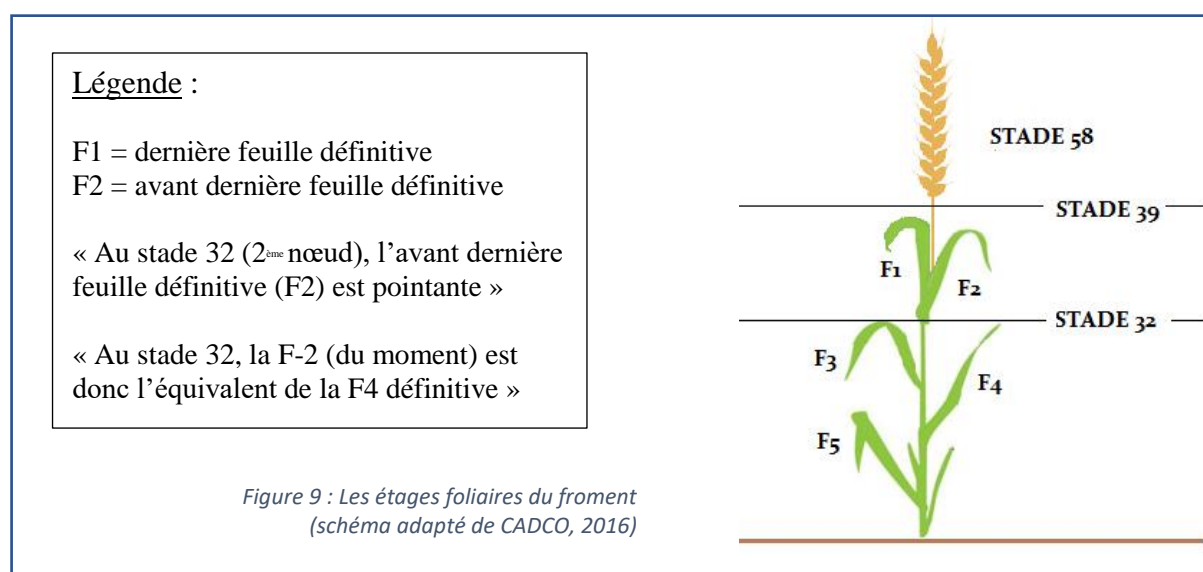


Figure 9 : Les étages foliaires du froment (schéma adapté de CADCO, 2016)

La méthode de cotation est basée non pas sur les surfaces foliaires vertes mais sur les surfaces couvertes par les fructifications (pustules) des pathogènes rouille brune, rouille jaune. La détermination des surfaces de sporulation pour la rouille brune a été faite en se basant sur les échelles de détermination de James (James, 1971) (figure 10).



Figure 10 : Échelle de cotation de la rouille brune (Clive James)

Les échelles de cotation trouvées pour la rouille jaune n'étant pas adaptées aux observations de cette année (la rouille jaune ne se présentait généralement pas sous forme de stries mais plutôt sous forme de plaques), les dégâts ont été notés comme suit :

- Une cote de 1 est attribuée en présence de quelques pustules (1%) ;
- 2 lorsque la surface foliaire est couverte par 20% de sporulation ;
- 3 lorsque la surface foliaire est couverte par 40% de sporulation ;
- 4 lorsque la surface foliaire est couverte par 60% de sporulation ;
- 5 lorsque la surface foliaire est couverte par plus de 80% de sporulation.

La cotation par étage foliaire est exprimée en pourcentage cumulé. Dans les graphiques comparant les variétés, les sommes des pourcentages ont été cumulées. Mais, afin de ne pas biaiser les résultats avec des données relatives à une sénescence plus précoce, il n'y a pas eu de normalisation par nombre de feuilles.

Les données supérieures à 100% correspondent à la « mort » d'une feuille.

Le stade des plantes suivies a été évalué selon l'échelle Zadok. Cependant, la définition de certains stades nécessite une dissection de la plante pour être correctement identifiés. Afin de ne pas détruire les individus suivis, l'identification est réalisée à partir de quelques plantes de la zone de prélèvement et la moyenne des stades atteints par celles-ci est alors attribuée à la parcelle entière.

4. Résultats et Discussions :

Cette section s'articule en plusieurs chapitres. Le premier traite des données météorologiques nécessaires à l'interprétation des résultats du présent travail. Dans le second seront présentés les résultats se rapportant à la rouille jaune tandis que le troisième et le quatrième comprennent respectivement les données qui concernent la rouille brune. Enfin, le dernier chapitre fera un rapide état des lieux des autres pathogènes rencontrés lors de ces 12 semaines de suivis.

Les chapitres « Rouille jaune » et « Rouille brune » seront eux-mêmes subdivisés en 3 grandes parties : « Comparaison variétale », « Comparaison des dates de semis » et « Évaluation de l'efficacité des traitements ». Chacun des chapitres comprendra également un point « Discussion et conclusion du chapitre ».

4.1. Stades et somme des températures :

Les tableaux 5,6 et 7 reprennent les stades identifiés (selon l'échelle Zadok) en fonction des dates de relevés et des variétés, et ce pour chaque modalité de semis.

Les variétés sont reprises dans le tableau selon leurs initiales : Tobak (**T**), Kws-Smart (**K-S**), Henrik (**H**), Edgar (**E**), Benchmark (**BK**) et Bergamo (**B**). Ces tableaux incluent également la somme des températures correspondantes. Ces données sont issues de deux stations différentes : Ernage et Lonzée. Bien que la station météorologique de Lonzée apparaisse comme la plus adaptée étant donné sa position proche du champ expérimental, les températures pour le mois de juin n'étaient pas encore disponibles au moment de l'interprétation des résultats.

Bien que des différences de degrés jours et de sommes de températures soient observables, une certaine similarité existe entre les données fournies par ces deux stations. Les dissimilitudes ont plusieurs origines. Premièrement, il y a l'effet de localité. Les deux stations étant distantes d'environ 7 km, il est normal qu'une certaine variabilité météorologique existe entre les deux sites. Ensuite, ces différences pourraient être dues au matériel lui-même, comme le type de capteurs employés.

Tableau 5 : Stade des variétés (Zadok) en fonction de la date, des sommes de températures (station d'Ernage et de Lonzée) et des variétés. Observations réalisées sur les parcelles implantées au mois d'octobre. Tobak (T), Kws-Smart (K-S), Henrik (H), Edgar (E), Benchmark (BK) et Bergamo (B).

	T	K-S	H	E	Bk	B	$\Sigma T^{\circ} (C^{\circ})$ Ernage	$\Sigma T^{\circ} (C^{\circ})$ Lonzée
2017-10-25	Semis						0	0
2017-04-20	30+	30	30+	30	30+	30+	961.1	1006.6
2017-04-27	31	31	31	31	31	31	1003.7	1051.5
2017-05-04	31+	31+	31+	31+	31+	31+	1070.0	1118.5
2017-05-09	32	32	32	32	32	32	1120.0	1168.7
2017-05-15	37	37	37	37	37	37	1202.9	1250.1
2017-05-22	41	39+	41	41	41	41	1317.0	1361.7
2017-05-29	56	53	56	56	58	57	1454.9	1498.1
2017-06-07	65	65	65	65	65	65	1599.9	/
2017-06-15	69	69	69	69	69	69	1736.4	/
2017-06-19	71	71	71	71	71	71	1809.1	/
2017-06-26	75	75	75	75	75	75	1951.6	/
2017-07-03	83	83	83	83	83	83	/	/

Tableau 6 : Stade des variétés (Zadok) en fonction de la date, des sommes de températures (station d'Ernage et de Loncée). Observations réalisées sur les parcelles implantées au mois de novembre. Tobak (T), Kws-Smart (K-S), Henrik (H), Edgar (E), Benchmark (BK) et Bergamo (B).

	T	K-S	H	E	Bk	B	Σ T° (C°) Ernage	Σ T° (C°) Loncée
2017-11-11	Semis						0	0
2017-04-20	1.2*	0.8*	1.8*	1.1*	1.4*	1.4*	832.0	873.6
2017-04-27	30+	30	30	30	30	30+	874.6	918.6
2017-05-05	31	30+	30+	30+	31	31	950.9	995.6
2017-05-09	32	31	31	31	32	32	990.9	1035.7
2017-05-17	37	32	32	32	37	37	1116.9	1158.0
2017-05-23	41	37	39	37	39+	39+	1205.3	1245.4
2017-05-30	54	51	52	54	55	55	1341.9	1381.6
2017-06-08	61	61	61	61	61	61	1488.2	/
2017-06-15	65	65	65	65	65	65	1607.3	/
2017-06-20	71	71	71	71	71	71	1702.2	/
2017-06-27	75	75	75	75	75	75	1840.0	/
2017-07-03	83	83	83	83	83	83	/	/

* Distance mesurée en cm entre le sommet de l'épi et le plateau de tallage

Tableau 7 : Stade des variétés (Zadok) en fonction de la date, des sommes de températures (station d'Ernage et de Loncée). Observations réalisées sur les parcelles implantées au mois de décembre. Tobak (T), Kws-Smart (K-S), Henrik (H), Edgar (E), Benchmark (BK) et Bergamo (B).

	T	K-S	H	E	Bk	B	Σ T° (C°) Ernage	Σ T° (C°) Loncée
2017-12-14	Semis						0	0
2017-04-20	1.3*	0.8*	1.2*	0.8*	1.3*	1.4*	651.6	684.0
2017-04-28	30	30	30	30	30+	30	701.0	735.4
2017-05-05	30+	30+	30+	30+	31	30+	770.5	805.9
2017-05-09	31	31	31	31	32	31+	810.5	846.0
2017-05-18	32+	32	32	32	37	37	953.5	985.6
2017-05-24	39	37	39	37	39	39	1041.4	1072.1
2017-05-31	53	50	50	53	54	53	1177.8	1208.0
2017-06-09	59	59	59	59	59	59	1323.0	/
2017-06-16	61	61	61	61	61	61	1442.0	/
2017-06-21	71	71	71	71	71	71	1545.6	/
2017-06-29	75	75	75	75	75	75	1695.7	/
2017-07-04	83	83	83	83	83	83	/	/

* Distance mesurée en cm entre le sommet de l'épi et le plateau de tallage

4.2. Discussions générales sur la phénologie :

Après le 16 juin, on assiste au rattrapage phénologique du semis d'octobre par les semis de novembre et de décembre.

Le cumul des températures moyennes associé à un stade précis dépend de plusieurs facteurs dont la variété et la date de semis. On estime qu'un total de 2350 °C est nécessaire au blé d'hiver pour qu'il accomplisse son cycle complet (De Parcevaux & Huber, 2007).

La littérature fait mention d'une somme de température de 1540 °C pour atteindre la floraison (61-69) (De Parcevaux & Huber, 2007). Dans la présente étude, les valeurs correspondantes fournies par les stations sont proches de cette valeur et semblent par conséquent vérifier cette affirmation pour les trois dates de semis.

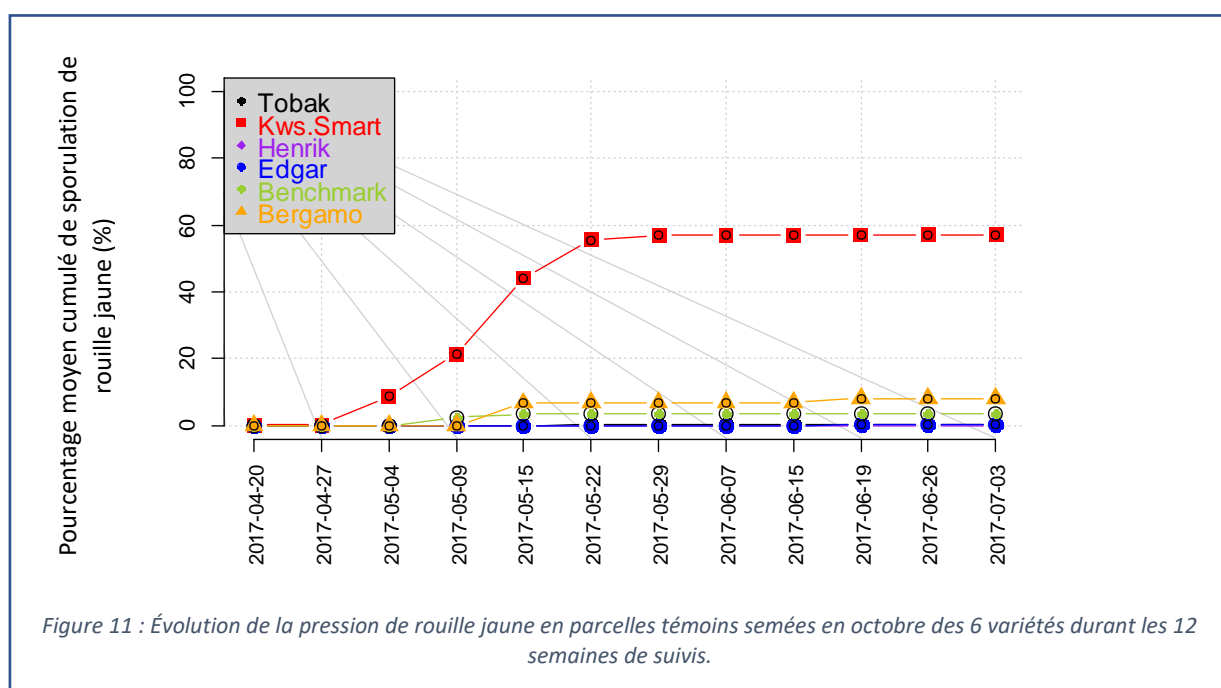
Néanmoins, en fonction des auteurs, les intervalles de sommes de températures fournis pour un stade précis sont parfois très larges. Cette mesure a donc ses limites. Ceci s'explique par l'impact de facteurs tels que la génétique ou les conditions culturales sur la vitesse de développement des plantes.

En comparant pour chaque stade les dates de relevés avec les dates approximatives attendues (Bodson & Wattillon, 2017), on ne relève aucun problème de correspondance.

4.3. La Rouille Jaune :

4.3.1. Comparaisons variétales :

La figure 10 rend compte de l'évolution de la pression de rouille jaune sur les six variétés suivies pendant ces 12 semaines. Plus précisément, il se rapporte au témoin sans traitement fongicide semé en octobre.



Des différences peuvent être mises en évidence en ce qui concerne leur sensibilité relative. La variété Kws-Smart apparaît comme étant la plus sensible des six. Bergamo et Benchmark ont montré des signes de rouille jaune mais la pression est relativement faible, elle est respectivement de 8% et de 4%. Les variétés Henrik, Edgar et Tobak sont quant à elles très peu touchées par la maladie (le pourcentage étant presque nul).

La figure 10 suggère également que l'apparition des urédia sur les feuilles a été plus précoce sur Kws-Smart que sur les autres variétés. Cette dernière présentait en effet des fructifications sur ses feuilles à partir du 4 mai 2017 tandis qu'aucune pustule a été détectées sur Benchmark et Bergamo à cette même date.

Il semble également qu'entre le 9 et le 22 mai, les conditions aient été particulièrement favorables au développement du pathogène. Entre le 9 et le 15 mai on observe d'ailleurs le saut le plus important chez Kws-Smart, Bergamo et Benchmark

L'observation des données montre que durant les 14 jours précédents l'observation des symptômes, les conditions ont toutes été réunies et furent propice au pathogène. Les températures étant supérieures à 7°C et inférieures à 16°C, avec une humidité relative supérieure à 50%.

Tableau 8 : Paramètres météorologiques fournis par la station de Lonzeé du 01/05/2017 au 14/05/2017 (T° moyenne (C°) = température moyenne, HR moyenne (%) = humidité relative moyenne, P112 total = précipitations totales fournies par le capteur P112, P111 total = précipitations totales fournies par le capteur P111.

Date	T° moyenne (°C)	HR moyenne (%)	P112 total (mm)	P111 total (mm)
01/05/2017	10,64	68,39	0,00	0,00
02/05/2017	9,14	82,31	0,75	0,66
03/05/2017	9,26	86,86	2,13	2,45
04/05/2017	10,55	87,58	0,55	0,65
05/05/2017	9,42	85,41	0,11	0,00
06/05/2017	11,90	80,99	1,38	1,4
07/05/2017	11,52	86,06	0,43	0,44
08/05/2017	8,79	82,02	0,11	0,07
09/05/2017	8,54	63,82	0,00	0,00
10/05/2017	11,05	60,98	0,00	0,00
11/05/2017	14,76	67,75	0,75	0,76
12/05/2017	15,96	75,67	4,68	5,11
13/05/2017	14,72	74,13	0,00	0,00
14/05/2017	14,23	69,93	0,00	0,00

Afin de mieux appréhender la dynamique de la maladie et sa synergie avec la plante, l'évolution de la pression de rouille jaune a été étudiée en fonction des étages foliaires pour Kws-Smart, Benchmark et Bergamo et ce, pour leurs témoins semés en octobre. Ces données reportées sont la moyenne des 18 individus observés.

Les données se rapportant aux cultivars n'ayant pas déclaré la maladie ne seront pas détaillés davantage. La pression de rouille jaune diffère beaucoup d'une variété à une autre, pour cette raison, l'échelle des graphiques de la page suivante a volontairement été adaptée.

Pour Benchmark (figure 12), l'infection est très basse et concerne essentiellement les feuilles du tallage (F6, F7 et F8). Les F7 et F8 ont présentés des sporulations le 9 mai 2017 et la F6 le 15 mai 2017.

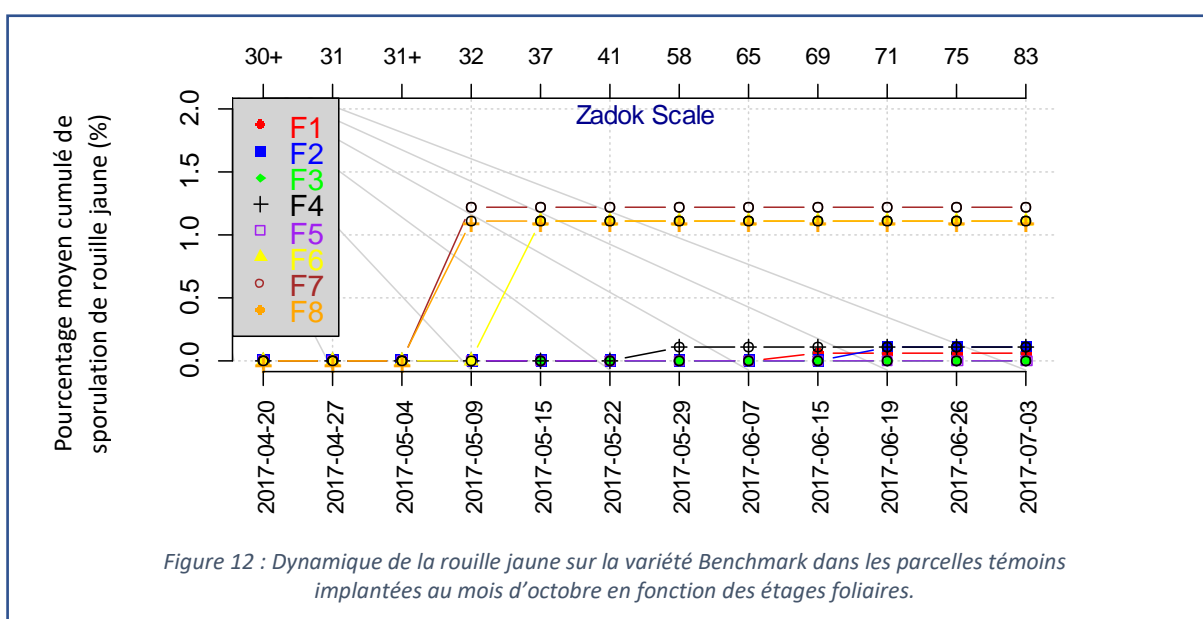
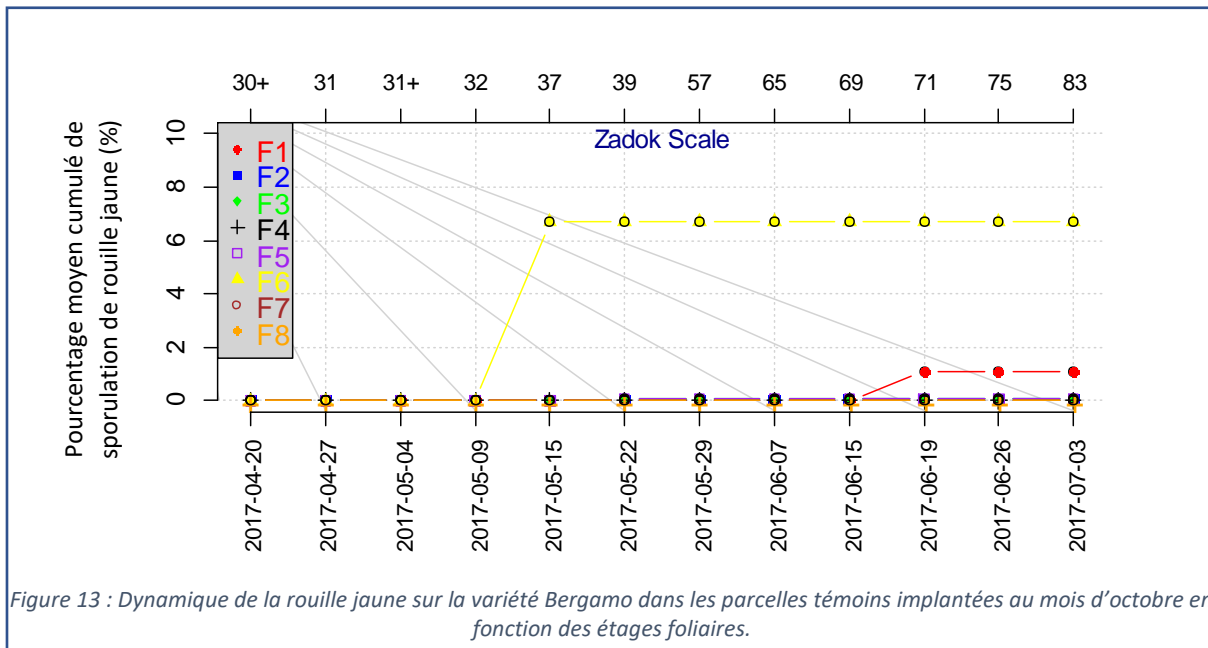


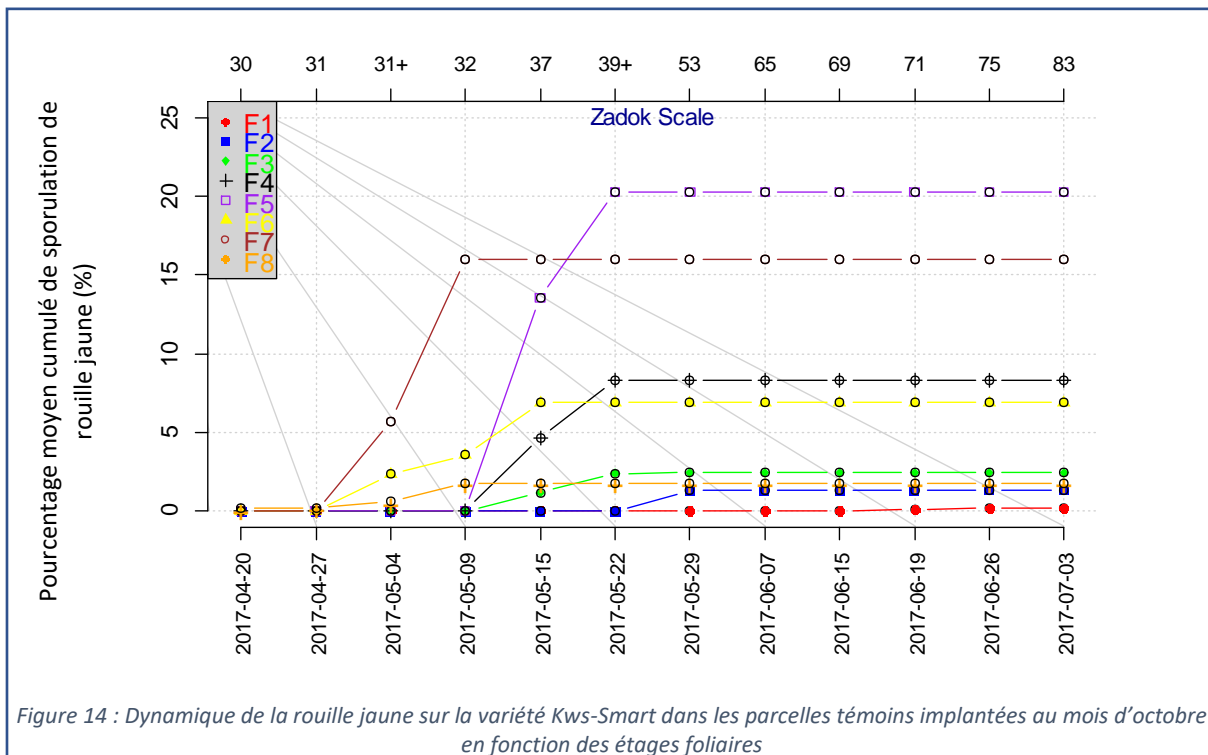
Figure 12 : Dynamique de la rouille jaune sur la variété Benchmark dans les parcelles témoins implantées au mois d'octobre en fonction des étages foliaires.

Les feuilles F4, F2 et F1 ont présenté ponctuellement de la rouille jaune mais à des taux très bas. Tenant compte des feuilles touchées et de la faible pression subie, il peut donc être conclu que la rouille jaune n'a pas constitué une menace dans les conditions culturales décrites ici.

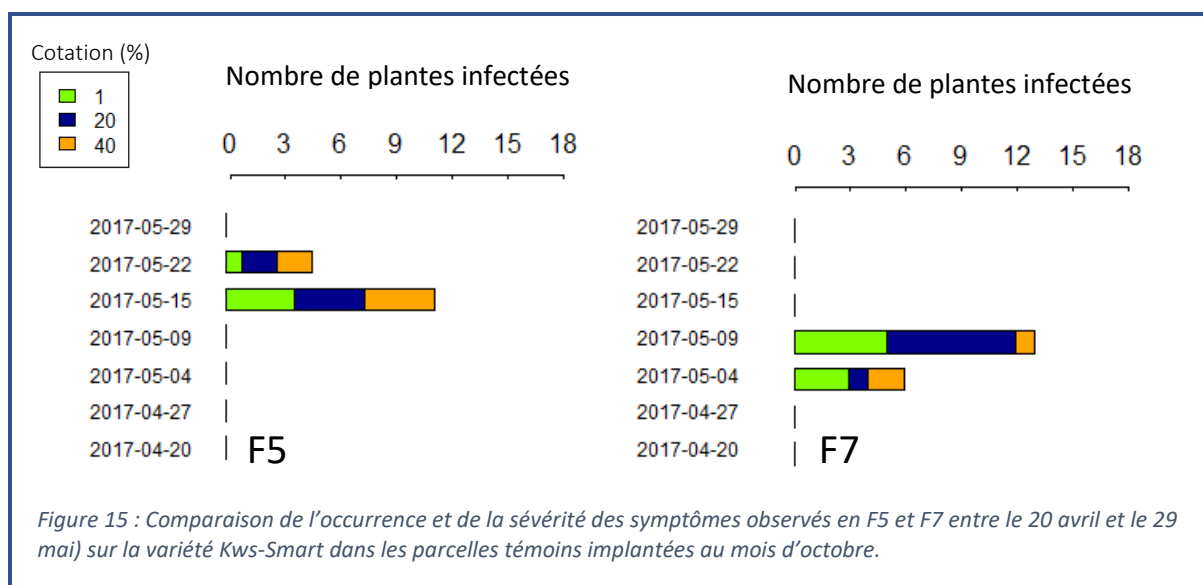
Concernant Bergamo (figure 13), la feuille infectée était la F6 (bien qu'en fin de saison culturale, de la rouille jaune ait été détectée de manière ponctuelle sur la F1).



La pression de rouille jaune a été la plus élevée sur Kws-Smart (figure 14) en début de saison dans des proportions bien plus importantes que pour les variétés précédentes. La rouille jaune a attaqué les feuilles du tallage (F8, F7 et F6) et l'infection s'est poursuivie et intensifiée sur la F5 et la F4. Elle a même atteint la F3 dans des proportions plus élevées et la F2 dans des proportions équivalentes à la pression subie par la F6 de la variété Bergamo.



Dans la mesure où le nombre d'individus présentant des pustules en F5 est inférieur au nombre d'individus en F7, il est aisé de comprendre que c'est la sévérité des symptômes qui explique les hausses observées durant la période d'intérêt sur la variété Kws-Smart en parcelles témoins implantées au mois d'octobre (figure 15).

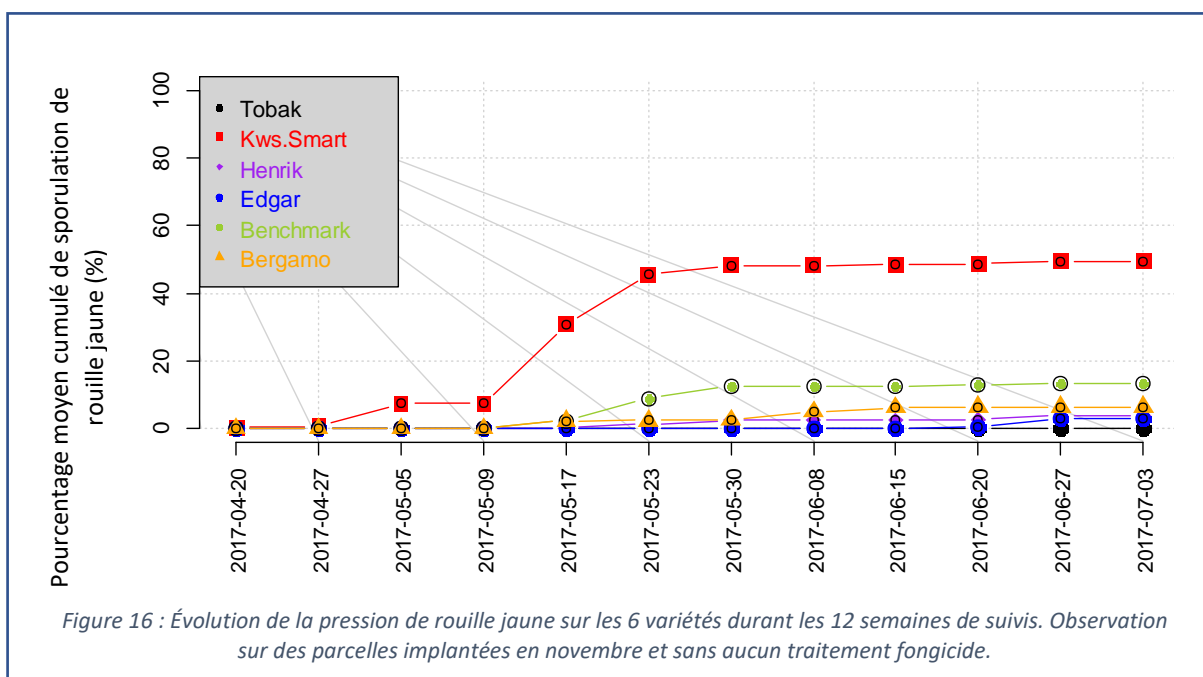


La comparaison de l'occurrence et de la sévérité des dégâts ne sera pas présentée pour les variétés Benchmark et Bergamo, leur pourcentage de rouille jaune étant en effet trop faible.

4.3.2. Comparaisons des résultats pour les dates de semis :

L'évolution de la pression de rouille jaune des six mêmes variétés en fonction des modalités de semis sur les témoins sans traitement fongicide est présentée aux figures 11,16 et 20).

En comparant les courbes se rapportant aux témoins semés en novembre (figure 16) avec celles des témoins d'octobre précédemment présentés (figure 11), il possible de mettre en évidence plusieurs particularités.



Dans cette situation, Kws-Smart apparaît encore une fois comme étant la plus sensible à la rouille jaune, raison pour laquelle elle servira de référence pour la suite du chapitre.

Il semble également qu'une date de semis plus tardive (semis de novembre) n'ait pas d'impact sur la pression de rouille jaune. Si celle-ci atteint 50% au lieu de 57% pour le semis d'octobre, la différence ne peut pas être attribuée au facteur « date de semis ». En effet, le cumul est sous-estimé en raison de données manquantes. La semaine du 9 mai 2017, les relevés n'avaient pu être réalisés que dans les parcelles implantées en octobre. La différence de 7% pourrait donc provenir de cette absence. Par ailleurs, entre le 4 et le 9 mai 2017 la hausse de pression de rouille jaune sur la variété Kws-Smart dans les parcelles témoins implantées au mois d'octobre était de 12%.

Cependant, des différences de comportements variétaux sont observés. Benchmark a manifesté une sensibilité plus importante dans les parcelles semées au mois de novembre (la pression atteint 13% contre 4% pour le semis précoce) tandis que Bergamo reste dans le même ordre de grandeur (le cultivar passe de 8 à 6%).

Henrik et Edgar dont la pression était pour ainsi dire nulle en parcelle FH17-01, ont présenté plus de symptômes (respectivement 4 et 3%). Concernant la variété Tobak, aucun changement n'a pu être observé, la pression subie reste proche de zéro, elle est donc également résistante dans ce cas de figure.

Le graphique évolutif (figure 16) confirme aussi que les conditions les plus favorables à l'installation du pathogène ont été réunies durant la période du 9 au 23 mai 2017.

Afin de mieux comprendre la dynamique et la relation qui existe entre la phénologie de la plante et le pathogène, l'évolution de *P. striiformis* a été étudiée sur les différentes feuilles de Benchmark et de Kws-Smart (figure 17).

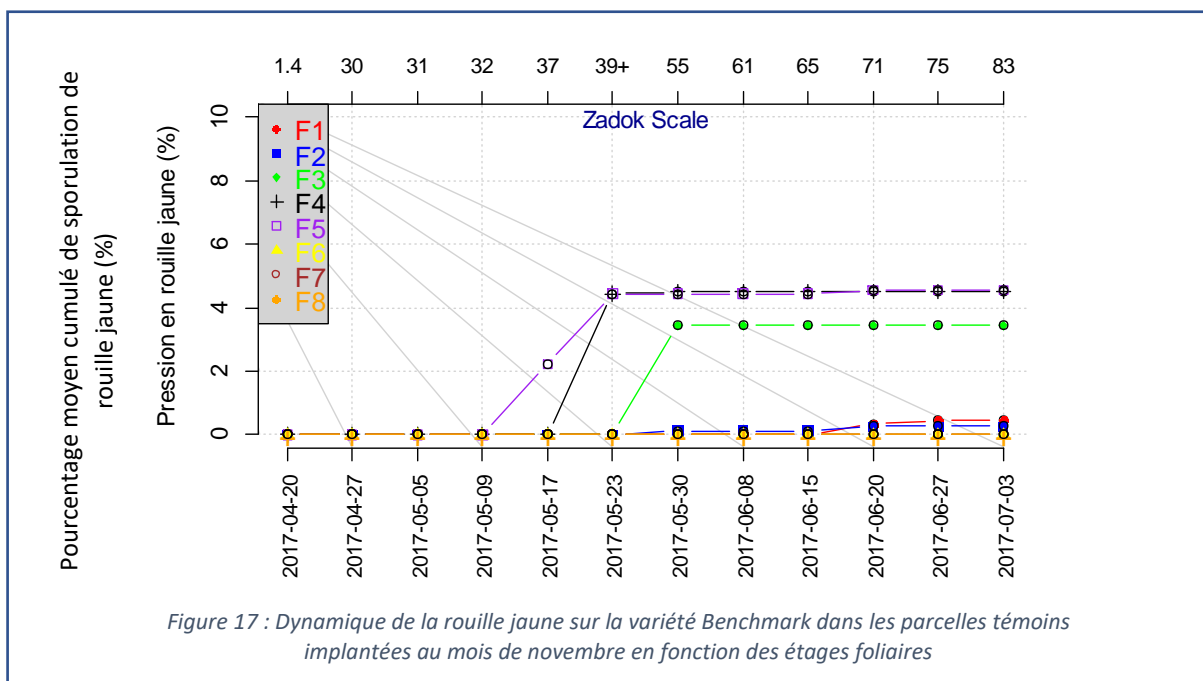


Figure 17 : Dynamique de la rouille jaune sur la variété Benchmark dans les parcelles témoins implantées au mois de novembre en fonction des étages foliaires

Pour cette modalité de semis, ce ne sont plus les feuilles F6, F7 et F8 mais les F5, F4 et F3 qui ont été les plus exposées aux attaques. On remarque également que Benchmark a déclaré la maladie plus tardivement et sur une plus courte période (du 23 jusqu'au 30 mai).

En début de saison et pour les parcelles témoins implantées en novembre de la variété Kws-Smart (figure 18), ce sont principalement la F6 (18%) et la F5 (18%) qui ont été atteintes. La maladie s'est également déclarée sur la F4 (7%) et dans une moindre mesure sur la F3 (3%) et la F2 (3%).

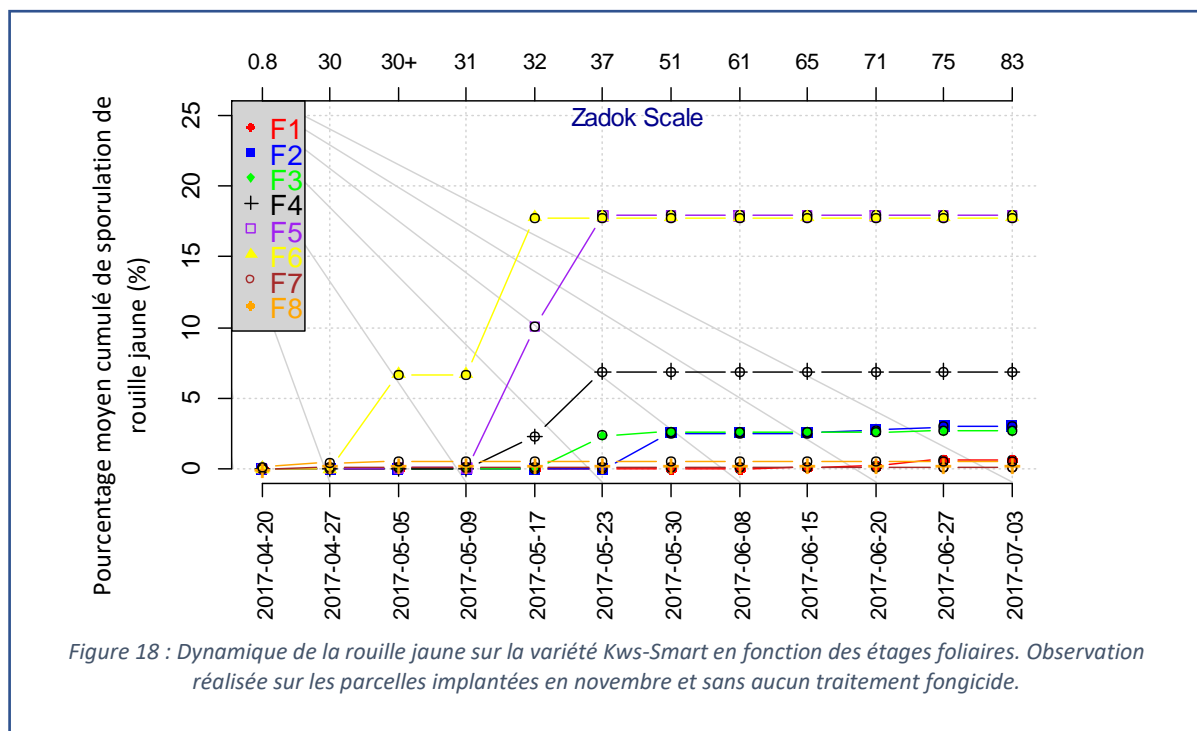


Figure 18 : Dynamique de la rouille jaune sur la variété Kws-Smart en fonction des étages foliaires. Observation réalisée sur les parcelles implantées en novembre et sans aucun traitement fongicide.

La figure 19 permet d'expliquer les hausses observées durant la période d'intérêt sur les F5 et F6 de la variété Kws-Smart en parcelles témoins implantées au mois de novembre.

On comprend dès lors que la sévérité des symptômes est plus importante en F6 qu'en F5. On s'aperçoit également que le nombre de F6 touchées le 17 mai est moins important que le nombre de F5 alors que le 5 mai les F6 étaient plus souvent et plus gravement atteintes. Ceci laisse supposer qu'à la date du 17 mai, les F6 commencent à entrer en sénescence.

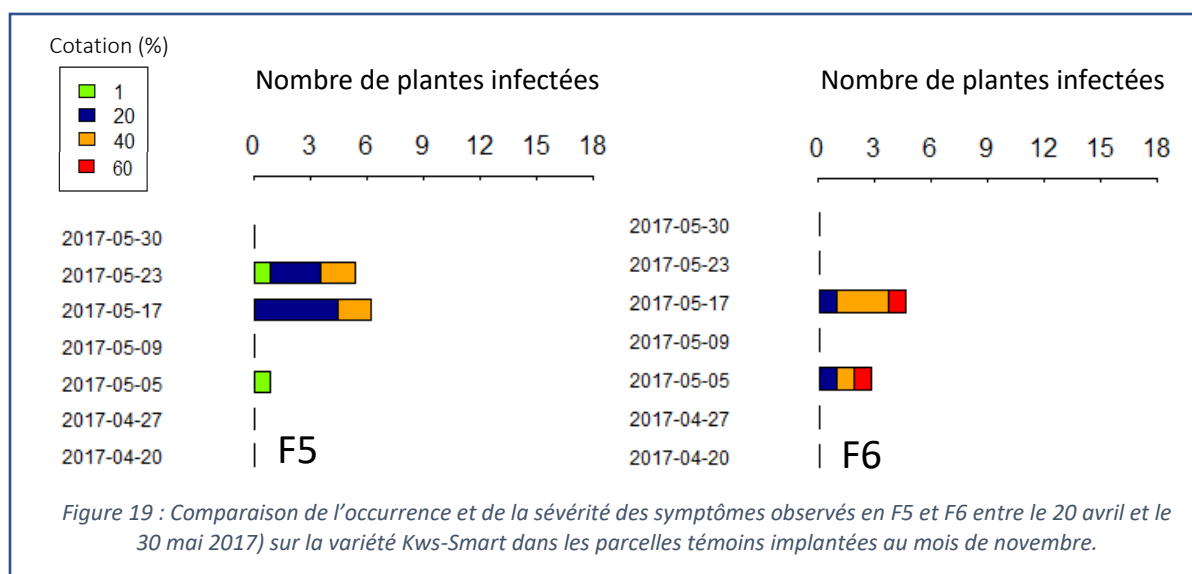


Figure 19 : Comparaison de l'occurrence et de la sévérité des symptômes observés en F5 et F6 entre le 20 avril et le 30 mai 2017) sur la variété Kws-Smart dans les parcelles témoins implantées au mois de novembre.

La comparaison de l'occurrence et de la sévérité des dégâts ne sera pas présentée pour les variétés Benchmark, le pourcentage de rouille jaune étant en effet trop faible.

Impact de la date de semis de décembre :

De l'observation des courbes se rapportant à Kws-Smart (figure 20), il ressort que le semis de décembre entraîne une pression de rouille jaune presque deux fois plus élevée que pour les deux autres dates de semis. D'autant que pour les mêmes raisons qu'en semis de novembre, le cumul est sous-estimé. À la date du 9 mai 2017, les relevés n'avaient en effet pas pu être réalisés dans les parcelles implantées en novembre et en décembre. Ces données manquantes sont par ailleurs observables sur le graphique. Entre le 5 et le 9 mai on observe un pallier dans la courbe évolutive.

Cependant, pour les autres variétés la tendance est à la stabilité. En effet, la pression de rouille en Bergamo apparaît comme étant comparable à celle observée dans les autres modalités. De plus, Tobak et Edgar se sont montrés encore une fois, les plus résistantes (pression de rouille jaune < 1%).

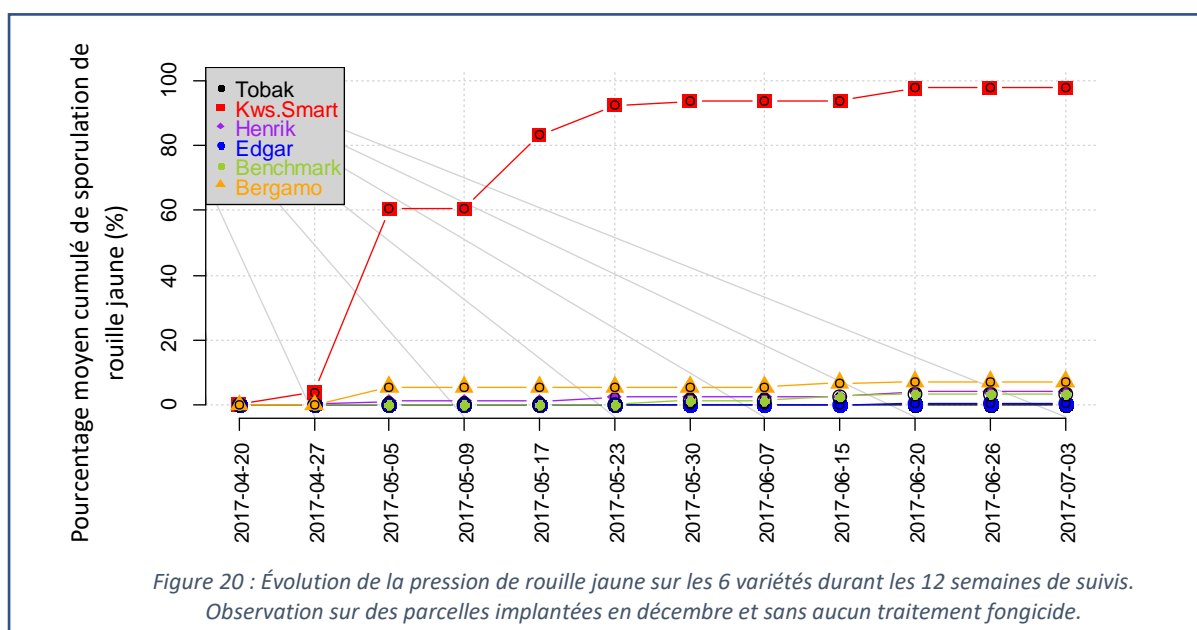


Figure 20 : Évolution de la pression de rouille jaune sur les 6 variétés durant les 12 semaines de suivis. Observation sur des parcelles implantées en décembre et sans aucun traitement fongicide.

L'évolution de la rouille jaune sur les différents étages foliaires de la variété Kws-Smart est représentée à la figure 21.

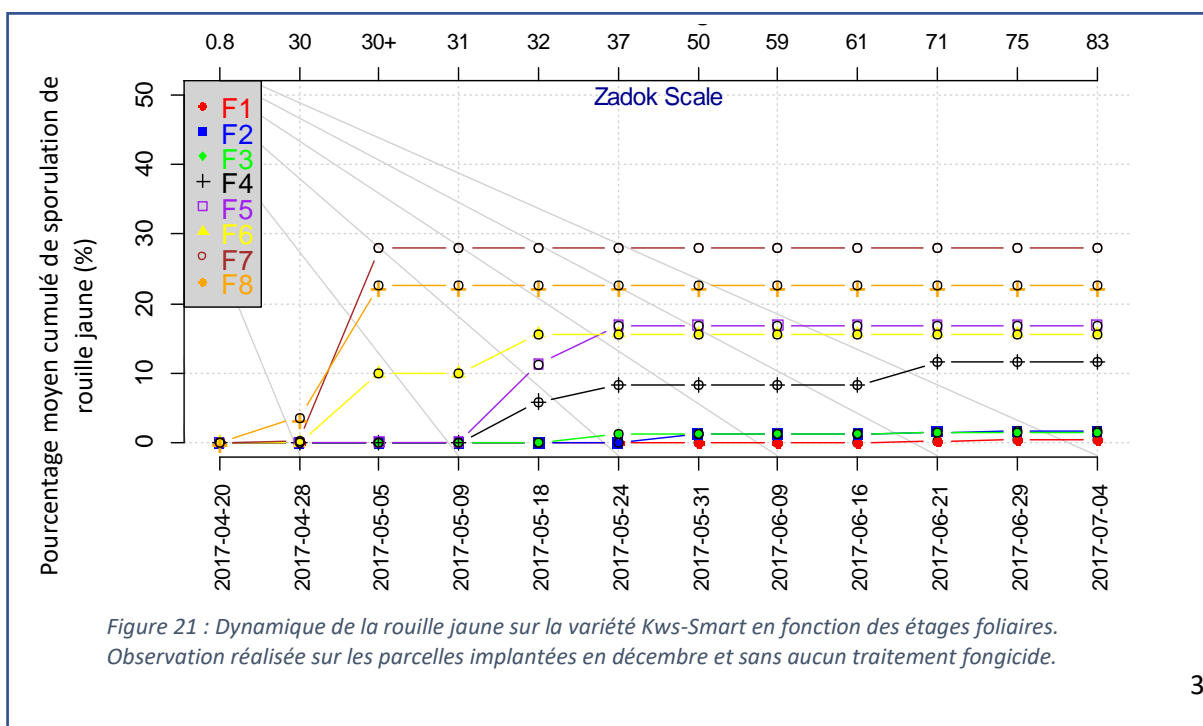
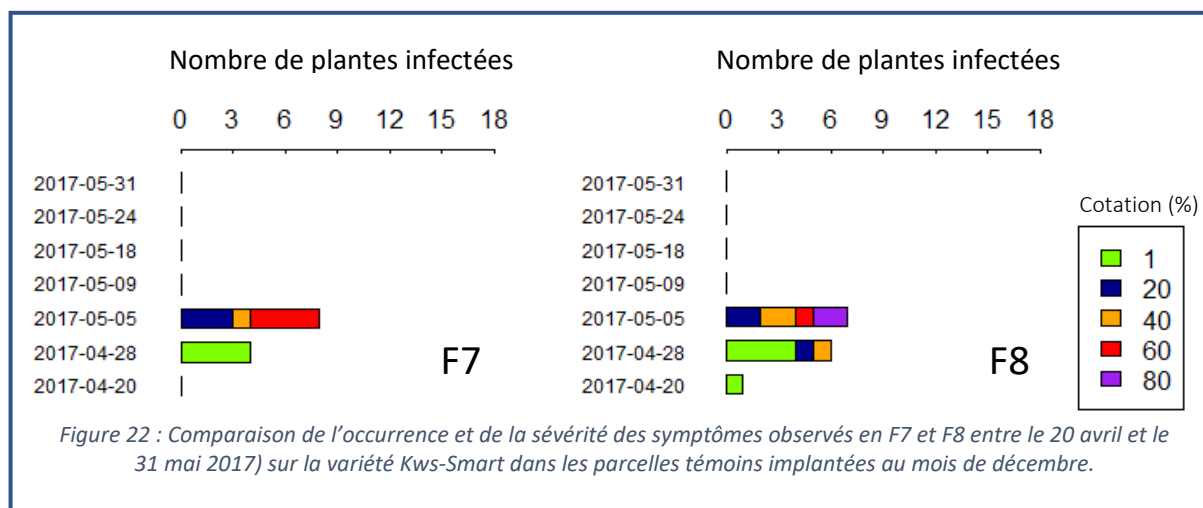


Figure 21 : Dynamique de la rouille jaune sur la variété Kws-Smart en fonction des étages foliaires. Observation réalisée sur les parcelles implantées en décembre et sans aucun traitement fongicide.

Comparativement aux autres modalités de semis, ce sont essentiellement les attaques sur les F8 et F7 qui ont été importantes, la sévérité des symptômes pour les F6 et F5 étant du même ordre. On relève également le même intervalle de temps (05 mai-24 mai) au cours duquel la rouille jaune se manifeste.

La figure 22 compare l'occurrence et la sévérité des symptômes observés en F7 et F8 (entre le 20 avril et le 31 mai 2017) sur la variété Kws-Smart dans les parcelles témoins implantées au mois de décembre.

On comprend dès lors que la sévérité des symptômes est plus importante et plus précoce en F8 qu'en F7.



Le tableau 9 résume les comportements relatifs des six variétés en fonction des dates auxquelles elles ont été semées.

Tableau 9 : Pression moyenne de rouille jaune au terme des 12 semaines (%)

	Tobak	Kws-Smart	Henrik	Edgar	Benchmark	Bergamo
FH17-01	0*	57	0*	0*	4	8
FH17-02	0*	50	4	3	13	6
FH17-03	0*	98	4	0*	3	7

* Présence de rouille jaune < 0.6%

Kws-Smart apparaît comme étant la plus sensible et ce pour les trois modalités de semis. À *contrario*, Tobak et Edgar se distinguent des autres par leur résistance.

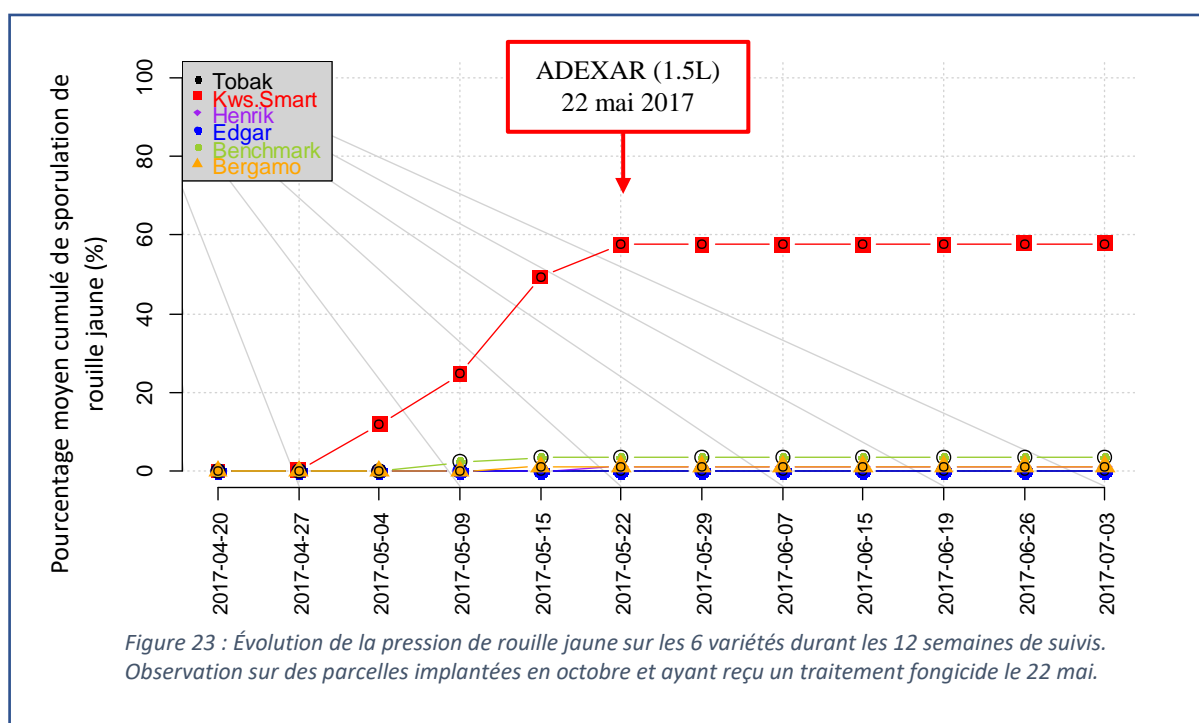
L'annexe I permet une comparaison avec les données relevées par Monsieur Rodrigo Meza dans le cadre des essais menés pour le Livre Blanc Céréales. Elles présentent également l'avantage de fournir une information quant au comportement relatif des variétés face à la rouille jaune en sortie d'hiver.

4.3.3. Evaluation de l'efficacité des traitements :

Cette section a pour objectif d'étudier les effets des traitements sur la pression de rouille jaune. Pour ce faire, les résultats seront présentés sous la forme de graphiques reprenant l'évolution de la maladie sur chaque variété, dans les parcelles traitées (T1 et T2). Les courbes de pression cumulée de rouille brune sont à comparer avec celles du graphique construit sur base des observations réalisées sur les parcelles témoins (T0) de la figure 23.

Pour des raisons pratiques, les réponses aux traitements ne seront présentées que pour les parcelles implantées en octobre.

Réponse au traitement unique (T1) :



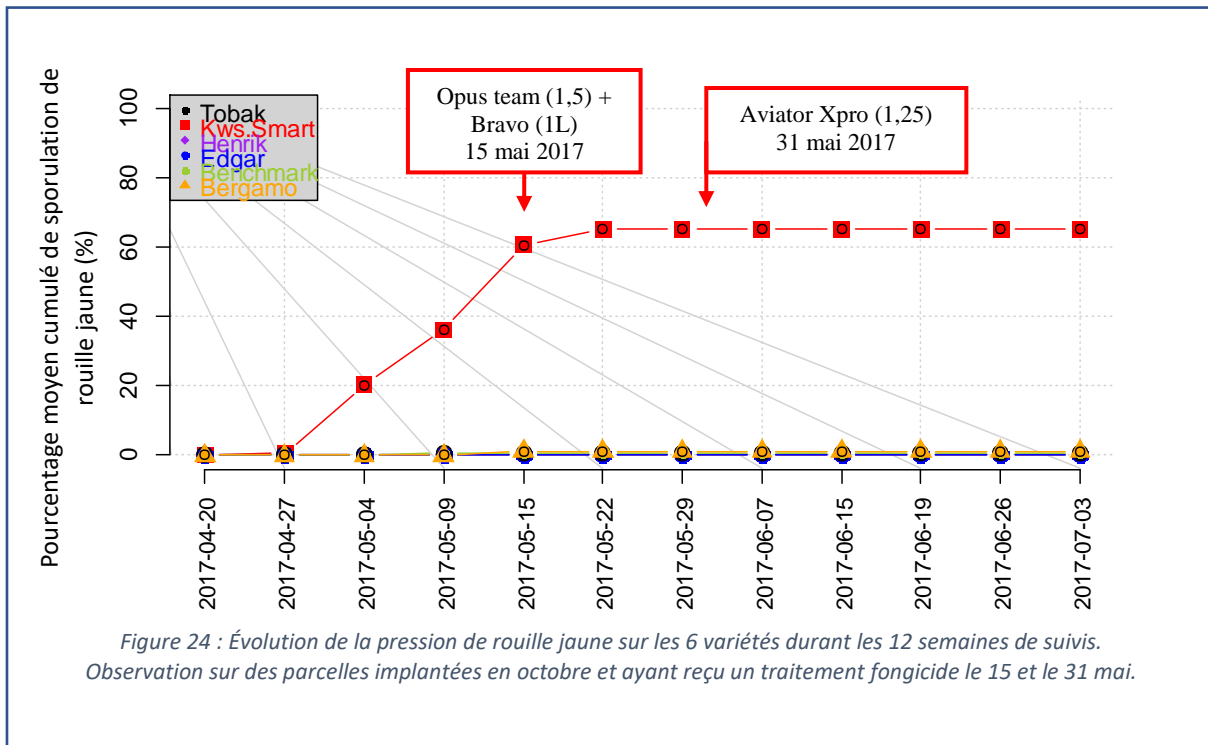
En ce qui concerne la première date de semis, aucune différence apparente n'a pu être établie entre les parcelles témoins et les parcelles ayant bénéficiés d'un traitement le 22 mai 2017, la pression de rouille jaune étant similaire. En effet, au terme de ces 12 semaines de relevés, la pression moyenne totale de rouille jaune pour la variété Kws-Smart était de 57% en parcelles témoins (T0) et de 58% pour les parcelles sur lesquelles un traitement a été appliqué (T1).

La réponse au traitement serait donc de +1%, l'application du traitement augmenterait donc le pourcentage de rouille jaune, soit l'effet inverse attendu. Cette différence entre T0 et T1 est probablement non significative.

4.3.4. Réponse au double traitement (T2) :

La figure 24 rend compte de l'impact du double traitement (T2) sur la pression de rouille jaune sur les 6 variétés durant les 12 semaines de suivi dans les parcelles implantées en octobre et ayant reçu un traitement fongicide le 15 et le 31 mai.

Dans le cas présent, on remarque que la pression de rouille jaune n'a plus augmenté à partir du 22 mai 2017.



4.3.5. Discussions générales sur la rouille jaune :

A. Dynamique et pression :

Avec l'avènement de la race Warrior, la rouille jaune fait systématiquement son apparition sur les variétés les plus sensibles depuis 2014 (Bataille, 2017). Cette année n'a pas fait office d'exception.

Durant les douze semaines de suivis, la rouille jaune a été détectée du 20 avril au 31 mai 2017. Sur certaines variétés elle a été très ponctuellement (quelques pustules sur les trois répétitions) observée après la mi-juin.

Comme cela avait été mentionné dans la partie bibliographie du travail, les premiers symptômes de la maladie sont observables une semaine après l'infection et la sporulation 12 à 14 jours après (CHEN W et al.,2014). En d'autres termes, les pustules observées le 15 mai sont le résultat d'une infection ayant eu lieu début mai.

Or, du 1^{er} au 14 mai, les températures moyennes étaient à chaque fois supérieures à 7°C, température minimale de germination (Bataille et al.,2015). La présence d'eau libre pendant au moins 3 heures est également indispensable. Cette condition est elle aussi remplie puisqu'il y a eu sur cette période plusieurs événements pluvieux.

Durant la période de latence, la température optimale doit se situer entre 13 et 16°C avec une humidité relative supérieure à 50% (CHEN W et al.,2014).

L'observation des données montre que durant ces 14 jours, les conditions ont toutes été réunies et furent particulièrement favorables au pathogène.

B. Comparaison variétale :

L'occurrence et la sévérité des symptômes d'une infection fongique étant directement liées à la sensibilité variétale, les résultats variétaux attendus en rouille jaune étaient (de la plus résistante à la plus sensible) : Tobak, Kws-Smart, Henrik, Edgar, Bergamo et Benchmark (Bodson & Watillon,2017).

Kws-Smart : Suite aux observations réalisées aux saisons culturales précédente, il avait été attribué à KWS-Smart une cote de résistance de 8.7, note qui correspond à une bonne tolérance à la maladie (Bodson & Watillon,2017). Sur les six variétés, elle était en deuxième position en termes de résistance.

Le cultivar faisait par ailleurs partie des variétés recommandées pour la saison 2016-2017 et avait été classée dans le Groupe « Production Intégrée ». Ce groupe représente les variétés qui répondent aux exigences de la production intégrée, les critères sont notamment : la présence de la variété depuis 3 ans au moins dans les essais, une bonne tolérance à la septoriose (cotation > 6), à la rouille jaune (cotation >7) et à la verse (cotation >7). (Heens, 2016 ; Bodson & Watillon,2017)

Kws-Smart s'était montré jusqu'ici tolérante, voir résistante, ces trois dernières années. Elle avait successivement résisté aux souches warrior 1 (2014), warrior 3 (2015) et warrior « ? » (2016) (Jacquemin et al, 2016).

Pourtant, lors de cette saison culturale elle a présenté un caractère sensible face à la rouille jaune. Ce fût par ailleurs, sur les six variétés suivies, celle qui comportait les sévérités d'attaques les plus importantes (entre **50 et 98 %** selon les dates de semis).

Les relevés réalisés plus tôt dans la saison par Rodrigo Meza dans le cadre de la convention PIC montrent que la rouille jaune était présente dans les parcelles du cultivar Kws-Smart à partir du 3 avril 2017 et ce dans les trois dates de semis.

La pression élevée observée sur la variétés Kws-Smart suggère qu'elle devra faire l'objet d'une surveillance pour les années culturales suivantes. Cependant, les feuilles principalement atteintes cette année étaient les feuilles basses (les feuilles du tallage (F8, F7 et F6) et les F5 et F4), la dernière feuille n'étant pas ou peu touchée [0 : 1%]. L'évolution du pathogène sur Kws-Smart s'est en effet arrêté le 29 mai (stade 53), épargnant ainsi la F1.

Benchmark : Suite aux observations réalisées aux saisons culturales précédente, il avait été attribué à Benchmark une cote de résistance de 4.8, note qui correspond à une sensibilité très élevée à la maladie (Bodson & Watillon,2017). Des six variétés, c'était d'ailleurs celle qui avait la cote de résistance la plus basse.

Pourtant, la maladie s'est manifestée dans des proportions relativement faibles, entre **3 et 13 %** en fonction de la date de semis. Les relevés réalisés par Rodrigo Meza montrent également qu'en sortie d'hiver la rouille jaune n'a été détecté sur Benchmark qu'une seule fois (10 avril) et seulement en semis de décembre.

Bergamo : Suite aux observations réalisées aux saisons culturales précédente, il avait été attribué à Benchmark une cote de résistance de 7.6, note qui correspond à une tolérance moyenne à la maladie (Bodson & Watillon,2017). Sur les six variétés elle était en deuxième position en termes de sensibilité.

La rouille jaune était présente mais à des taux relativement faibles, entre **6 et 8 %** selon les dates de semis. Les relevés de Mr Meza indiquent que la maladie était présente dans les parcelle de ce cultivar le 10 avril, elle n'aurait ensuite que faiblement réapparu à partir du 8 mai.

Tenant compte de la pression relative subie par Bergamo dans les conditions culturales précédemment décrites, il semble par conséquent que la rouille jaune n'ait pas constitué une menace sérieuse pour ce cultivar dans les présentes conditions culturales de cette année.

Henrik : la cote de résistance d'Henrik est de 8.7, soit une note qui correspond à une bonne tolérance à la maladie (Bodson & Watillon,2017).

Bien que présente, la rouille jaune était présente à des taux faibles, entre **0 et 4 %** selon les dates de semis. Les relevés de Mr Meza indiquent que la maladie était présente en sortie d'hiver dans les parcelles d'Henrik. Les résultats obtenus cette année confirme donc son caractère tolérant.

Edgar : la cote de résistance d'Edgar est de 8.7, soit une note qui correspond à une bonne tolérance à la maladie (Bodson & Watillon,2017).

Les résultats de la présente étude montrent que la variété Edgar appartient au type de variété dont la résistance s'exprime dès le stade plantule et ce tout au long de la croissance de la plante. En effet, le taux de rouille jaune relevé dans les parcelles de la variété Edgar était très bas, il se situait entre **0 et 3%** en fonction des dates de semis et les relevés de Mr Meza indiquent que la maladie n'était pas présente dans les parcelles en sortie d'hiver. Les résultats obtenus cette année confirment donc son caractère tolérant.

Tobak : la cote de résistance de Tobak est de 9, soit une note qui correspond à une très bonne tolérance à la maladie (Bodson & Watillon, 2017). Des six variétés, c'était d'ailleurs celle qui avait la cote de résistance la plus élevée.

Bien que la rouille jaune ait été ponctuellement présente, la pression moyenne cumulée sur les douze semaines de relevée était nulle. De plus, les relevés de Mr Meza indiquent que la maladie n'était pas présente dans les parcelles en sortie d'hiver. Comme pour Edgar, les résultats suggèrent que la variété Tobak appartient au type de variété dont la résistance s'exprime dès le stade plantule et ce tout au long de la croissance de la plante. Les résultats obtenus cette année pour la variété Tobak confirment par conséquent son caractère tolérant.

En conclusion, les variétés **Tobak**, **Henrik** et **Edgar** ont exprimé le comportement attendu, elles n'ont développé que très peu de symptômes de la rouille jaune. Il en est de même pour **Bergamo**, moyennement tolérante à la rouille jaune, elle a exprimé la maladie dans des proportions relativement faible. En revanche, la variété **Kws-Smart** n'a pas eu le comportement attendu.

L'explication réside sûrement dans le type de souche de rouille jaune présente cette année. En effet, les mêmes constatations avaient été faites en 2016. Certaines variétés tolérantes devenaient sensibles et inversement. La race en présence était toujours du type « Warrior » mais la souche avait muté (Jacquemin, et al, 2016). Le comportement de **Benchmark** renforce cette théorie. Supposée comme étant la plus sensible des six variétés (cote de résistance de 4.8), la maladie s'est pourtant manifestée dans des proportions relativement faibles pour deux des trois modalités de semis (3 et 4%) et de manière modérée en semis de novembre (13%).

C. Effet de la date de semis :

Le facteur date de semis n'a pas eu les mêmes répercussions sur toutes les variétés. Son impact fût en effet fonction du caractère sensible ou non du cultivar en présence.

Néanmoins, en ce qui concerne la rouille jaune, la date de semis la plus précoce (octobre) est apparue comme étant un peu moins favorable que les deux autres modalités au développement du pathogène pour cette saison culturale.

Il semble que le semis de décembre fût beaucoup plus propice au développement du pathogène en variété sensible (Kws-Smart), la pression moyenne cumulée sur les douze semaines de relevée avait doublé par rapport aux semis d'octobre et de novembre. Pour les autres cultivars les différences furent par contre très peu marquées.

Dans les trois modalités de semis, Tobak a présenté des taux de rouille jaune proches de zéro.

Ces résultats semblent donc aller dans le sens de la théorie selon laquelle les semis de novembre et de décembre seraient plus favorables au développement de la rouille jaune (Bataille et al, 2015). Cependant, le nombre de variétés testées présentement n'est pas suffisamment important pour tirer des conclusions. Ensuite, les observations de rouille jaune réalisées pour le Livre Blanc Céréale se sont réalisées au stade redressement (30) et ce pour l'ensemble de la parcelle tandis que dans cette étude elles portent sur des individus et leur pression moyenne cumulée de rouille jaune sur douze semaines de relevées.

D. Réponse au traitement :

Réponse au traitement unique en semis d'octobre : celle-ci serait de +1%, ce qui signifierait que l'application du traitement augmente le pourcentage de rouille jaune. Cette différence entre les deux modalités étant très faible, elle ne peut être attribuée à cette application. Il est en effet fort probable que celle-ci résulte de la variabilité intraspécifique ou de l'effet de facteurs non contrôlables.

Pour autant, cela ne signifie pas que le traitement n'a aucun effet sur le pathogène. Cette absence de réponse s'explique plus par le positionnement du traitement que par sa nature. En effet, l'observation des parcelles témoins révèle que les conditions les plus favorables au développement de la rouille jaune semblent avoir été réunies entre le 27 avril et le 22 mai (pour le semis d'octobre). Après cette date, la pression parasitaire a naturellement chuté, rendant inutiles toutes interventions postérieures.

Puisque les mêmes constatations ont été faites sur les semis de novembre (FH17-02) et de décembre (FH17-03), la réponse au traitement unique (T1) pour les autres modalités de semis n'a pas été présentée dans cette partie.

Réponse au traitement unique en semis d'octobre : De la même manière que pour le T1, le positionnement des traitements (T2) ne permet pas réellement d'en évaluer la réponse, le délai entre l'application et la diminution naturel de la pression étant soit trop court soit nul.

Pour le traitement du 15 mai, il est néanmoins intéressant de tenter d'évaluer la réponse. Celle-ci serait de 7 % [$T2 - T0 = 65 - 58 = + 7 \%$]. Encore une fois, il serait erroné de dire que le double traitement agit positivement sur le développement de la maladie. Cette réponse peut être expliquée par les mêmes raisons que celles évoquées précédemment.

Plus précisément, l'observation de la pression semaine par semaine permet d'identifier l'origine de cette incohérence. En effet, si les graphiques cumulés s'avèrent intéressants sur bien des points, ils peuvent induire en erreur et doivent donc être interprétés avec précaution.

En regardant attentivement les résultats obtenus le 4 mai 2017, date antérieure aux traitements, on remarque des différences entre les 3 modalités de traitements. La pression de rouille jaune atteint respectivement 9%, 12% et 20%. Les résultats étant cumulés, cette différence se maintient jusqu'à la fin et ce même si la variabilité semble moins importante par la suite. Ce constat confirme donc l'hypothèse émise précédemment.

Pour éviter, ou du moins limiter ce problème de variabilité, il aurait peut-être fallu adapter l'échantillonnage et suivre davantage d'individus par combinaison. Cependant, certaines contraintes techniques n'ont pas permis cela. Celles-ci feront d'ailleurs l'objet d'une discussion plus loin dans ce travail où elles y seront explicitées.

Au vu des dates auxquelles les traitements ont été appliqués et des problèmes de variabilités, la réponse du double traitement n'a pas non plus été étudiée pour les autres dates de semis.

En conclusion : Dans le cas de cette saison culturale et pour la rouille jaune, il n'est pas possible d'évaluer la réponse des modalités de traitements, le délai entre les applications et la diminution naturel de la pression étant soit trop court soit nul.

4.4. La rouille Brune :

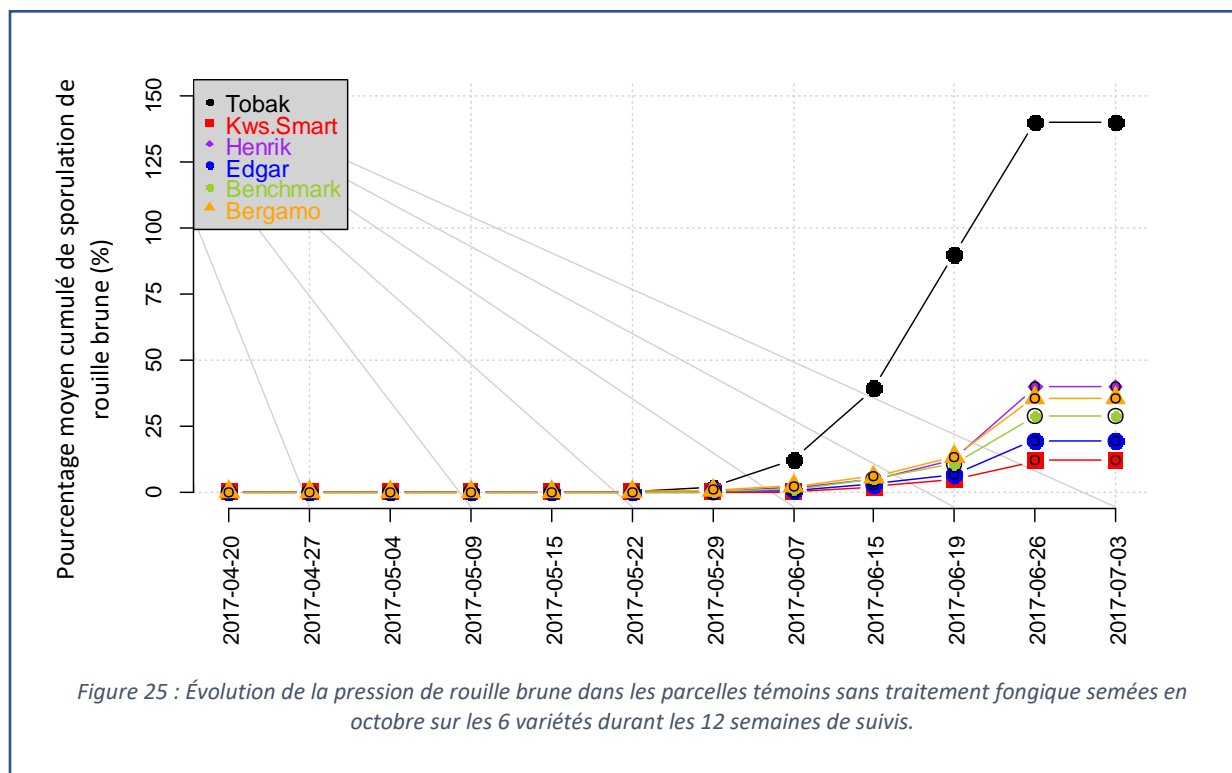
Le présent chapitre s'emploie à décrire la dynamique de la rouille brune au cours de la saison culturale 2016-2017. Il débutera par la comparaison du comportement relatif des six variétés suivies face à au pathogène. L'effet des dates de semis sur ces mêmes variétés sera ensuite abordé. Et pour finir, la réponse aux traitements sera étudiée et détaillée sur la variété la plus sensible.

4.4.1. Comparaisons variétales :

Semis du 25 octobre : *Puccinia recondita* a émergé fin mai. L'observation générale des parcelles témoins a néanmoins pu mettre en évidence la présence de symptômes sous forme de petites punctuations brunes sur toutes les variétés dès le 15 mai 2017. Cependant, ces petites tâches foliaires ne présentaient aucune fructification.

Le 22 mai les parcelles témoins Tobak, Edgar, Benchmark et Bergamo présentaient des pustules. Si la maladie ne s'est pas manifestée sur les plantes suivies en Kws-Smart et Henrik, elle a cependant ponctuellement été relevée sur des individus adjacents.

Dans le cas de la 1^{ère} date de semis, son expansion fût particulièrement importante entre le 15 et le 26 juin. La figure n°25 rend compte de son évolution sur les six variétés suivies du 20 avril au 3 juin 2015 dans les parcelles témoins sans traitement fongique implantée en octobre.



Comme attendu, Tobak ressort par sa forte sensibilité au pathogène (140%) tandis que Kws-Smart se distingue par sa tolérance (12%). L'écart en termes de pression moyenne cumulée entre la variété la plus sensible et la plus tolérante est donc de 128 %.

L'infection de rouille brune peut être qualifiée d'explosive sur cette variété. En effet, en seulement deux semaines (du 15 au 26 juin), la rouille brune a augmenté de 100 %.

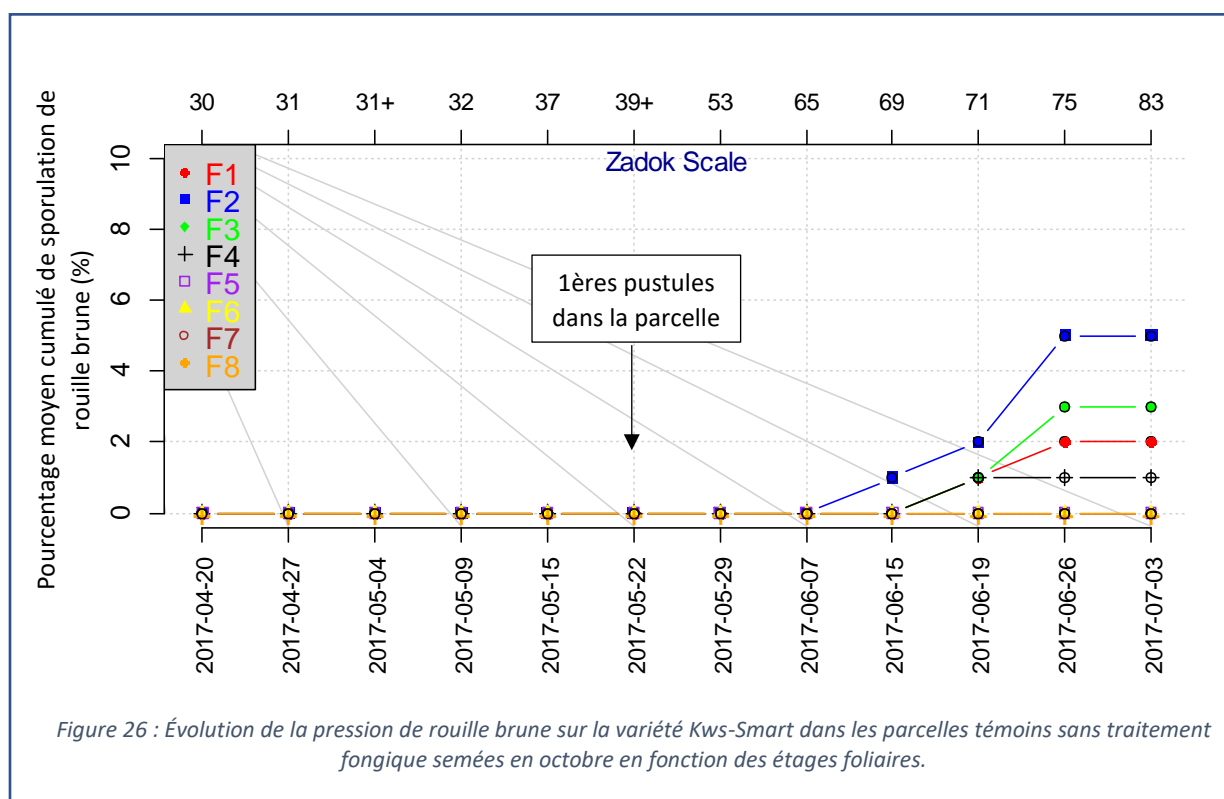
Le tableau (1) en annexe 2 donne l'évolution chiffrée de la rouille brune pour chaque variété (pour la plante totale) dans les parcelles témoins sans traitement fongique semées en octobre sur les 6 variétés durant les 12 semaines de suivi. Dès l'apparition de la rouille brune, Tobak se démarquait des autres, notamment par la vitesse d'expansion du pathogène.

La dynamique de la maladie est explicitée par les graphiques. Ceux-ci mettent en évidence l'évolution de la rouille brune en fonction des étages foliaires. Cette évolution ne sera pas détaillée pour toutes les variétés, seules les plus représentatives seront présentées : une variété tolérante (Kws-Smart), une variété moyennement sensible (Bergamo) ainsi qu'une variété sensible (Tobak).

Kws-Smart, un cultivar tolérant à la rouille brune :

Sur les plantes suivies, la maladie a été détectée le 15 juin (stade 69) sur les quatre premières feuilles mais l'infection a réellement débutée 3 semaines plus tôt, le 22 mai (stade 39+).

Sur la variété Kws-Smart, ce sont principalement la F3 (3%) et la F2 (5%) qui ont été atteintes par la maladie (Figure 26).

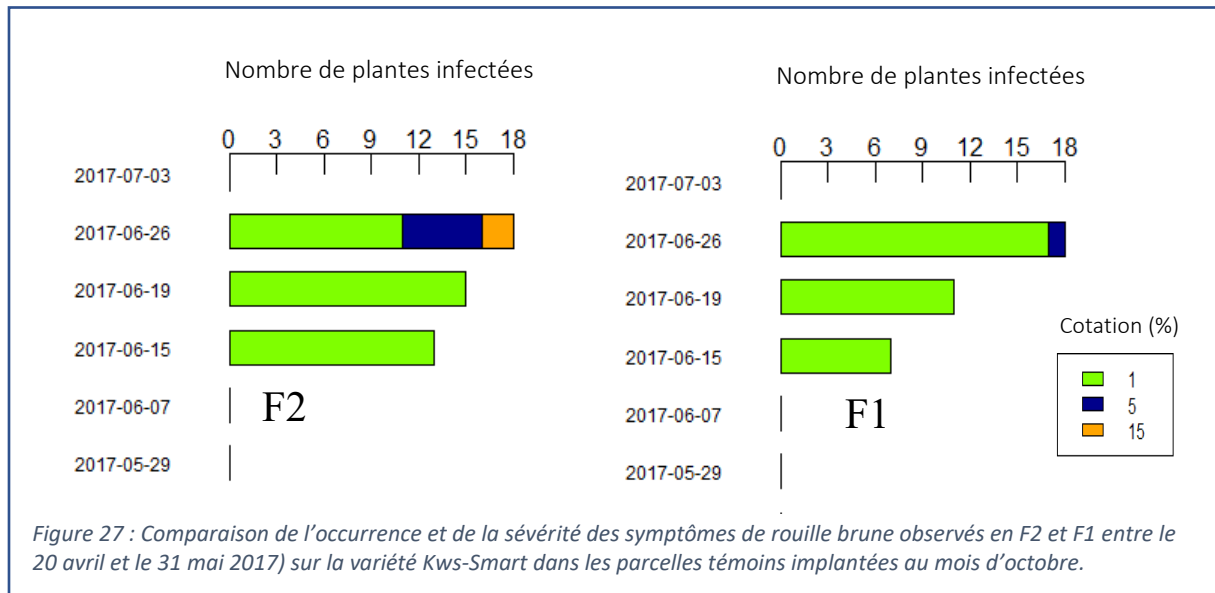


L'histogramme ci-dessous (figure 27) donne la proportion de chaque cotation attribuée à la F1 et la F2 durant la période où la maladie a été détectée. Celui-ci complète les informations fournies par le précédent graphique en donnant à la fois le nombre d'individus ayant développé la maladie ainsi que la sévérité des attaques.

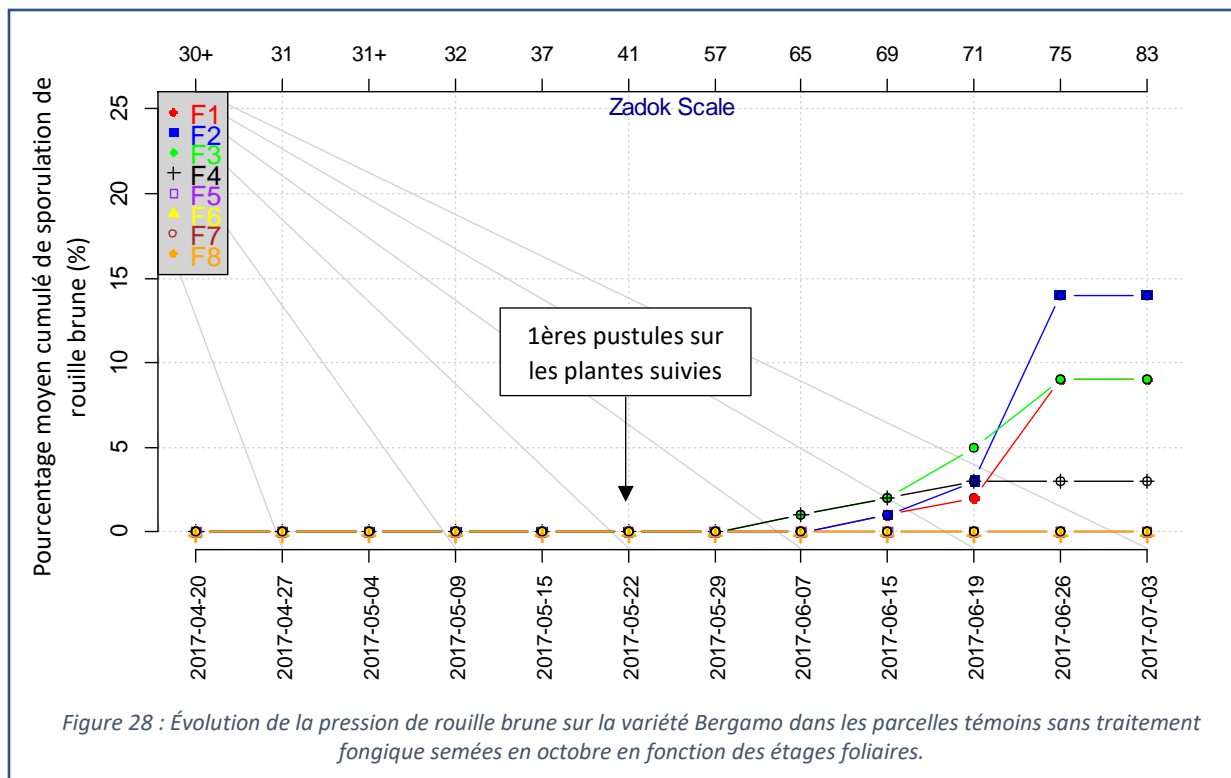
De plus, les courbes évolutives étant construites sur base de valeurs arrondies (cumul de moyennes), elles ne rendent pas toujours compte de l'apparition des premiers symptômes (qui sont bien souvent à une pression inférieure à 1). En revanche, l'histogramme (figure 27) le permet car il renseigne le nombre d'individus atteints sur les feuilles étudiées (F1 et F2).

Ainsi, la maladie ne fût pas détectée sur la F1 à partir du 19 juin (stade 71) mais bien à partir du 15 juin (stade 69).

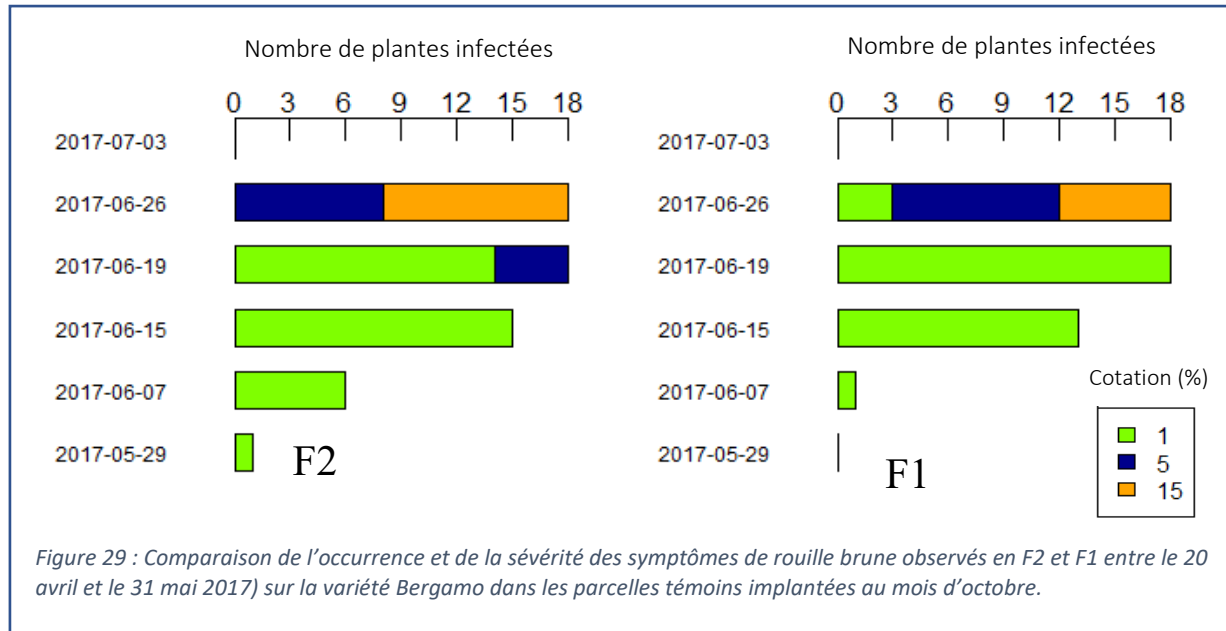
Le 26 juin (stade 75) la totalité des individus présentait les sporulations sur leur F1 et F2. Cependant, la sévérité des attaques était majoritairement faible sur la F1 (quelques pustules) et bien que la F2 soit la feuille la plus atteinte de toutes, peu d'entre elles avaient un pourcentage de sporulation supérieur à 5%.



Bergamo, un cultivar moyennement sensible à la rouille brune : Bergamo a montré les premiers signes de la maladie le 22 mai 2017 sur sa F5 (stade 41). Comme on peut le voir sur la figure 28, la F2 (14%) est encore une fois la plus touchée par la maladie. Cette fois-ci la F1 (9%) présente une proportion de pustules équivalente à la F3 (9%). On remarque également que le saut de rouille brune du 26 juin est plus important sur la F2 que sur les autres feuilles. La figure 29 permet de mieux interpréter ce saut.

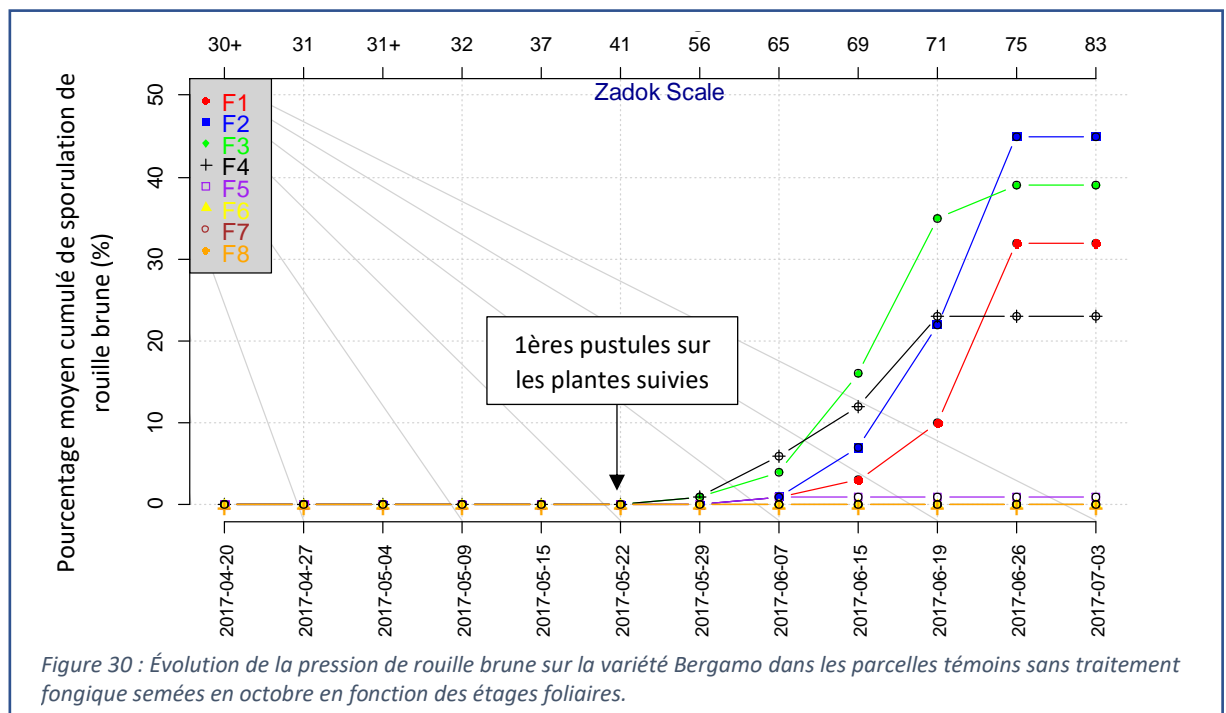


Cette hausse ne doit pas être attribuée au nombre de plantes infectées mais plutôt à la gravité des symptômes. En effet, le 19 juin toutes les F2 des individus appartenant au cultivar Bergamo avait développé la maladie mais la plupart ne présentaient que quelques pustules. Tandis qu'une semaine plus tard, un peu plus de la moitié des F2 avait obtenu une cote de 15.

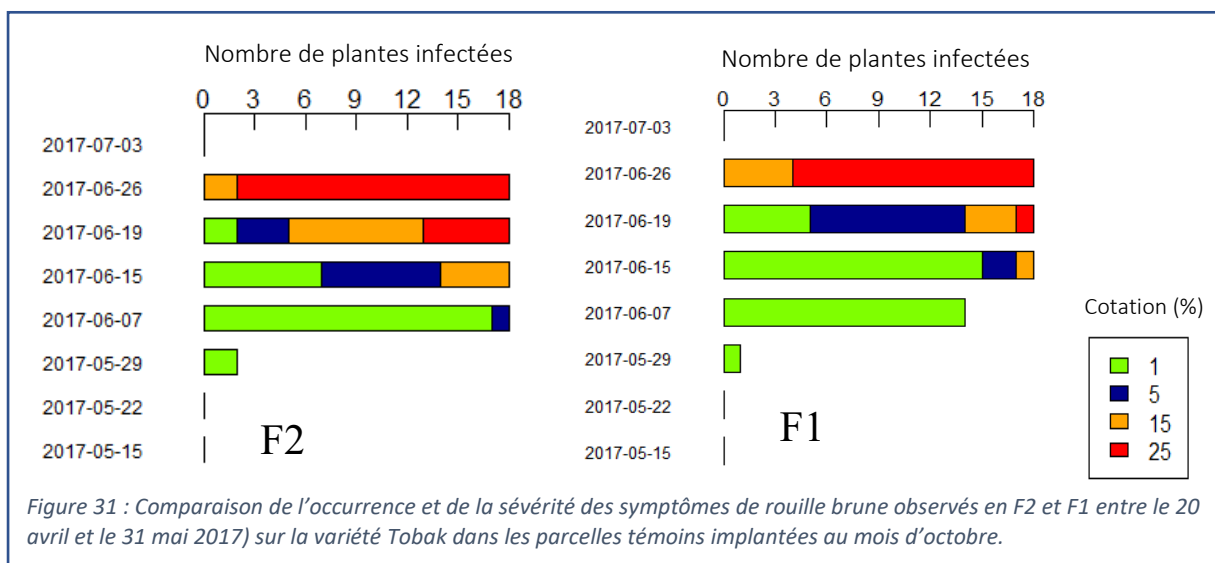


Tobak, un cultivar très sensible à la rouille brune :

En parcelle témoin les cinq feuilles ont développé la maladie mais ce sont essentiellement les quatre premières qui ont présenté un pourcentage élevé de sporulation. Comme pour les autres variétés, la F2 est la feuille présentant le plus de sporulation (45%). Cependant, la F1 a elle aussi subi une attaque sévère (32%). Le pourcentage d'attaque des feuilles par le pathogène a explosé entre le 19 et le 26 juin sur les F1 et F2.



Les histogrammes ci-dessous représentent l'évolution temporelle de la sévérité et de la gravité des infections de rouille brune sur les F1 et les F2.

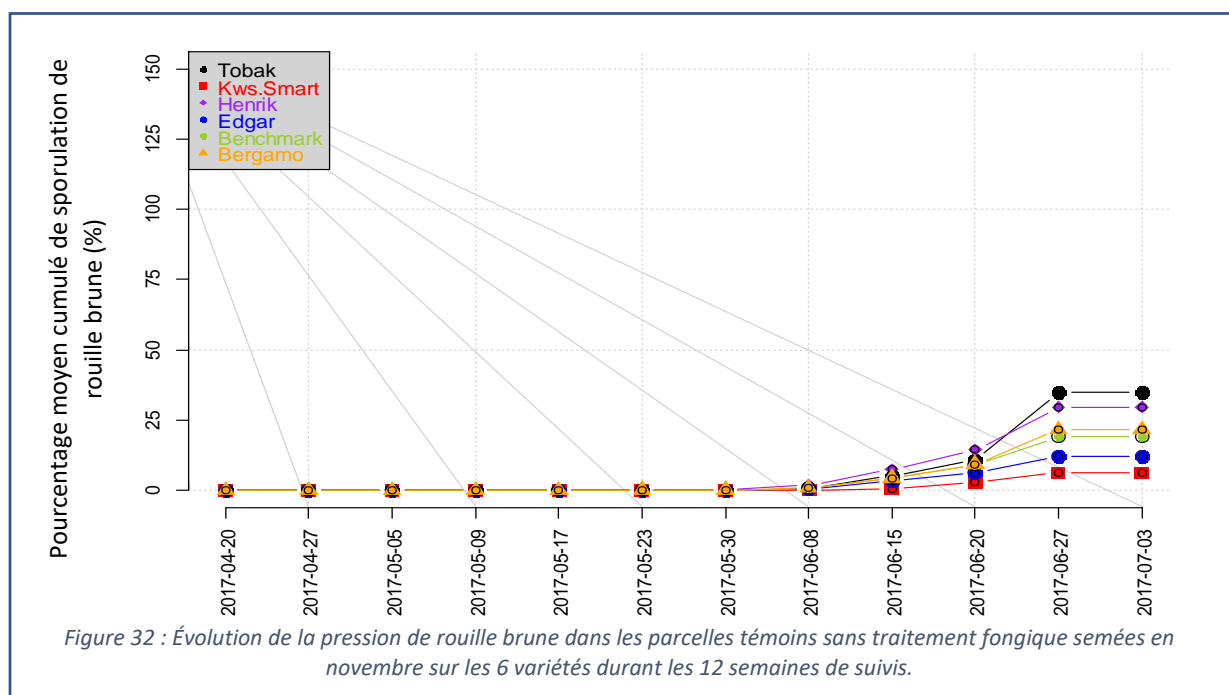


Dès le 7 juin (stade 65), les 18 individus suivis présentaient de la rouille brune sur leur F2, la cote généralement attribuée était en revanche la plus faible (1%). À partir du 15 juin (stade 69) la gravité des dégâts s'amplifiait et la proportion de feuilles ne présentant que quelques pustules diminuait considérablement. Le 26 juin 2017, 90% des F2 avait obtenu la cote maximale.

La comparaison de l'évolution de la gravité des symptômes en F1 avec ceux de la F2 révèle qu'il y a une semaine de décalage entre les deux feuilles jusqu'au 19 juin. La semaine suivante, la cote maximale était attribuée à 80% des F1.

4.5. Comparaisons des résultats pour les dates de semis :

Semis du 11 novembre : Si les semis de novembre ne semblaient pas avoir d'impact sur la pression de rouille jaune, elles eurent incontestablement un effet sur la pression de rouille brune (figure 32).



Cependant, la différence s'observe essentiellement sur la variété Tobak. Si en semis d'octobre elle présentait un écart très important avec les autres variétés (une pression 3 à 12 fois plus importante que pour les autres), en semis de novembre la pression de rouille brune était dans un ordre de grandeur comparable aux autres variétés.

On observe par contre le même ordre de sensibilité que dans le semis d'octobre, Tobak étant la variété la plus sensible et Kws-Smart la plus tolérante.

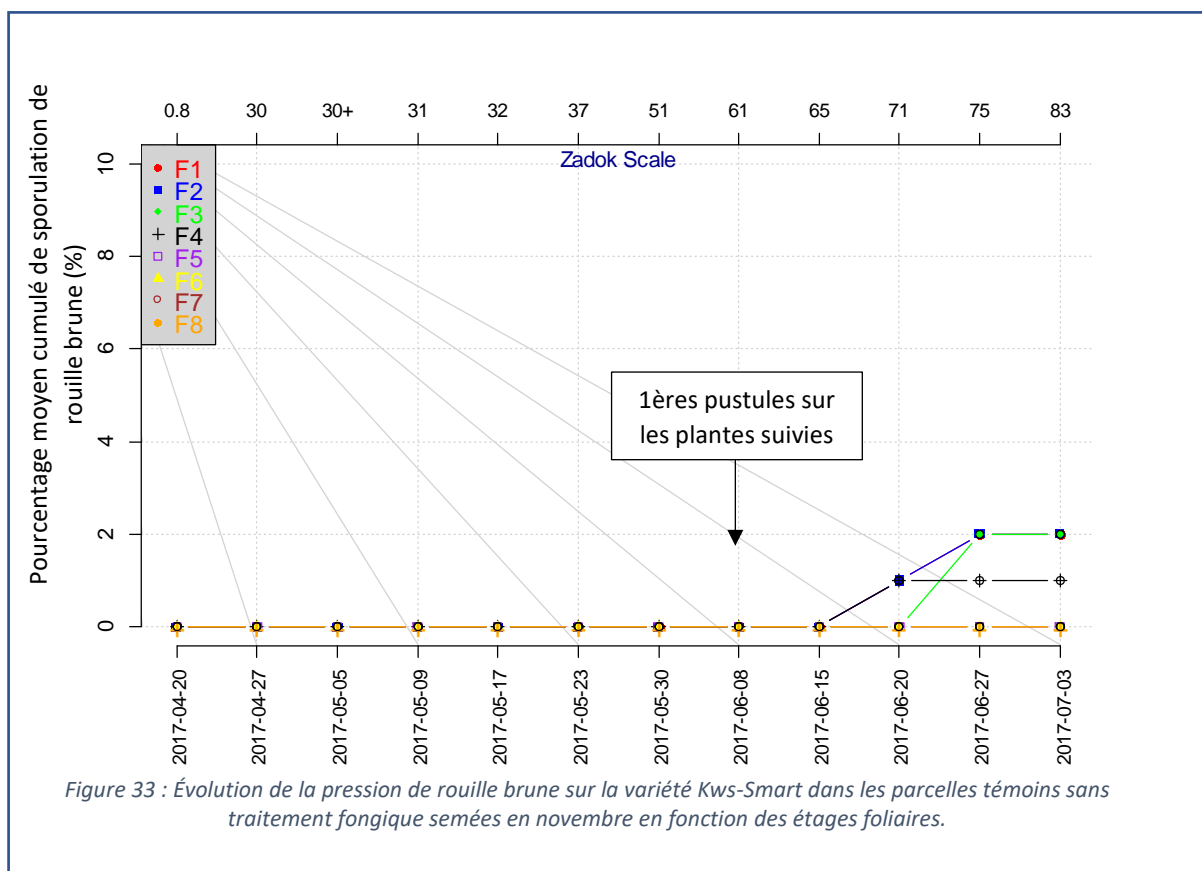
L'examen du tableau 2 (cf annexe 2) révèle une différence de 105% entre les deux modalités de semis pour le cultivar Tobak [FH17-01 – FH17-02 = 140 - 35%]. En revanche, les différences entre le semis d'octobre et de novembre sont moins importantes pour les autres variétés (un écart de 8 à 14%).

La pression de rouille brune sur la variété Kws-Smart qui pourtant n'était pas très élevée en semis d'octobre, a quand même chuté de moitié (12 - 6 = 6%).

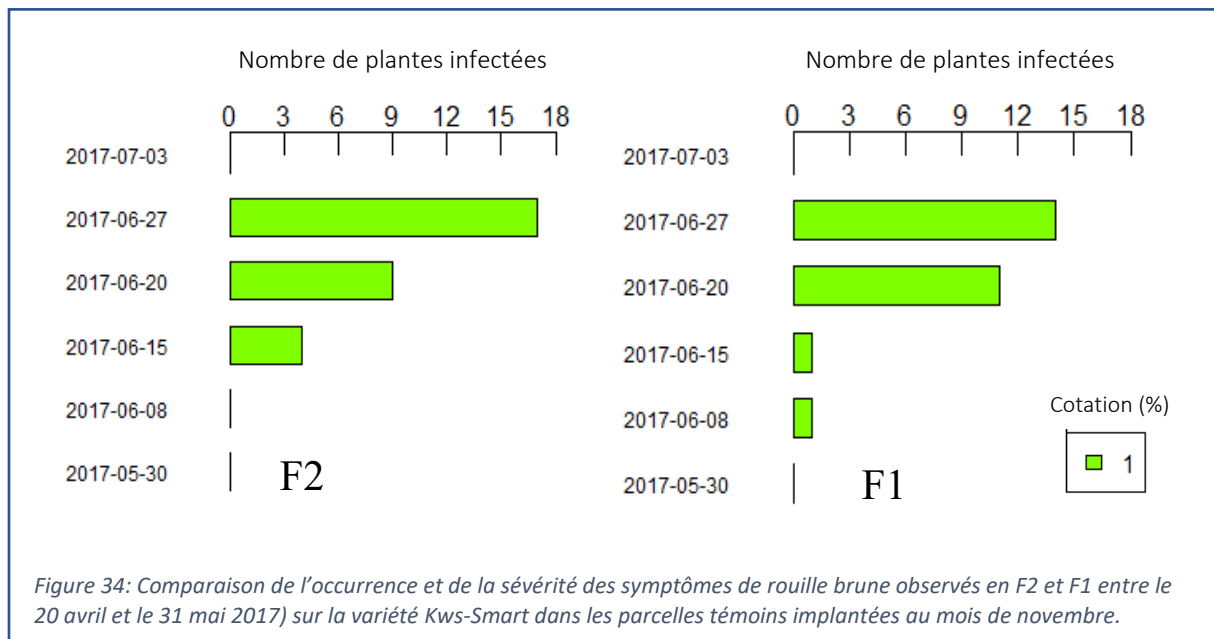
L'évolution de la rouille brune en fonction des étages foliaires sera présentée sur les trois mêmes variétés détaillées en semis d'octobre. (figures n°26, 28 et 30)

Kws-Smart, un cultivar tolérant à la rouille brune :

La rouille brune déjà faiblement présente dans les semis d'octobre en Kws-Smart, n'a pas été favorisée en semis de novembre, au contraire. Les premières pustules ont été détectées le 8 juin (stade 61), soit 2 semaines plus tard qu'en date de semis 1 (figure 33). Les feuilles infectées sont les quatre premières (la F1 n'est pas visible sur le graphique car elle est superposée par la F2).

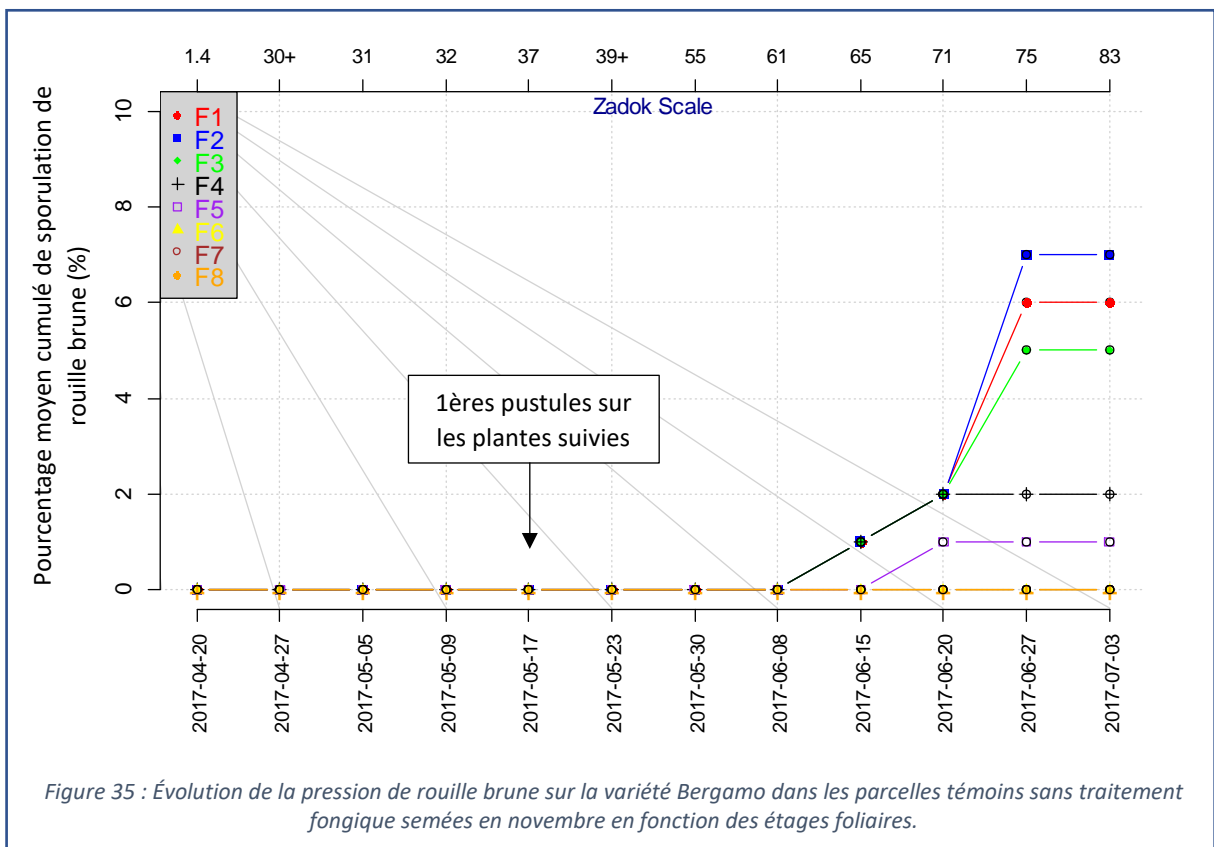


Avec cette combinaison (Kws-Smart x FH17-02), la F1 a été peu touchée par la maladie tant en occurrence qu'en sévérité tandis que la F2 fût à peine plus touchée (figure 34).



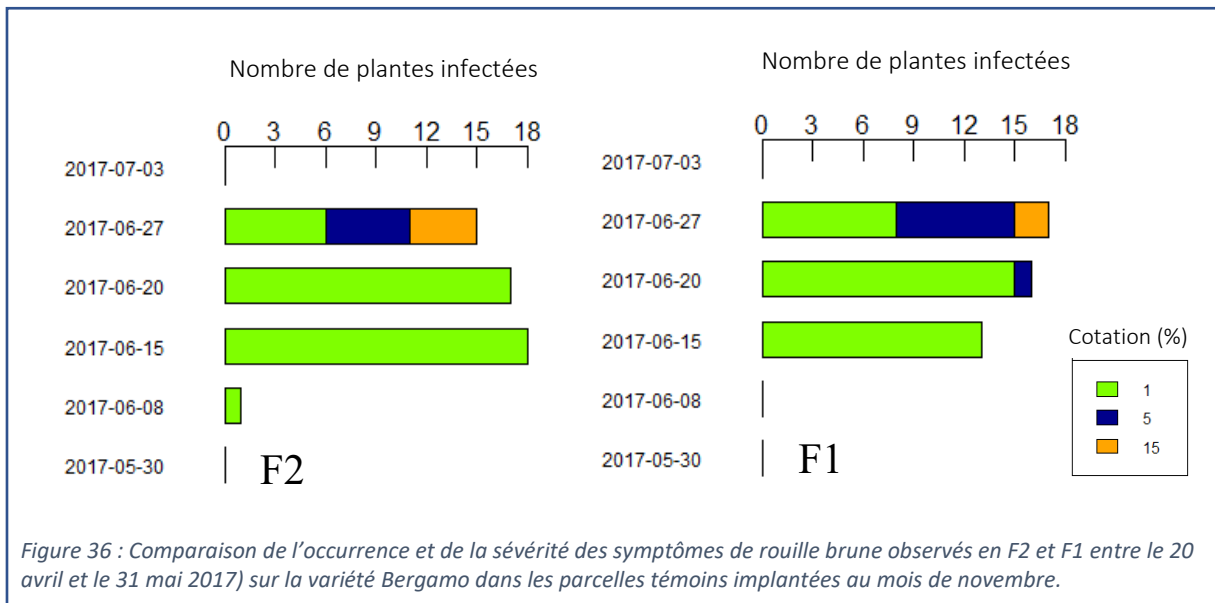
Bergamo, un cultivar moyennement sensible à la rouille brune :

Les premiers symptômes ont été relevés ponctuellement à partir du 17 mai (stade 37) sur les F6 et F5 (figure 35). Cependant, la maladie n'a réellement commencé à se manifester qu'à partir du 15 juin (stade 65) sur les quatre premières feuilles.



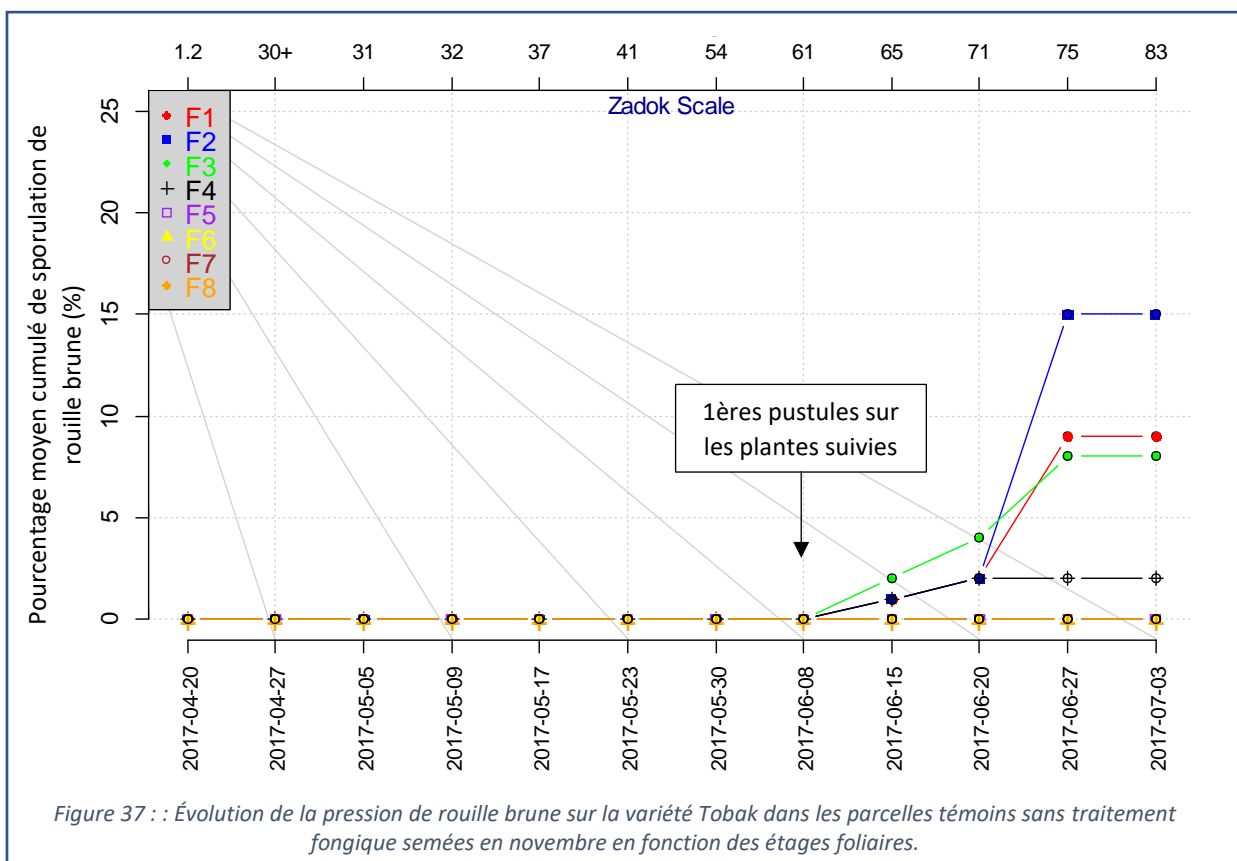
Les attaques les plus importantes ont eu lieu entre le 20 et le 27 juin 2017 sur les trois premières feuilles. Encore une fois, ce sont les cotations plus importantes et non le nombre d'individus atteint qui sont à l'origine de ce saut.

Si on s'intéresse plus en détail aux F1 et F2, on remarque que le nombre d'individus atteint augmente au cours du temps sur la F1 tandis qu'elle semble diminuer en F2 (figure 36). Ceci s'explique par la sénescence progressive des F2, ce phénomène n'était pas observé pour le semis d'octobre.



Tobak, un cultivar très sensible à la rouille brune :

Les 1ères pustules ont été relevées le 8 juin (stade 61), soit avec un décalage de 2 semaines avec le semis d'octobre (figure 37). Les feuilles les plus atteintes sont les trois premières, F1 (9%) et F8 (8%) le sont dans des proportions comparables tandis que la F2 presque deux fois plus.



Jusqu'au 20 juin le nombre d'individus infectés par la rouille brune et la gravité des symptômes étaient comparables pour les deux premières feuilles. En revanche, lors du relevé du 27 juin la surface couverte par la sporulation du pathogène apparaissait comme étant plus importante en F2 qu'en F1. C'est donc cette semaine qui explique pourquoi la F2 présente une pression la plus élevée de rouille brune aux termes de ces 12 semaines.

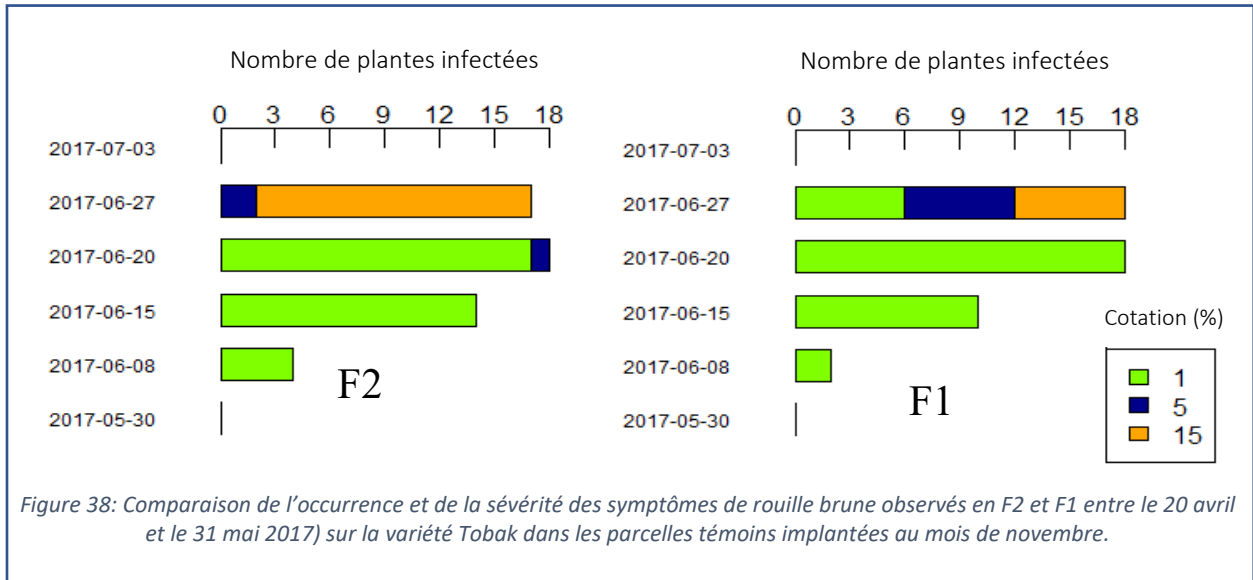


Figure 38: Comparaison de l'occurrence et de la sévérité des symptômes de rouille brune observés en F2 et F1 entre le 20 avril et le 31 mai 2017) sur la variété Tobak dans les parcelles témoins implantées au mois de novembre.

Semis du 14 décembre : Comme il est possible de l'observer sur le graphique suivant (figure 39), il semble que le semis de décembre ait lui aussi un impact positif sur la pression de rouille brune en comparaison avec celui d'octobre. Les différences avec le semis de novembre sont par contre plus contrastées et dépendraient du cultivar en présence.

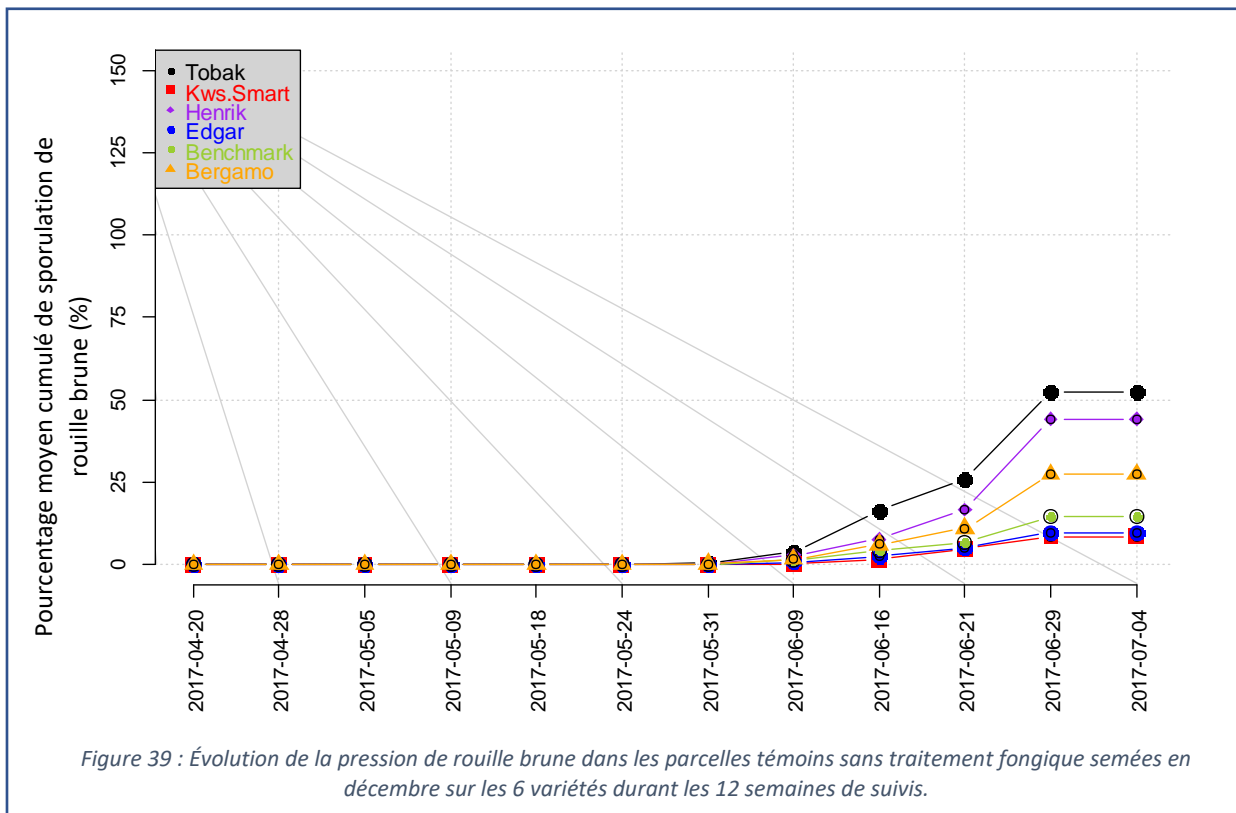


Figure 39 : Évolution de la pression de rouille brune dans les parcelles témoins sans traitement fongique semées en décembre sur les 6 variétés durant les 12 semaines de suivis.

Pour la moitié des cultivars la pression totale pour la plante entière est en dessous de 25% tandis que pour l'autre moitié elle est se situe entre 25 et 50%. Le comportement relatif des six variétés est identique aux dates de semis précédentes, Tobak étant toujours la variété la plus sensible et Kws-Smart la plus tolérante.

C'est entre le 21 et le 29 juin que le taux de rouille brune croît le plus, dans le cas de Tobak il double (il passe de 26% à 52%) (tableau 3 annexe 2).

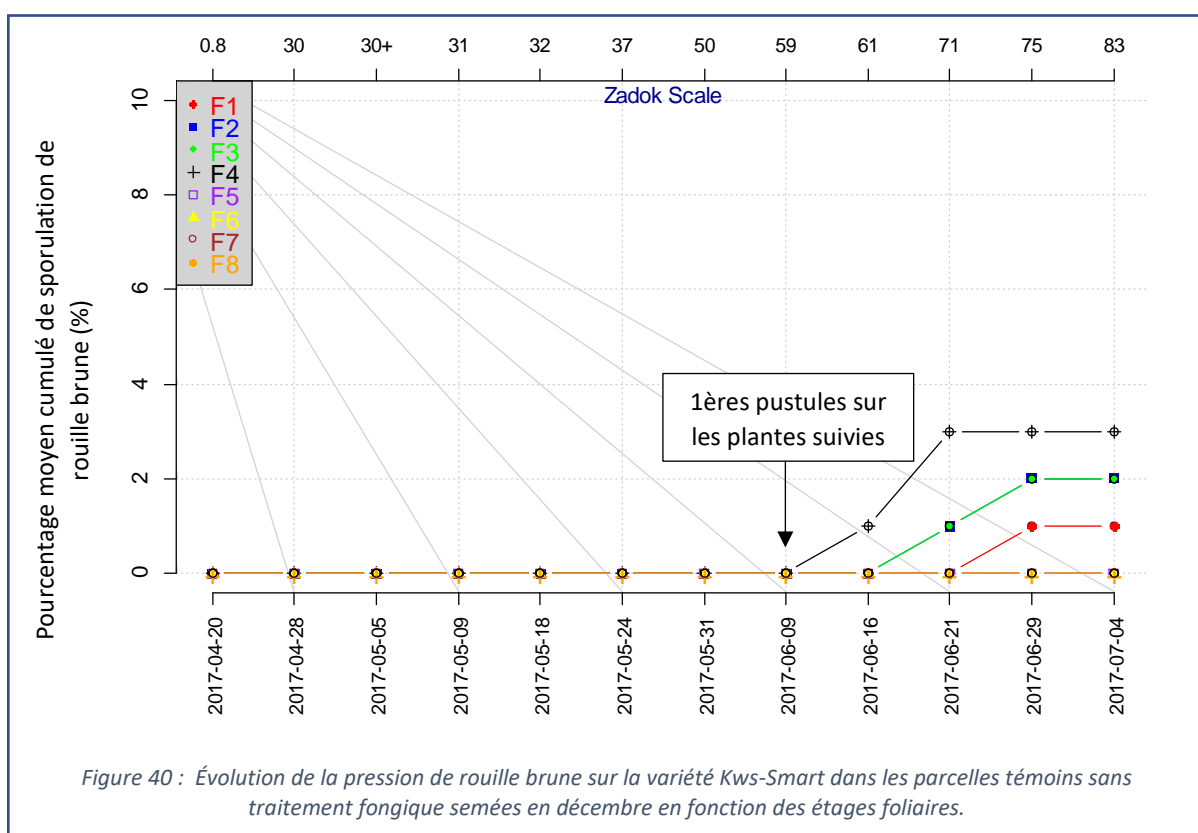
Par rapport au semis de novembre, la pression fût plus élevée sur les variétés les plus sensibles à la maladie. Tobak qui avait atteint 35 % de pression moyenne cumulée de rouille brune dans les semis de novembre passait à 52%. C'est d'ailleurs la variété la plus sensible au changement de modalité de semis.

La présence de pustules a été relevé le 20 avril sur Tobak mais de nouvelles apparitions n'ont pas eu lieu avant le 31 mai. En revanche, la maladie a été identifié ponctuellement sur la moitié des variétés le 24 mai.

Kws-Smart, un cultivar tolérant à la rouille brune :

La maladie a été observée à partir du 9 juin (stade 59) sur les plantes suivies, soit à la même période qu'en semis de novembre et par conséquent 2 semaines après le semis d'octobre.

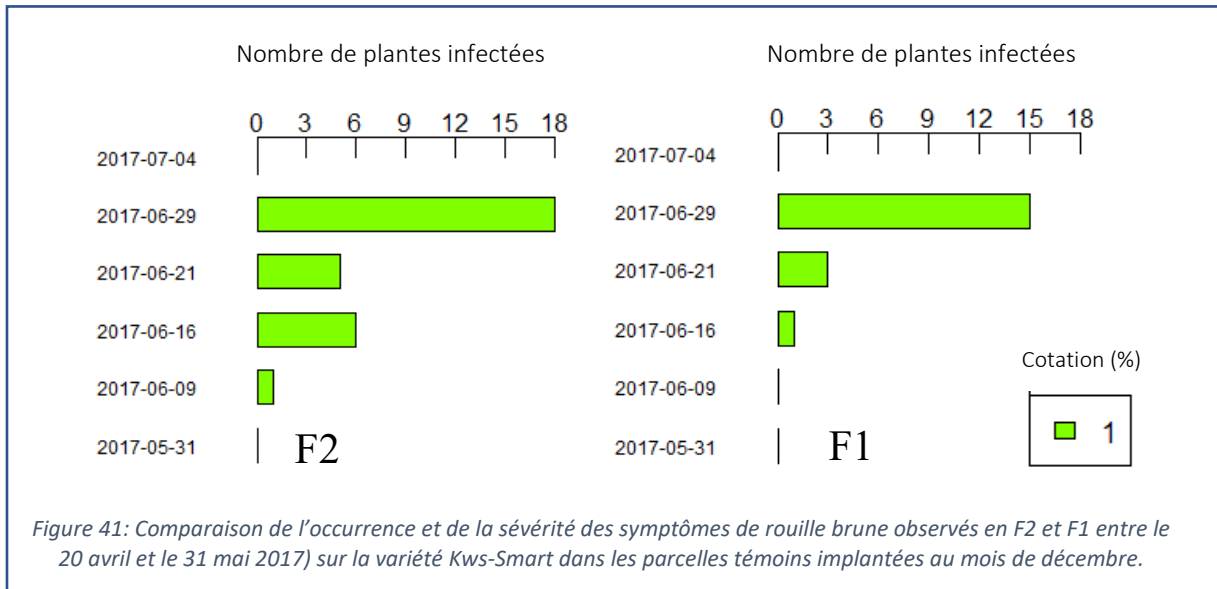
Si la pression totale finale est un peu plus élevée pour cette modalité de semis (9%) en comparaison avec le semis de novembre (6%), il est intéressant de constater que des quatre feuilles affectées (la F2 superpose la F3 sur la figure 40), la F1 est la moins touchée, elle n'est atteinte que par 1% de sporulation le 29 juin (figure 41).



De plus, ce n'est plus la F2 la plus affectée mais la F4, un étage foliaire de seconde importance. En effet, pour les parcelles Kws-Smart de novembre la F1 est atteinte à raison de 2 % contre 1% pour la F1 dans

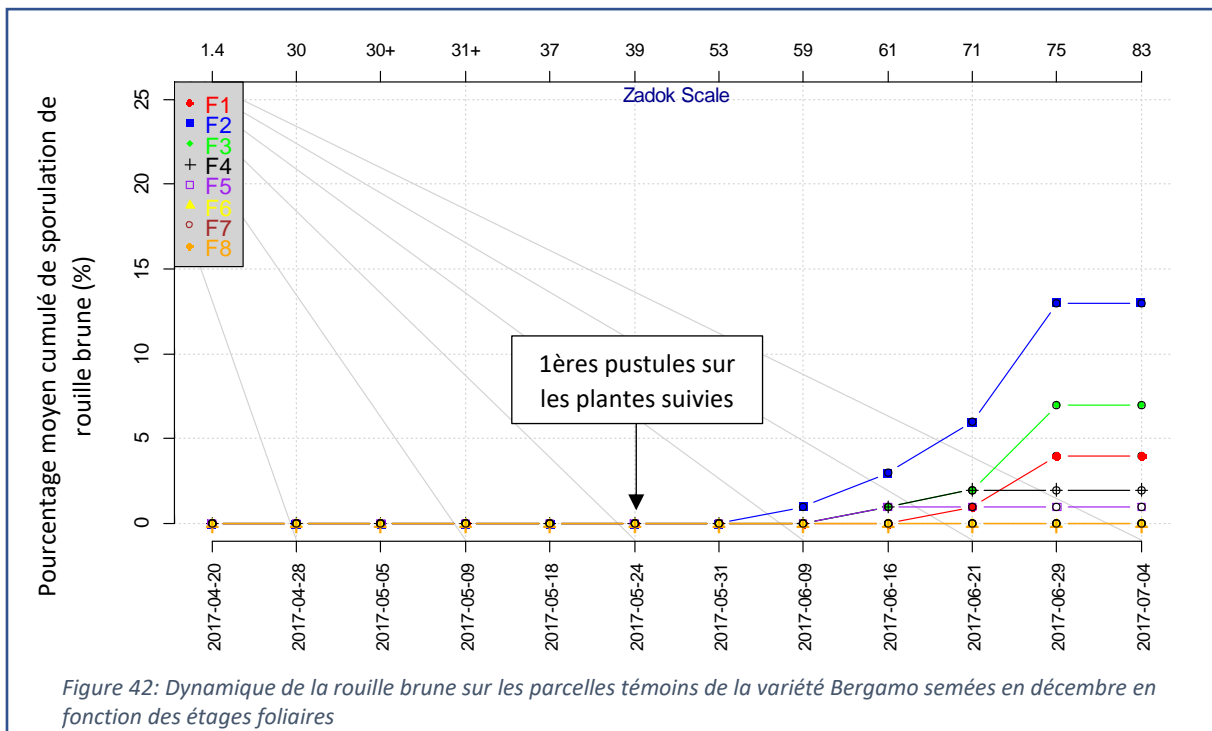
les parcelles implantées en décembre. Le pourcentage en F2 et F3 est par contre identiques aux deux modalités.

Comme l'indique la figure 41 la maladie était visible sur la F1 à partir du 16 juin mais tandis qu'elle était observable une semaine plus tôt dans les deux autres modalités de semis. Ceci est sûrement là l'origine de la petite différence de pression observée en F1 entre le semis de novembre et de décembre. La F2 est infectée plus précocement et en plus grand nombre que la F1.



Bergamo, un cultivar moyennement sensible à la rouille brune :

En semis de décembre la rouille brune a fait son apparition sur quelques F5 des parcelles témoins de la variété Bergamo le 24 mai (stade 39), soit la même semaine que pour le semis d'octobre. Le 9 juin (stade 59) les cinq premières feuilles étaient touchées par la maladie. Comme le met en évidence la figure 42, la F2 a montré un pourcentage d'attaque plus important que les autres feuilles.



Le 29 juin (stade 75) on observe une augmentation de la pression de rouille brune. Le pourcentage moyen cumulé de sporulation de rouille brune passe en effet de 6 à 13% en F2. Ceci est explicité par la figure 43. Dans le cas de la F2, le saut observé à cette date est expliqué par le nombre de d'individus infectés mais surtout par la sévérité des attaques. Les F1 étaient par contre toutes atteintes par la rouille brune mais le pourcentage d'attaque était plus faible.

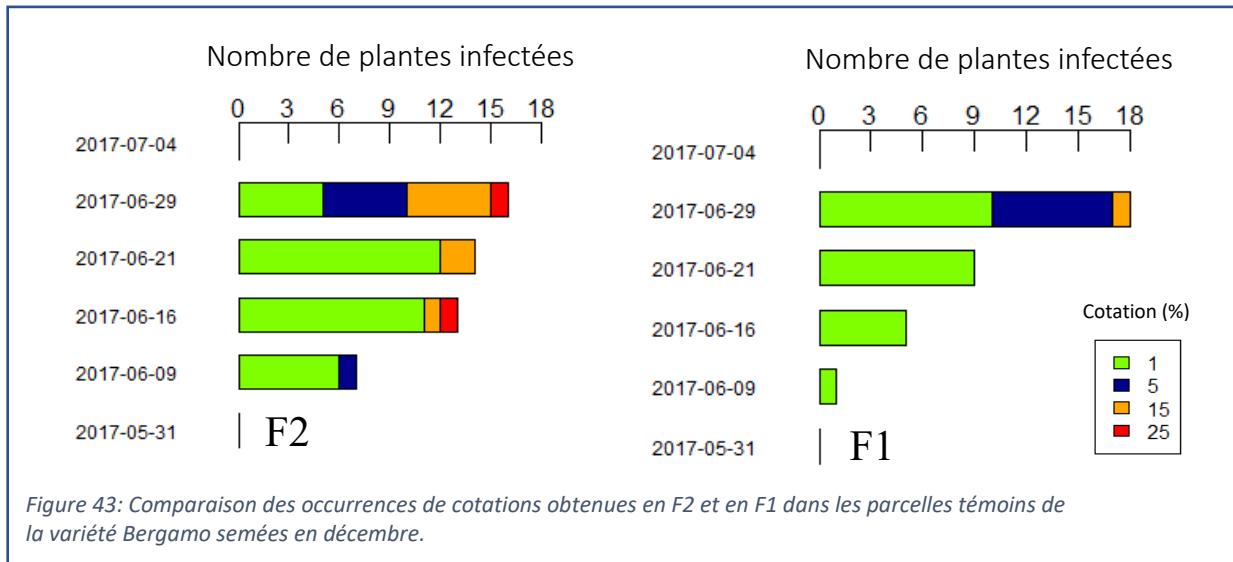


Figure 43: Comparaison des occurrences de cotations obtenues en F2 et en F1 dans les parcelles témoins de la variété Bergamo semées en décembre.

Tobak, un cultivar très sensible à la rouille

En semis de décembre, les premières pustules de rouille brune ont été relevées le 20 avril sur quelques F8 des parcelles témoins de la variété Tobak. La maladie n'est plus réapparue jusqu'au 31 mai (stade 53) où elle s'est attaquée aux cinq premières feuilles. Comme il est possible de le voir sur la figure 44, la F2 présente dans ce cas également le pourcentage d'attaque le plus important. L'évolution de la pression de rouille brune semble relativement progressive en F3 tandis qu'elle pourrait être qualifiée d'« explosive » sur la F1 et la F2.

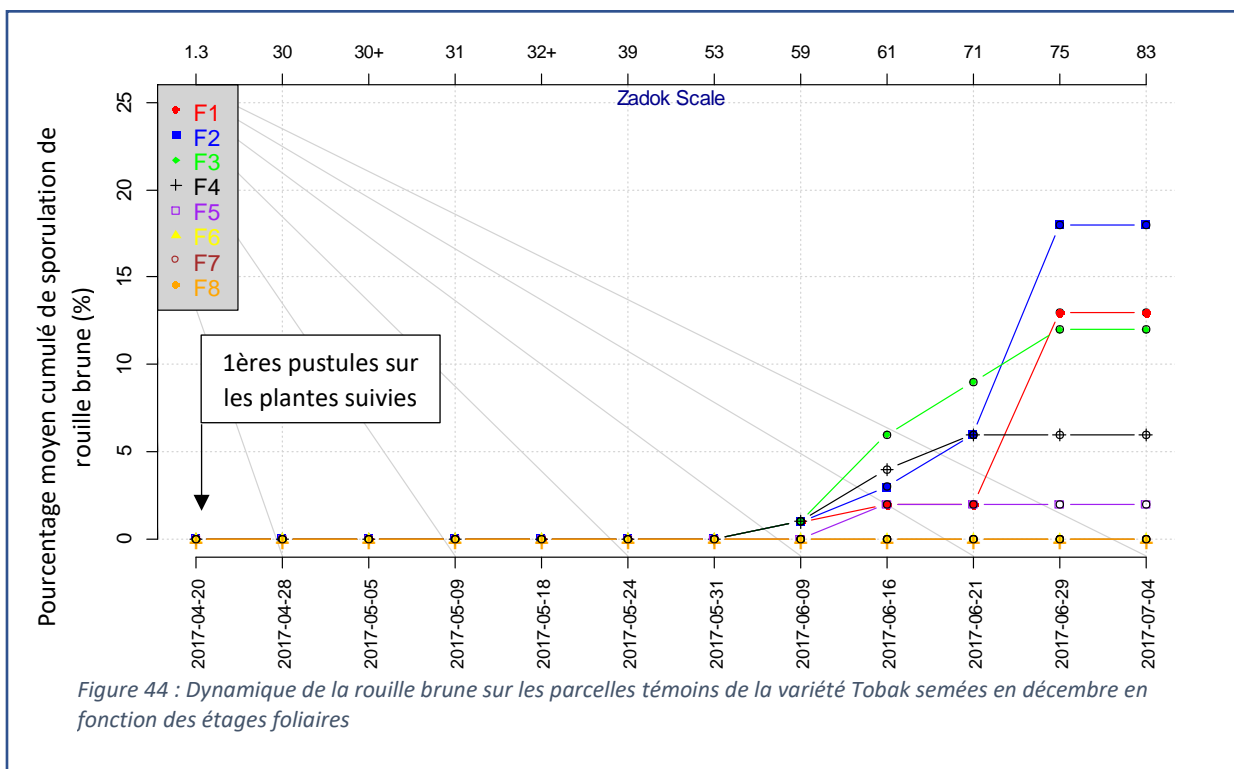
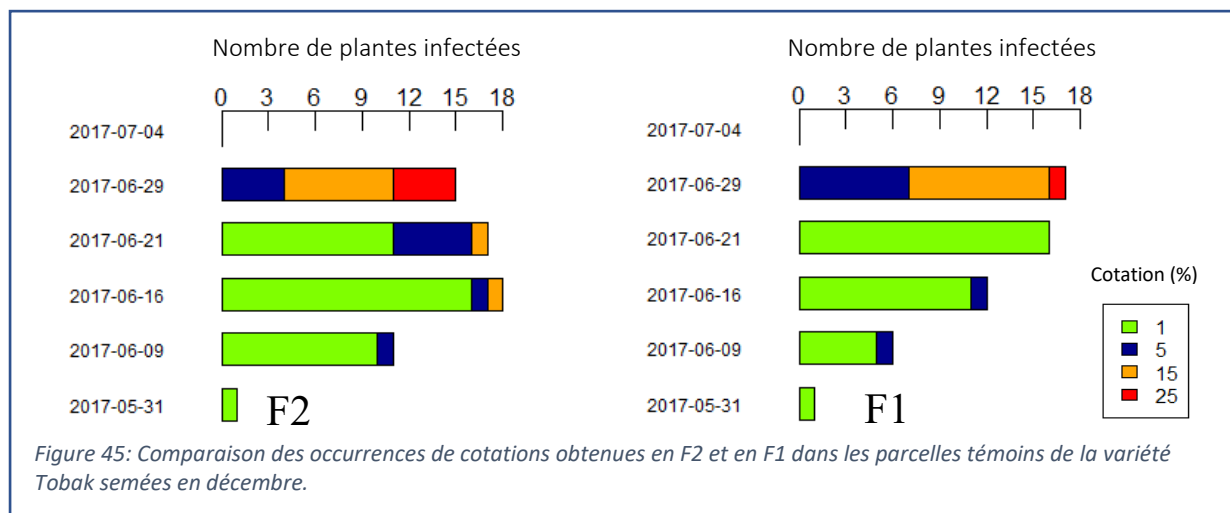


Figure 44 : Dynamique de la rouille brune sur les parcelles témoins de la variété Tobak semées en décembre en fonction des étages foliaires

La figure 45 représente l'évolution temporelle de la sévérité des infections de rouille brune sur les F1 et les F2 dans les parcelles témoins de la variété Tobak. Comme pour les dates de semis précédentes, les attaques les plus sévères sont observées le 29 juin (stade 75). On observe également une diminution du nombre de F2 infectée.

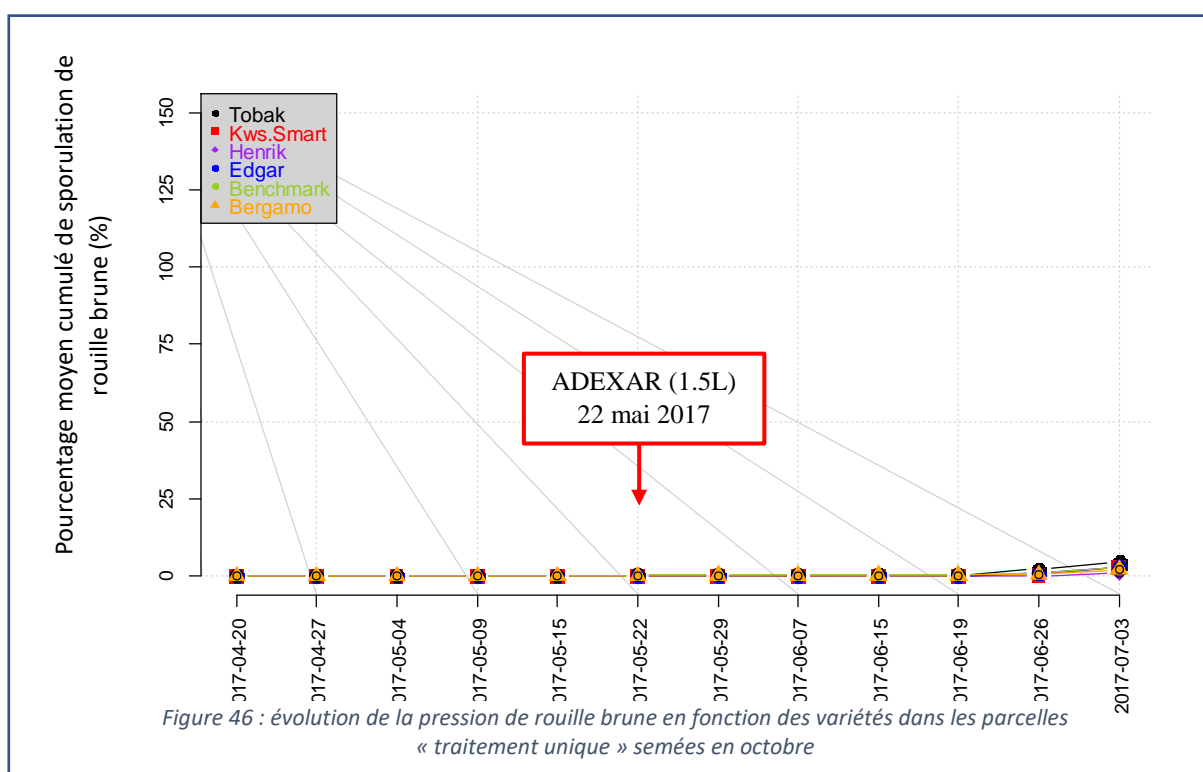


4.6. Évaluation de l'efficacité des traitements :

Les réponses au traitement unique et au double traitement ont été évaluées sur la variété Tobak pour le semis d'octobre. Cette combinaison (Tobak x FH17-01) avait été sélectionnée pour son pourcentage élevé en rouille brune. Les autres combinaisons présentant un taux moins élevé, leur réponse au traitement unique ne sera par conséquent pas détaillée.

4.6.1. Réponse au traitement unique (T1) dans les semis du mois d'octobre :

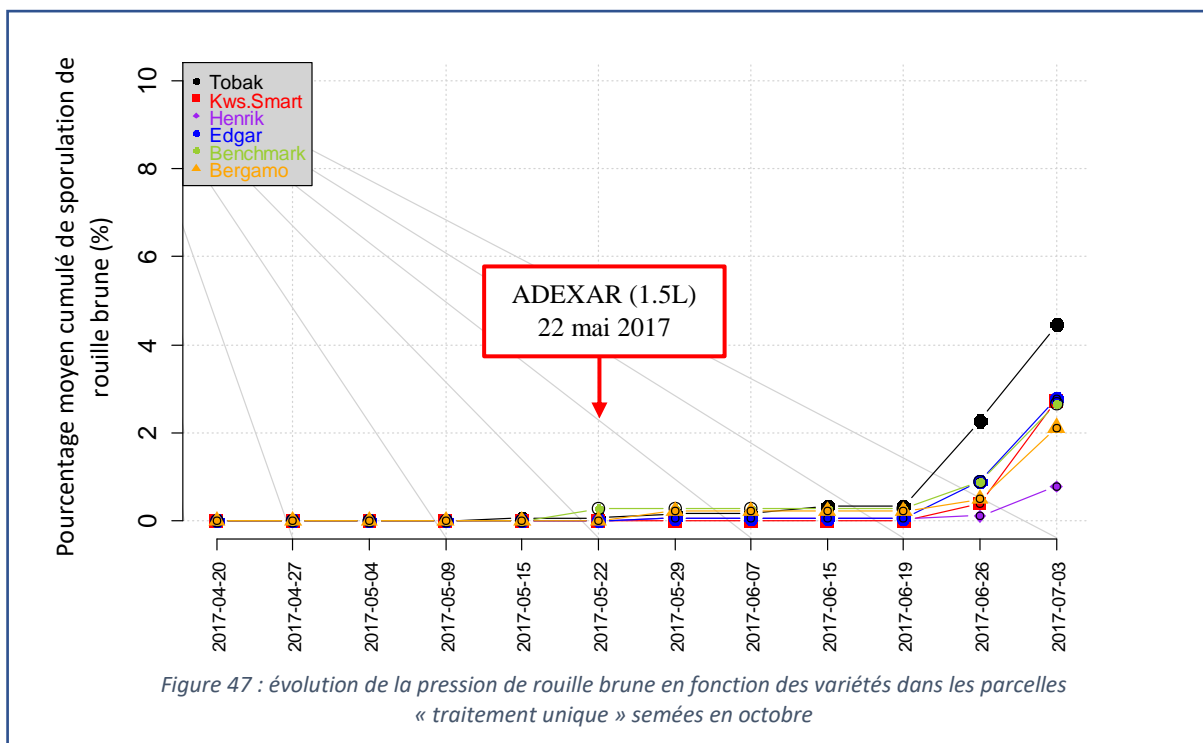
La figure 46 illustre la dynamique de la rouille brune en fonction des variétés dans les parcelles semées en octobre et ayant bénéficiées d'un traitement unique appliqué le 22 mai 2015.



En gardant la même échelle que les figures générales précédentes (pour une meilleure comparaison), il n'est pas possible de distinguer les variétés les unes des autres. On observe seulement une légère hausse de la pression de rouille brune à partir du 26 juin et se poursuivant jusqu'à la dernière semaine de relevée

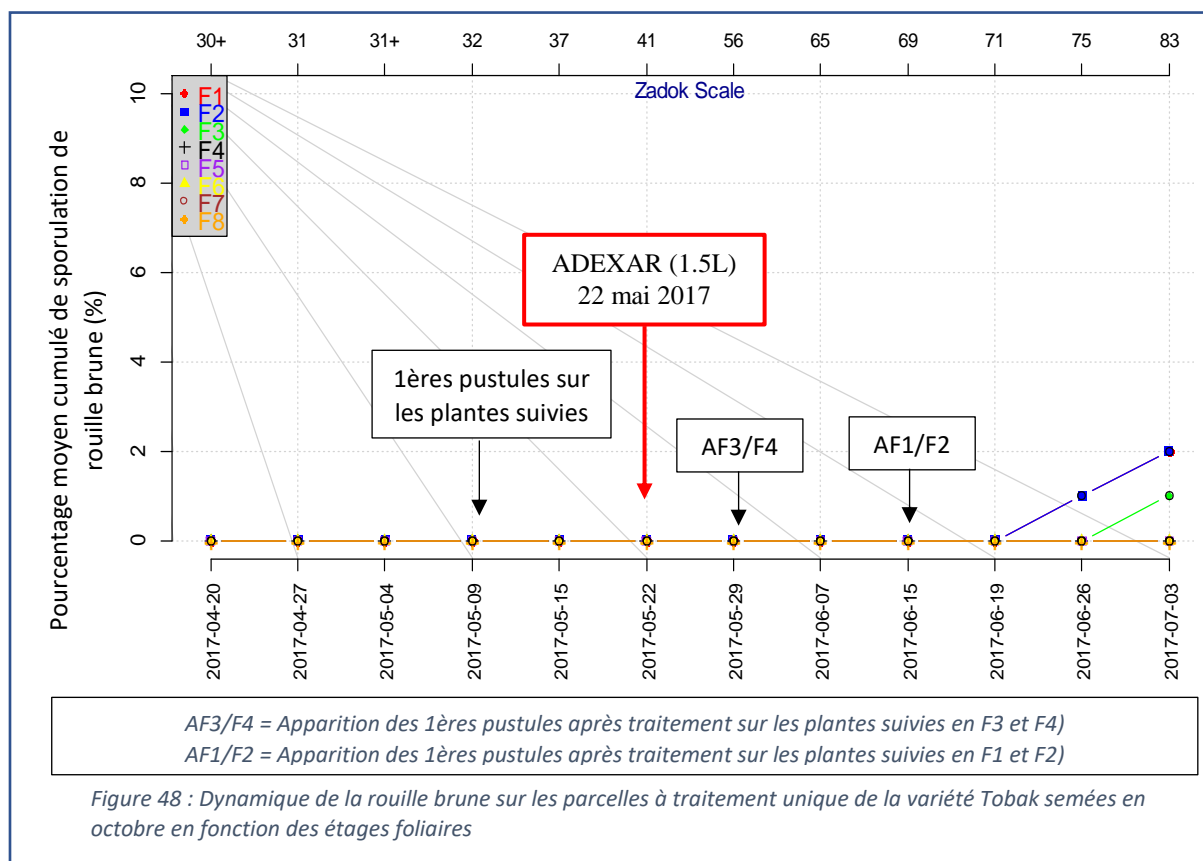
La variété Tobak reste après le traitement du 22 mai, la variété présentant le plus de rouille brune. Le cultivar Henrik avec seulement 1% de rouille brune semble être celui ayant le mieux réagi à cette modalité de traitement.

Le pourcentage moyen cumulé de sporulation de rouille brune obtenu au terme de ces douze semaines dans les parcelles semées au mois d'octobre et sur lesquelles un traitement a été appliqué le 22 mai, était faible pour toutes les variétés. Pour cette raison, il ne semble pas opportun de détailler la dynamique de la maladie pour toutes ces variétés dans ces conditions culturales. Seule le cultivar Tobak en fera donc l'objet.



La figure 47 met en évidence la dynamique de la rouille brune sur les parcelles à traitement unique de la variété Tobak semées en octobre en fonction des étages foliaires.

Les premières pustules de rouille brune ont été détectées le 15 mai en F6. Après le traitement du 22 mai, la maladie était retrouvée ponctuellement en F3 et F4 le 29 mai tandis que les F1 et F2 de certaines plantes ont présentées des pustules le 15 juin. Comme pour les parcelles témoins, la pression de rouille brune a augmentée à partir du 26 juin.



Réponse au traitement unique (T1) dans les parcelles de la variété Tobak semées en octobre : Sur la variété Tobak, la réponse au traitement serait de -136 % [T1 - T0 = 4 – 140 %]. En d’autres termes, on constate entre les deux modalités de traitement une réduction de la maladie de 136%.

Le tableau 10 rend compte des réponses des variétés

Tableau 10 : Réponse aux modalités de traitement en fonction des variétés pour le semis d’octobre

Variétés	Pression cumulée de rouille brune en semis d’octobre (%)	Modalité de Traitement	Réponse au traitement	
Benchmark	29	T0	/	
	3	T1	- 26%	- 90%
Bergamo	36	T0	/	
	2	T1	-34%	- 95%
Edgar	20	T0	/	
	3	T1	-17%	- 85%
Henrik	40	T0	/	
	1	T1	-39%	- 97%
Kws-Smart	12	T0	/	
	3	T1	-9%	-75%
Tobak	140	T0	/	
	4	T1	-136%	- 97%

4.6.2. Réponse au double traitement (T2) :

En raison du taux très faible de rouille brune (presque nulle) relevé dans les parcelles à double traitement (et ce même pour Tobak), les graphiques se rapportant à la dynamique de la rouille brune sur ces parcelles ne seront pas présentés.

Réponse au traitement unique (T2) dans les parcelles de la variété Tobak semées en octobre :

Sur les parcelles de la variété Tobak semées en octobre, la réponse au traitement serait de - 139 % [T1 - T0 = 1– 140 %] (tableau 10). En d’autres termes, on constate entre les deux modalités de traitement une réduction de la maladie de 139 %.

4.7. Discussion générales sur la rouille brune :

A. Dynamique et pression :

L'année passée la rouille brune a été détectée dès le mois de mai mais son expansion ne fût pas particulièrement importante en raison du printemps 2016 qui fût un peu plus frais que la moyenne. Sa présence fût par contre accrue au mois de juin sur les variétés les plus sensibles. (Bataille C.,2017)

Le comportement de la rouille brune cette année semble assez similaire à celui observé la saison culturale précédente. En effet, elle a été détectée à partir du 22 mai 2017 et s'est faite relativement discrète jusqu'à la mi-juin. En revanche, à partir de cette date, une explosion de la pression de rouille brune a été observée sur les variétés sensibles dans un premier temps, mais le pathogène c'est tout de même propagé (dans une moindre mesure) sur les variétés les plus résistantes en fin de saison.

A. Comparaison variétale :

L'occurrence et la sévérité des symptômes d'une infection fongique étant directement liées à la sensibilité variétale, les résultats variétaux attendus en rouille jaune étaient (de la plus résistante à la plus sensible) : **Henrik, Bergamo, Kws-Smart, Edgar, Benchmark, Tobak** (Bodson & Watillon,2017).

La sensibilité variétale est appréciée sur base du comportement relatif des six variétés dans les parcelles n'ayant pas bénéficié de traitements (T0) et ce pour les trois modalités de semis.

En Annexe II se trouve les tableaux résumant l'évolution de la pression moyenne cumulée de rouille brune par variété dans les parcelles témoins sans traitement fongique. Chaque tableau correspond à une date de semis (octobre, novembre et décembre).

Kws-Smart : Suite aux observations réalisées aux saisons culturales précédente, il avait été attribué à KWS-Smart une cote de résistance de **8.0**, note qui correspond à une bonne résistance à la maladie (Bodson & Watillon,2017). Sur les six variétés, elle était en troisième position en termes de résistance.

Pourtant, lors de cette saison culturale elle a présenté un caractère tolérant face à la rouille jaune. Ce fût par ailleurs, sur les six variétés suivies, celle qui comportait les sévérités d'attaques les moins importantes (entre **6 et 12 %** selon les dates de semis).

Benchmark : Suite aux observations réalisées aux saisons culturales précédente, il avait été attribué à Benchmark une cote de résistance de **7.3**, note qui correspond à bonne résistance à la maladie (Bodson & Watillon,2017). Des six variétés, elle était en troisième position en termes de résistance.

Cette saison culturale-ci, la variété Benchmark, a eu un comportement intermédiaire en comparaison des autres variétés

Bergamo : Suite aux observations réalisées aux saisons culturales précédentes, il avait été attribué à la variété Bergamo une cote de résistance de **8.2**, note qui correspond à une bonne tolérance à la maladie (Bodson & Watillon,2017). Sur les six variétés elle était d'ailleurs en deuxième position en termes de résistance. Des six variétés, elle faisait pourtant partie de celles présentant les plus haut taux (entre **22 et 36%**).

Henrik : la cote de résistance d'Henrik est de 8.3, ce qui en fait la variété la plus résistante parmi les six suivies. (Bodson & Watillon,2017). Cependant, elle a présenté après Tobak, les pressions les plus importantes en rouille brune (entre **40 et 44 %** selon les dates de semis).

Edgar : la cote de résistance d'Edgar est de **7.5**, soit une résistance moyenne (Bodson & Watillon,2017). Pourtant, sur les six, c'est la deuxième variété manifestant le moins de symptômes (entre **10-20%**).

Tobak : la cote de résistance qui lui est attribué est de 5.2, elle fait donc partie des variétés très sensibles à la rouille brune (Bodson & Watillon,2017). Des six variétés, c'était d'ailleurs celle qui avait la cote de résistance la moins élevée. Les résultats de cette saison culturale-ci confirment sa sensibilité à l'égard de la rouille brune. L'évolution de la rouille brune dans les parcelles de la variété Tobak peuvent être qualifié d'explosif. En effet, la pression était de 35 à 140 % en fonction des dates de semis.

En conclusion : dans cet essai et dans les conditions culturales de cette année, deux variétés ressortent fortement des autres, la variété Tobak et la variété Kws-Smart. La première est remarquable par sa sensibilité et a exprimé le comportement attendu tandis que la seconde a manifesté une résistance à la rouille brune plus fortement que les variétés qui avait une cote équivalente à la sienne (Bergamo et Henrik)

B. Effet de la date de semis :

Le facteur date de semis semble avoir eu des répercussions sur toutes les variétés mais son impact fût particulièrement marqué pour la variété la plus sensible, Tobak. Tenant compte des observations précédentes, on peut conclure qu'un contrôle chimique du pathogène était indispensable pour les parcelles de la variété Tobak semées en octobre.

De plus, ceci confirme, l'hypothèse énoncée précédemment, selon laquelle un semis tardif réduirait l'exposition des plantules à l'inoculum primaire d'automne et de ce fait diminuerait drastiquement le nombre de cycle potentiel du pathogène.

5. Conclusions et perspectives

À l'issus de cet essai, deux variétés ressortent : Kws-Smart et Tobak. Ces dernières ont présenté des comportements que l'on pourrait qualifier d' « opposés ». En effet, Kws-Smart s'est distingué par sa forte sensibilité à la rouille jaune et sa tolérance à la rouille brune. A l'inverse, Tobak a montré un caractère particulièrement résistant à la rouille jaune mais s'est montré très sensible face à la rouille brune.

Cette méthode de suivi dynamique a fourni des informations intéressantes mais elle semble plus adaptée à certaines maladies que d'autres. En rouille brune, les résultats obtenus sont parlants et la prise de données pour cette maladie était relativement simple. En rouille jaune, les résultats obtenus étaient plutôt satisfaisants. Cependant cette méthode a montré ses limites. En effet, en début d'infection la variabilité entre parcelles était assez importante et l'opérateur pouvait identifier certaines maladies dans des parcelles ne faisant pas partie de la zone expérimentale. Ceci s'explique par le mode de dispersion de la rouille jaune qui commence en foyer. Pour pallier à ce problème, il

serait nécessaire d'augmenter la taille de l'échantillon. Cependant, cette méthode dépend également des conditions météorologiques, une augmentation de la taille de l'échantillon pourrait voir apparaître une nouvelle contrainte en termes de continuité du suivi.

À l'avenir, il serait judicieux de limiter le nombre de facteurs étudiés afin de pouvoir se concentrer sur un échantillon plus élargi. Cette méthodologie est chronophage et peu confortable pour l'opérateur, ce qui justifie la limitation du nombre de combinaisons à tester. De plus, une nouvelle variable de réponse devrait être intégrée à ce type d'étude, à savoir le rendement de chaque parcelle. Cela permettrait d'estimer à la fois la sensibilité d'une variété selon différents facteurs, tout en évaluant la perte brute pour l'agriculteur.

6. Bibliographie :

- Aliaga C., 2014. Symptômes de rouilles sur blé. (ARVALIS - Institut du végétal) [En ligne] <https://www.arvalis-infos.fr/view-15505-arvarticle.html> (consulté le 15/08/2017)
- Arvalis, 2017. Les publications d'ARVALIS – Institut végétal. [En ligne]. <https://www.editions-arvalis.fr/index.html> (consulté le 14/08/2017)
- Bataille C., Duvivier M., Eyllenbosch D., Heens B., Mahieu O., Meza R. & Monfort B., 2015. Lutte intégrée contre les maladies. In : *Livre Blanc Céréales – Edition février 2015*.
- Bataille C., Duvivier M., Heens B., Mahieu O., Meza R. & Monfort B., 2017. In : *Livre Blanc Céréales – 1967-2017 50 ans de Partenariat entre agriculteurs et chercheurs – Edition février 2017*.
- Benizri E. & Progetti F., 1992. *Mise au point d'un modèle de simulation de la rouille brune du blé*. Agronomie, EDP Sciences, **12** (1), 97-104
- Bolton M.D., Kolmer J.A., & David F. Garvin, 2008. Pathogen profile. Wheat leaf rust caused by *Puccinia triticina*. *Molecular plant pathology* **9**(5), 563–575
- Bovey R. & al., 1967. *La défense des plantes cultivées*. 5^{ème} éd. Paris : De Boeck.
- Caubel J., 2012. Modélisation dynamique et générique de pathosystèmes fongiques aériens- Application à l'étude des impacts du changement climatique sur la rouille brune du blé et le mildiou de la vigne. Thèse de doctorat.
- Chen W., Wellings C., Chen X., Kang Z. & Liu T., 2014. Wheat stripe (yellow) rust caused by *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*. *Molecular plant pathology* **15**(5), 433–446
- Chen X.M., 2005. Epidemiology and control of stripe rust [*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*] on wheat. *Can. J. Plant Pathol.* **27**: 314–337
- Cheyron P., Pope C., et Leconte M., 2016. *Rouille jaune sur blé tendre les résistances dépendent aussi du stade*. In : Perspectives agricoles N°434 [En ligne] https://www.perspectives-agricoles.com/file/galleryelement/pj/33/ce/a7/12/434_8977845218722379211.pdf (consulté le 14/08/2017)
- CRAGx, 1990. *Le froment d'hiver. Conduite de sa culture*. Gembloux : Presses agronomiques de Gembloux.
- David Morais., 2015. *Les déterminants des phases épidémiques précoces de la septoriose du blé (Zymoseptoria tritici) : quantité, efficacité et origine de l'inoculum primaire*. *Sciences du Vivant [q-bio]*. *AgroParisTech*. [En ligne]. <https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-01142864/document> (consulté le 25/07/2017)
- Delcour A., Van Stappen F., Gheysens S., Decruyenaere V., Stilmant D., Burny P., Rabier F., Louppe H., Goffart J.P., 2014. État des lieux des flux céréaliers en Wallonie selon différentes filières d'utilisation. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* **18** (2), 181-192.
- Duvivier M., Dedeurwaerder G., & Bataille C., De Proft M. & Legrève A., 2015. Real-time PCR quantification and spatio-temporal distribution of airborne inoculum of *Puccinia triticina* in Belgium. *Eur J Plant Pathol* [En ligne]. https://www.researchgate.net/publication/290507919_Real-time_PCR_quantification_and_spatio-

[temporal distribution of airborne inoculum of Puccinia triticina in Belgium](#) (consulté le 14.08.2017)

El Jarroudi M., Tychon B., Hoffmann L. & Maraite H., 2012. *Modélisation et simulation prévisionnelle de la septoriose et rouille brune des feuilles pour une gestion durable du blé d'hiver*. [En ligne]. <https://www.researchgate.net/publication/259384827> (consulté le 15/08/2017)

EPPO : European and Mediterranean Plant Protection Organization, 2016. PQR - EPPO database on quarantine pests [En ligne]. <http://www.eppo.int> (consulté le 15.07.17).

FAO, 2017. *Situation alimentaire mondiale*. [En ligne] <http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/fr/> (consulté le 24/07/2017)

Gate P., 1995. *Ecophysiologie du blé*. 1^{ère} éd. Paris.

Grare H., 2014. *Rouille Jaune- Intervenir dès le stade épi 1 cm* [En ligne]. <https://www.cultivar.fr/technique/intervenir-des-le-stade-epi-1-cm> (consulté le 15/08/2017)

Heinesch B, De ligne A. & Manise T., 2016. Documentation on the Terrestrial Observatory of Loncée (OTL).

Jacquemin G., Bataille C., Pope C. & Leconte M., 2016. *Rouille jaune en céréales : Le point sur les variétés et l'évolution de la race "Warrior" en ce printemps 2016*. [En ligne]. http://www.cadcoasbl.be/p09_biblio/art0006/1605RJBelgique.pdf (consulté le 26/07/2017)

Jacquemin G., Bataille C., Pope C., Grignon B. & Leconte M., 2016. *Rouille jaune en céréales : Le point sur les variétés et l'évolution de la race "Warrior" en ce printemps 2016*. [En ligne]. http://www.cadcoasbl.be/p09_biblio/art0006/1605RJBelgique.pdf (consulté le 14/08/2017)

Lepoivre P., 2003. *Pythopathologie*. 1^{ère} éd. Bruxelles : De Boeck.

Marc Delos, 2016. *Académie d'Agriculture de France - Note académique - La production de céréales à paille en France en 2016 - qualité sanitaire et technologique des grains, quelques éléments d'explication à partir de l'exemple du blé tendre*. [En ligne] https://www.academie-agriculture.fr/system/files_force/publications/notes/2016/la-production-de-cereales-paille-en-france-en-2016-qualite-sanitaire-et-technologique-des-grains/20160926laproductiondecerealesapailleenfrance.pdf?download=1 (consulté le 25/07/2017)

Mascher F., Habersaat M. & Kellenberger S., 2010. *La rouille jaune menace-t-elle la culture du blé en Suisse*. In : Production végétale. Recherche Agronomique Suisse 1 (6) : 244–251. [En ligne] https://www.agrarforschungschweiz.ch/artikel/2010_06_f_1577.pdf (consulté le 14/08/2017)

Maufras J-Y. & Couleaud G., 2014. *Rouille jaune PRINTEMPS 2015 une épidémie à craindre*. [En ligne]. https://www.perspectives-agricoles.com/file/galleryelement/pj/4e/bc/99/0d/417_1815558707463213255.pdf (consulté le 14/08/2017)

Maurin G., Paternelle M.C. & Cluzeau S., 1999. *Guide pratique de Défense des Cultures*. 5^{ème} éd. Paris : ACTA.

Nasraoui B., 2006. *Les champignons parasites des plantes cultivées*. 1^{ère} éd. Tunisie.

Perspectives agricoles, 2013. *Fiches accident- reconnaître au champ la rouille jaune (Puccinia striiformis)*. N° 398. [En ligne]. https://www.perspectives-agricoles.com/file/galleryelement/pj/64/15/28/4e/398_819893022201730946.pdf (consulté le 14/08/2017)

- Planetoscope, 2017. *La Production française de blé*. [En ligne]. <https://www.planetoscope.com/cereales/1615-production-francaise-de-ble.html> (consulté le 25/07/2017)
- Pollet J.F., 2013. *Les dessous de notre assiette- Le blé*. [En ligne] http://www.cncd.be/IMG/pdf/imaginer_96_le-ble.pdf (consulté le 25/07/2017)
- Soltner D., 2012. *Les grandes productions végétales*. 21^{ème} éd. Paris : Collection Sciences et techniques agricoles.
- Statbel, 2014. *Evolution des productions - Estimation définitive de la production des cultures agricoles - Pour l'année de récolte 2014*. [En ligne] http://statbel.fgov.be/fr/binaries/L06-2014-DEF-RESULT-TAB-FR-validatie_tcm326-268520.xls (consulté le 25/07/2017)
- Statista, 2017. *Classement des principaux producteurs de blé mondiaux de 2015 à 2017* (en milliers de tonnes)*. [En ligne] <https://fr.statista.com/statistiques/559831/principaux-pays-producteurs-de-ble-dans-le-monde/> (consulté le 24/07/2017)
- Statistics Belgium, 2015. *Chiffres clés de l'agriculture – L'agriculture en Belgique en chiffres*. [En ligne] http://statbel.fgov.be/fr/binaries/FR_Kerncijfers%20Landbouw_2015k_tcm326-270401.pdf (consulté le 25/07/2017)
- USDA, 2017. *World Agricultural Production- Circular Series WAP 07-17 July 2017*. [En ligne] <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/production.pdf> (consulté le 24/07/2017)
- Watillon & Bodson, 2017. *Livre blanc cérééal*. [En ligne]. <http://www.livre-blanc-cereales.be/> (consulté le 14/08/2017)

Annexes 1 :

<i>Date de relevé</i>	<i>Semis</i>	<i>Tobak</i>	<i>Kws-Smart</i>	<i>Henrik</i>	<i>Edgar</i>	<i>Benchmark</i>	<i>Bergamo</i>
10 avril	<i>Octobre</i>		<i>P</i>	<i>P</i>			<i>P</i>
	<i>Novembre</i>		<i>P</i>	<i>P</i>			
	<i>Décembre</i>		<i>P</i>	<i>P</i>		<i>P</i>	<i>P</i>
14 avril	<i>Octobre</i>		<i>P</i>				
	<i>Novembre</i>		<i>P</i>	<i>P</i>			
	<i>Décembre</i>		<i>P</i>	<i>P</i>			
24 avril	<i>Octobre</i>		<i>P</i>				
	<i>Novembre</i>		<i>P</i>				
	<i>Décembre</i>		<i>P</i>	<i>P</i>			
28 avril	<i>Octobre</i>		<i>P</i>				
	<i>Novembre</i>		<i>P</i>				
	<i>Décembre</i>		<i>P</i>	<i>P</i>			
8 mai	<i>Octobre</i>	0	2	1	0	0	1
	<i>Novembre</i>	1	3	1	1	2	1
	<i>Décembre</i>	1	4	2	0	2	1
15 mai	<i>Octobre</i>	0	3	1	0	1	1
	<i>Novembre</i>	1	4	1	0	1	1
	<i>Décembre</i>	0	3	1	0	0	1
22 mai	<i>Octobre</i>	0	3	0	0	0	1
	<i>Novembre</i>	0	2	0	0	1	1
	<i>Décembre</i>	0	3	1	0	1	1

Ce tableau a été construit à partir des données fournies par Monsieur Rodrigo Meza dans le cadre des essais menés pour le Livre Blanc Céréales.

P= présence de rouille jaune dans les parcelles.

0 = pas des pustules	2 = 10 à 30 % des feuilles * touchées
1 = qqs pustules	3 = 30 à 60 % des feuilles * touchées
	4 = > à 60% des feuilles * touchées

* = moy des F-2 et F-3

Annexes 2 :

Tableau 1 : Évolution de la pression moyenne cumulée de rouille brune par variété dans les parcelles témoins sans traitement fongique semées en octobre sur les 6 variétés durant les 12 semaines de suivis.

	Tobak	Kws-Smart	Henrik	Edgar	Benchmark	Bergamo
2017-04-20	0	0	0	0	0	0
2017-04-27	0	0	0	0	0	0
2017-05-04	0	0	0	0	0	0
2017-05-09	0	0	0	0	0	0
2017-05-15	0	0	0	0	0	0
2017-05-22	0*	0	0	0*	0*	0*
2017-05-29	2	0	0*	0*	0*	1
2017-06-07	12	0	2	0*	1	2
2017-06-15	39	2	5	3	5	6
2017-06-19	90	5	12	7	11	14
2017-06-26	140	12	40	20	29	36
2017-07-03	140	12	40	20	29	36

Tableau 2 : Évolution de la pression moyenne cumulée de rouille brune par variété dans les parcelles témoins sans traitement fongique semées en novembre sur les 6 variétés durant les 12 semaines de suivis.

	Tobak	Kws-Smart	Henrik	Edgar	Benchmark	Bergamo
2017-04-20	0	0	0	0	0	0
2017-04-27	0	0	0	0	0	0
2017-05-05	0	0	0	0	0	0
2017-05-09	0	0	0	0	0	0
2017-05-17	0	0	0	0*	0	0*
2017-05-23	0	0	0	0*	0*	0*
2017-05-30	0	0	0*	0*	0*	0*
2017-06-08	1	0*	2	0*	1	1
2017-06-15	5	1	8	3	5	4
2017-06-20	11	3	14	6	9	9
2017-06-27	35	6	30	12	19	22
2017-07-03	35	6	30	12	19	22

Tableau 3 : Évolution de la pression moyenne cumulée de rouille brune par variété dans les parcelles témoins sans traitement fongique semées en décembre sur les 6 variétés durant les 12 semaines de suivis.

	Tobak	Kws-Smart	Henrik	Edgar	Benchmark	Bergamo
2017-04-20	0*	0	0	0	0	0
2017-04-28	0*	0	0	0	0	0
2017-05-05	0*	0	0	0	0	0
2017-05-09	0*	0	0	0	0	0
2017-05-18	0*	0	0	0	0	0
2017-05-24	0*	0	0*	0*	0	0*
2017-05-31	0*	0	0*	0*	0	0*
2017-06-09	4	0*	3	1	1	2
2017-06-16	16	2	8	2	4	6
2017-06-21	26	5	17	5	7	11
2017-06-29	52	9	44	10	14	27
2017-07-04	52	9	44	10	14	27