

# 1 Deux nouveaux outils d'aide à la décision en céréales en Wallonie

D. Rosillon<sup>1</sup>, J. P. Huart<sup>1</sup>, V. Planchon<sup>1</sup>, M. De Proft<sup>2</sup>, B. Dumont<sup>3</sup>

## **1.1 Introduction**

Deux nouveaux outils d'aide à la décision (OAD) vont être disponibles au printemps 2020 pour le suivi de la culture du froment en Wallonie.

Le premier OAD, l'OAD phéno, a pour objectif de suivre le développement du froment afin de planifier des opérations culturales et de comparer l'année en cours avec une année « normale ». Cet outil est un module de base mais est fondamental pour réaliser ultérieurement des avertissements en céréales ; le stade de développement du froment conditionne en effet les opérations culturales ainsi que la sensibilité à certaines maladies et ravageurs.

Le second OAD, **CECIBLE**, simule le développement de la cécidomyie orange, depuis la larve hivernant dans le sol, jusqu'à l'émergence de l'adulte. Grâce à l'utilisation de données météorologiques spatialisées, cet outil permet de déterminer les dates d'émergence de ce ravageur pour chaque point du territoire.

Les publics visés par ces OAD sont les structures d'encadrement, les acteurs de la recherche agronomique et les agriculteurs.

## **1.2 OAD phéno – Suivi du développement du froment**

### **1.2.1 Les formalismes**

#### **a. Le modèle « STICS »**

L'OAD phéno est l'implémentation d'un module du modèle STICS (Simulateur mulTIdisciplinaire pour les Cultures Standard) développé depuis 1996 par l'INRA. STICS est un modèle déterministe dynamique qui simule le fonctionnement des cultures à pas de temps journalier. Les grands processus simulés sont la croissance et le développement de la culture ainsi que les bilans hydrique et azoté. STICS est adapté à un grand nombre de cultures (blé, maïs, betterave, prairies, soja, sorgho, etc.).

Le modèle STICS est largement utilisé de par le monde. Son développement et son évolution,

---

<sup>1</sup> CRA-W – Département Production Agricole – Unité Agriculture, Territoire et Intégration Technologique

<sup>2</sup> CRA-W – Département Sciences du vivant – Unité Santé des Plantes et Forêts

<sup>3</sup> ULiege – Gx-ABT – Unité de phytotechnie tempérée

ainsi que l'animation scientifique autour du modèle, sont assurés par une communauté de scientifiques en France, en Belgique et au Canada. Le modèle est utilisé par plusieurs plateformes agrométéorologiques en France et est couplé avec plusieurs modèles. Il est également utilisé dans de nombreux projets internationaux [1].

L'OAD phéno est une implémentation simplifiée du module « Développement » (voir Figure 10.1) et ce pour le froment uniquement. Par rapport au formalisme complet de STICS, on ne considère pas (i) le calcul de l'imbibition de la graine, (ii) l'humidité dans le sol au niveau du lit de semences ou encore (iii) l'existence d'une croûte retardant l'émergence. De même, nous ne calculons pas les pertes de densité liées à un faible taux de germination, à un faible taux de levée ou au gel des plantules.

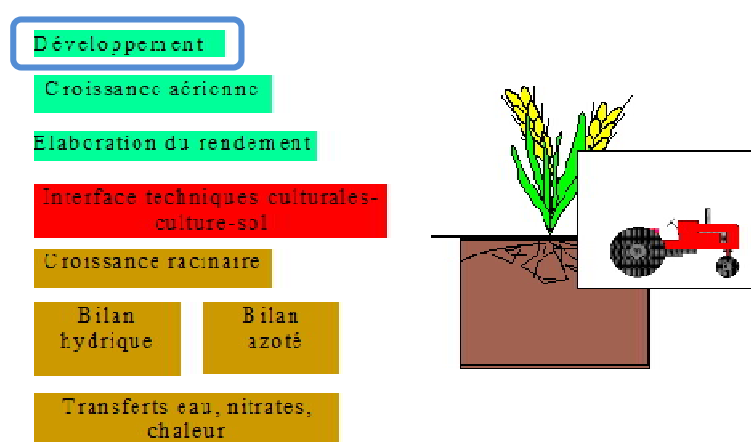


Figure 10.1 – Modules composant le modèle STICS [2].

### b. Formalismes de l'OAD phéno

Les formalismes de l'OAD phéno sont illustrés à la Figure 10.2. Les deux grandes phases suivantes peuvent être dissociées dans la modélisation du développement du froment :

- une phase de développement sous-terrain qui va de la semence sèche à la levée en passant par la germination ;
- une phase de développement aérien qui va de la levée à la maturité du grain.

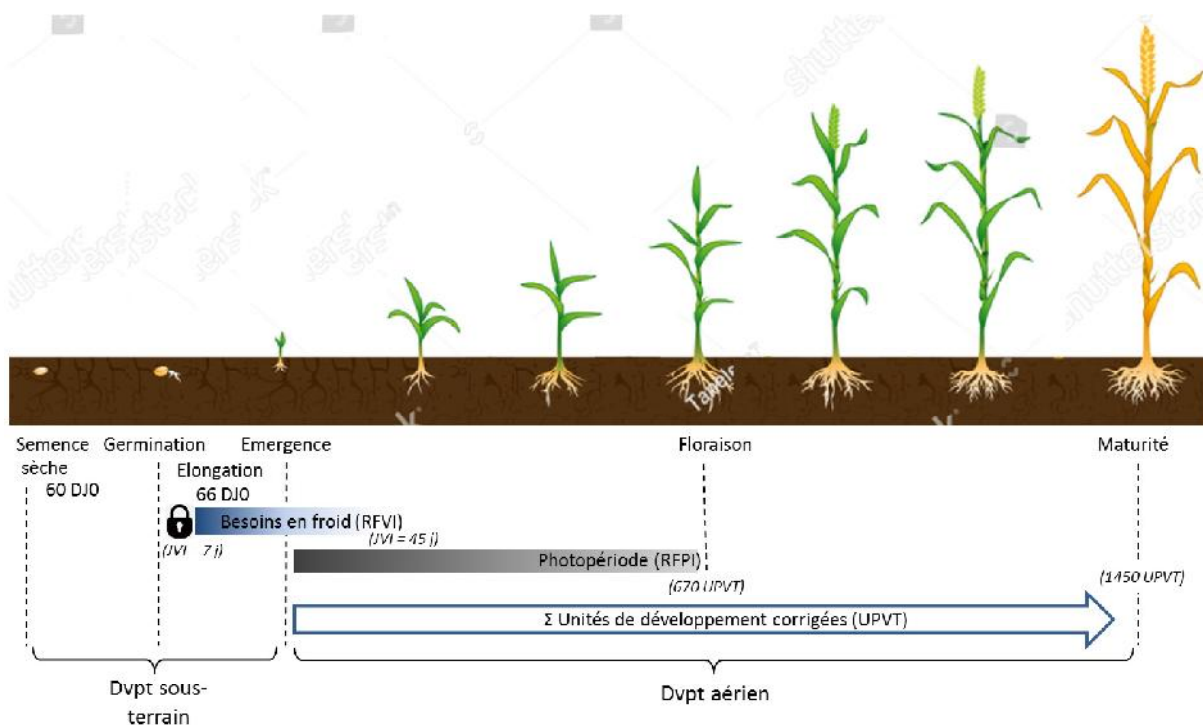


Figure 10.2 – Développement du froment - formalisme OAD phéno [3].

### c. Le développement sous-terrain

Le développement de la culture commence lorsque la semence commence à s’imbiber. La germination de la graine se produit lorsqu’une somme de 60 degrés-jour en base 0 est atteinte. Ces données de température proviennent du réseau Pameseb du CRA-W. Pour les stations équipées de sondes de température à la surface du sol, cette mesure de la température est utilisée. Pour les stations météorologiques qui n’en sont pas équipées, la température de l’air à 1,5 m est utilisée.

L’émergence se produit lorsque l’élongation des coléoptiles est supérieure à la profondeur de semis. L’élongation des coléoptiles est fonction de la température du sol. Une profondeur de semis de 3 cm a été implémentée par défaut dans l’OAD phéno ce qui correspond à 66 degré-jour en base 0. Ce paramètre pourrait à l’avenir être encodé dans l’outil par l’agriculteur. La figure 10.3 illustre la fonction entre l’élongation des coléoptiles et la somme de degré-jour.

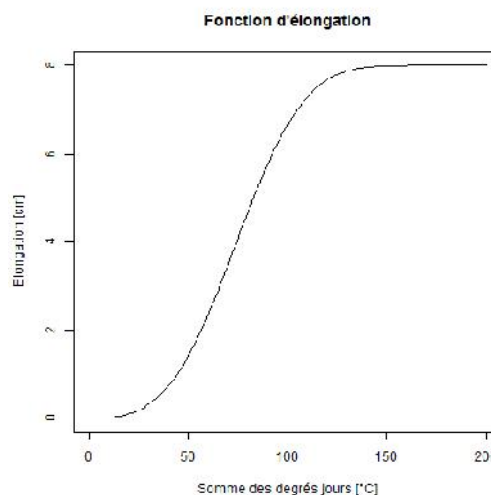


Figure 10.3 – Fonction liant l’élongation des coléoptiles et la somme de degré-jour du sol.

#### d. Le développement aérien

Les durées séparant les stades successifs de développement sont évaluées en unités de développement (UPVT) reproduisant le temps physiologique de la plante. Le moteur de ce temps physiologique est la température (UDEV) ; il peut être ralenti par des conditions non optimales de photopériodes (RFPI < 1) ou par la non satisfaction des besoins en froid (RFVi < 1). Dans l'OAD phéno, le ralentissement de développement ayant pour cause les stress hydrique ou azoté n'est pas pris en compte.

Ainsi, chaque jour, le parcours physiologique (UPVT) est donné par l'équation suivante :

$$UPVT = UDEV * RFPI * RFVI.$$

Les durées séparant les stades successifs de développement sont propres à chaque variété.

##### ➤ Action de la température (UDEV)

L'action de la température est linéaire entre un seuil minimal et maximal (Figure 10.4). Dans l'OAD phéno, la fonction bilinéaire a été retenue (tracé bleu sur la figure ci-dessous). La température minimale a été fixée à 0°C. La température maximale a été fixée à 35°C. Cela signifie qu'en dessous de 0°C, la plante ne se développe pas et que des températures supérieures à 35°C ne participent pas plus au développement de la plante qu'une température de 35°C.

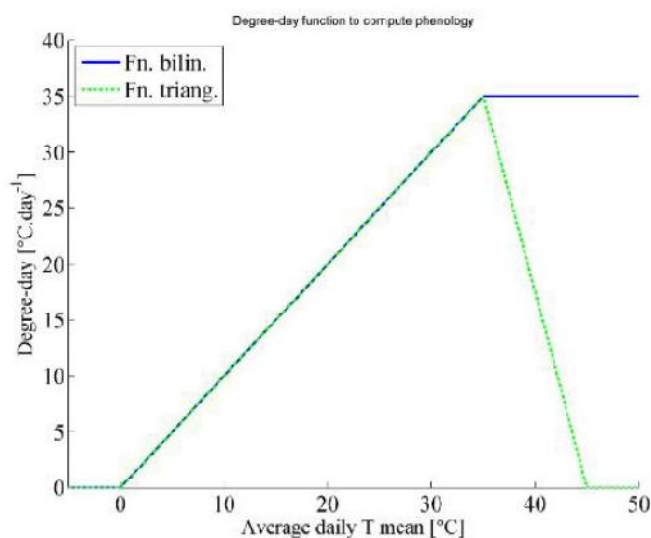
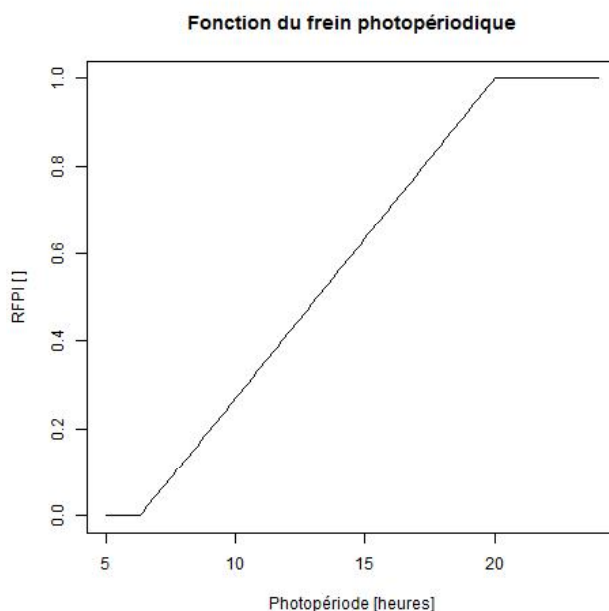


Figure 10.4 – Fonction liant UDEV à la température moyenne de l'air.

##### ➤ Action de la photopériode (RFPI = frein photopériodique)

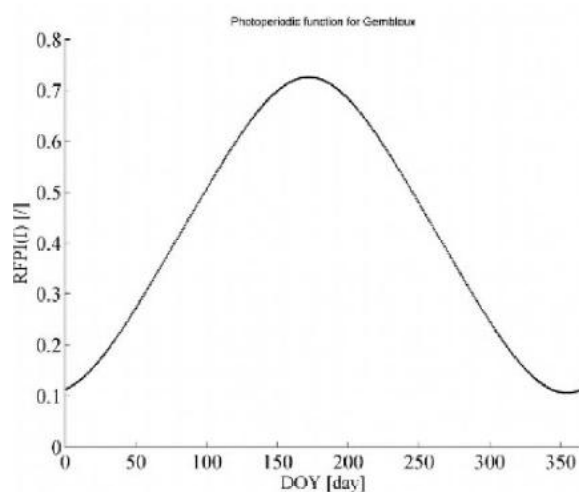
Le froment, est une plante photopériodique. Cela signifie que son développement est fonction de la durée du jour et que la seule température ne suffit pas à assurer son développement. L'épi devient plus sensible au froid dès lors qu'il a commencé à monter. Les deux freins (vernalisation et longueur du jour) permettent que les stades sensibles n'arrivent que lorsque les températures commencent à se radoucir.

La Figure 10.5 montre le lien entre la longueur du jour et le frein photopériodique (RFPI). Le frein photopériodique s'applique entre les photopériodes seuils. En-dessous de 6 heures 20 minutes de jour, le froment ne se développe pas sous l'effet d'un verrou photopériodique. Au-dessus de 20 heures de jour, le développement de la plante n'est plus freiné par la longueur du jour. Ce frein photopériodique agit du stade d'émergence au stade floraison. Après la floraison, le développement du froment n'est plus freiné par la photopériode.



**Figure 10.5 – Graphique de la fonction liant le frein photopériodique (RFPI) à la longueur du jour.**

En Belgique, la durée minimale du jour atteinte aux alentours du 21 décembre est d'un peu moins de 8 heures. Même lors des jours les plus courts de l'année, le verrou photopériodique n'est donc pas atteint. La photopériode dépendant de la latitude, la Figure 10.6 montre la fonction liant le jour de l'année en jours juliens et le RFPI à Gembloux.

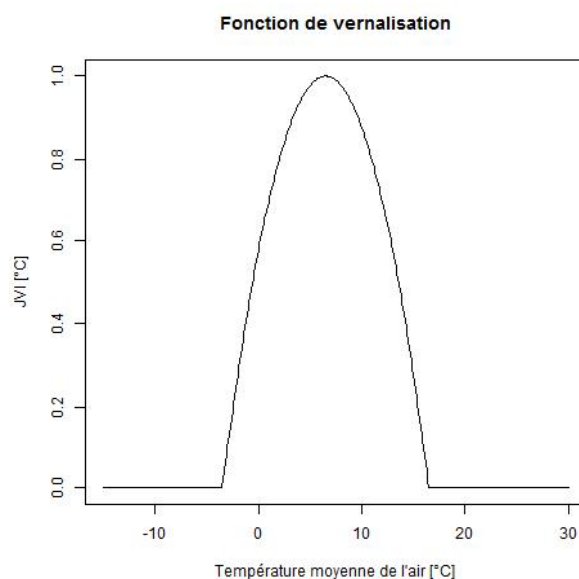


**Figure 10.6 – Graphique de la fonction liant les jours juliens au frein photopériodique (RFPI) à Gembloux.**

➤ **La vernalisation ou les besoins en froid (RFVI = frein de vernalisation)**

Un blé d'hiver a des besoins en froid pour monter en épi. La non satisfaction des besoins en froid bloque (RFVI = 0) ou ralentit le développement des cultures (RFVI <1).

Les besoins en froid sont définis par un nombre de jours vernalisants et la valeur vernalisante d'un jour donné (JVI) est fonction de la température. La Figure 10.7 montre la fonction liant la température journalière moyenne de l'air et la valeur vernalisante de la journée telle qu'implémentée dans l'OAD phéno. Les valeurs minimales et maximales sont de respectivement -3.5°C et 16,5°C. Le maximum de la fonction est à 6.5°C.



**Figure 10.7 – Graphique de la fonction liant la valeur vernalisante d'un jour (JVI) à la température moyenne de l'air.**

Le décompte des jours vernalisants démarre à la germination des cultures. Le verrou lié aux besoins en froid est levé après 7 jours vernalisants. Le frein lié aux besoins en froid se fait ressentir jusqu'à atteindre 45 jours vernalisants (voir figure 8). Ce seuil peut changer en fonction des variétés dont les besoins en froid sont caractérisés par l'alternativité.

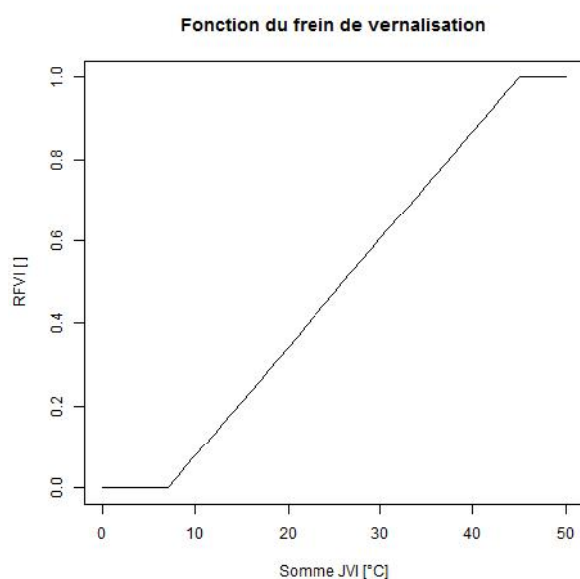


Figure 10.8 – Graphique de la fonction liant le frein de vernalisation (RFVI) et la somme des jours vernalisants (JVI).

### 1.2.2 Adaptation du modèle aux variétés cultivées en Belgique

Les formalismes du modèle présentés ci-dessus nécessitent d'être paramétrés en fonction des variétés cultivées en Belgique. Un travail de caractérisation des variétés a été réalisé sur base des observations au champ effectuées par le CRA-W. Les paramètres variétaux nécessaires pour alimenter l'OAD sont l'alternativité, la précocité à l'épiaison, la précocité à la floraison et la précocité à la maturité.

#### a. L'alternativité

Tableau 10.1 – Correspondance alternativité – vernalisation

[4]

Note	ALTERNATIVITÉ	Nb de jours vernalisants nécessaires
1	Très hiver	60 jours
2	Hiver	50 jours
3	Hiver à 1/2 Hiver	45 jours
4	1/2 Hiver	40 jours
5	1/2 Hiver à 1/2 Alternatif	32 jours
6	1/2 Alternatif	25 jours
7	Alternatif	15 jours
8	Alternatif à Printemps	10 jours

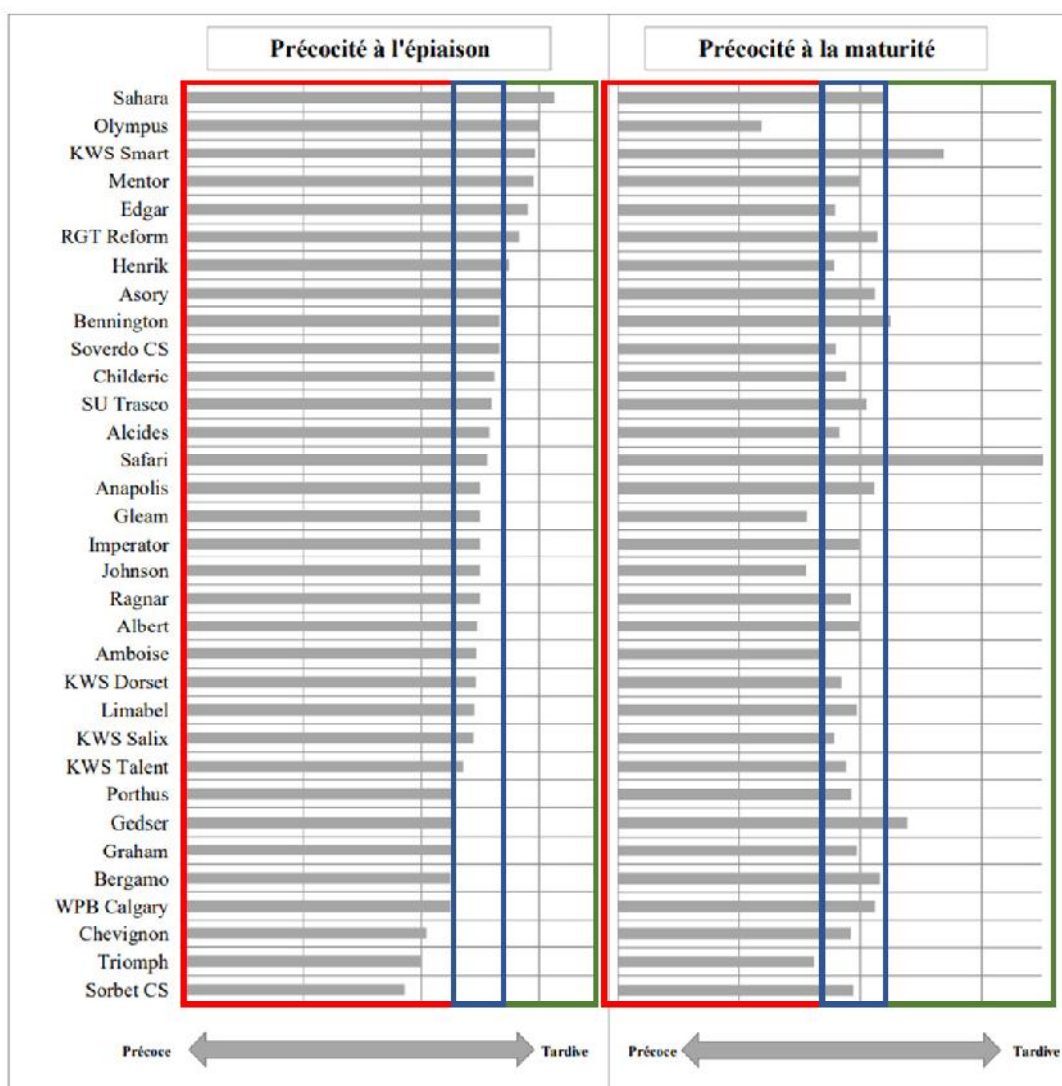
L'alternativité caractérise le besoin en froid relatif à une variété. Selon le nombre de jours vernalisants nécessaires, une note d'alternativité est attribuée sur une échelle de 1 à 9 (voir

Tableau 10.1). Cette information n'est pas facilement disponible auprès des distributeurs qui préfèrent communiquer sur la sensibilité au froid. Le nombre de jours vernalisants pour les variétés implémentées dans l'OAD phéno a été fixé à 45 jours (note de 3, classe « Hiver à demi-hiver »). En Belgique, pour des blés d'hiver semés jusqu'à mi-novembre, les besoins en froid sont toujours couverts. Ce paramètre n'est donc pas limitant jusqu'à présent.

### b. La précocité

La précocité du froment à l'épiaison, à la floraison et à la maturité change en fonction des variétés. Afin d'intégrer cet aspect, trois classes de précocité ont été définies : précoce, moyenne et tardive. La précocité des variétés wallonnes a été estimée en se basant sur le classement présenté dans le Livre Blanc Céréales [5]. Le Tableau 10.2 présente le classement des variétés wallonnes selon leur précocité à l'épiaison et leur précocité à la maturation.

**Tableau 10.2 – Classement des variétés wallonnes selon leur précocité à l'épiaison et leur précocité à la maturation.**



Selon leur degré de précocité, le nombre d'UPVT nécessaires pour atteindre les stades



## 10. Perspectives

---

« épiaison », « floraison » et « maturité » est adapté. L'attribution du nombre d'UPVT par classe de précocité a été réalisée sur base d'essais menés au CRA-W. Le Tableau 10.3 présente les paramètres implémentés dans l'OAD phéno.

**Tableau 10.3 – Nombre d'UPVT selon la précocité à l'épiaison, floraison et maturité.**

Stade	Précoce	Moyenne	Tardive
Epiaison	540	575	610
Floraison	625	670	715
Maturité	1350	1450	1550

### 1.2.3 Validation qualitative du modèle

La saison 2017-2018 a été exceptionnelle d'un point de vue météorologique. Voici l'extrait d'une publication présentée au livre blanc céréales de septembre 2018 [6].

*« Les quatre premiers mois ont bénéficié de conditions météorologiques parfaites.(...) A partir du mois de mars, le temps a, une fois de plus, perdu toute logique et confondu le fil des saisons. L'hiver est revenu en force, les températures sont redescendues sous les -5°C. (...) Au mois d'avril, les températures se sont envolées pour approcher les 30 degrés à plusieurs reprises. (...) Les mois d'avril, mai, juin et juillet ont connu des températures dignes de la région Méditerranéenne. (...) les moissons ont été plus précoces que jamais. Elles ont débuté avant le 15 juillet dans l'ouest du pays et au 1<sup>er</sup> août, bien rares étaient les froments encore sur pied. ».*

Cette année était remarquable et l'OAD phéno répond bien aux conditions météorologique et a bien reproduit ces particularités tel qu'illustré à la Figure 10.9.

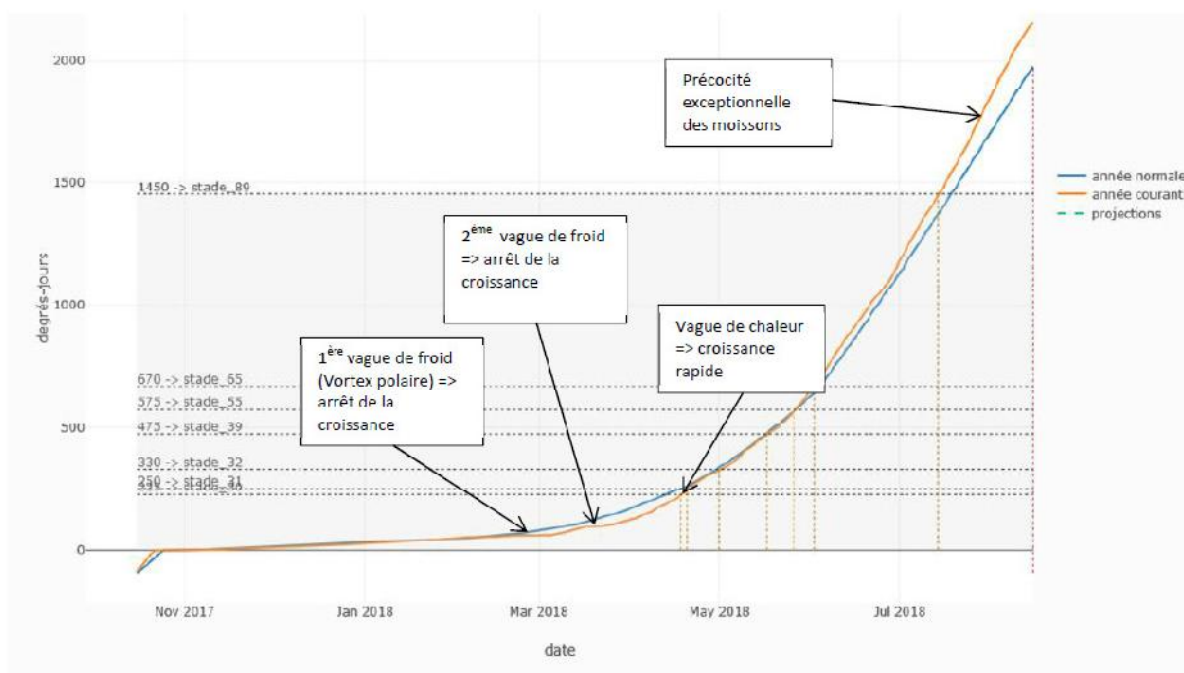


Figure 10.9 – Simulation de la croissance du froment pour la variété Albert pour un semis au 15/10/2017 à 7 km de Louvain-la-Neuve.

### 1.2.4 Les limites du modèle

L'OAD phéno est le fruit de plusieurs années de recherche. Les formalismes qui le soutiennent ont été validés pendant de nombreuses saisons, dans différents contextes pédoclimatiques et les sorties ont été confrontées à la réalité de terrain. Cependant les limites suivantes doivent être mentionnées. La principale réside dans la caractérisation des variétés cultivées en Wallonie : les paramètres d'alternativité et de précocité que requiert le modèle ne sont pas toujours connus précisément et doivent être estimés sur base d'observations réalisées en champ. Un premier travail a été réalisé mais pourra être affiné en particulier sur la précocité des variétés.

De plus, de nouvelles variétés font chaque année leur apparition sur le marché. A nouveau, leur caractérisation demande des observations en champs et donc du temps. Toutes les variétés ne seront donc pas directement disponibles dans l'OAD phéno.

### 1.2.5 Se familiariser avec un nouvel outil

Dans la version « agriculteur », l'OAD phéno sera consultable par quiconque. L'utilisateur n'aura que trois paramètres à encoder afin de lancer une simulation : la variété semée, la date de semis et la localisation de sa parcelle. Les températures journalières moyennes (passées, temps réel, prévisions à 7 jours et moyennes historiques) et la longueur du jour sont automatiquement déduites de la localisation géographique.

Dans la version « expert », l'OAD phéno sera consultable moyennant l'obtention de codes d'accès. Cette version offrira plus de latitude dans la paramétrisation des simulations.

### **1.3 OAD « CECIBLE » (cécidomyie ... blé ... c'est ciblé !)**

#### **Prévision des émergences de cécidomyie orange du blé, *Sitodiplosis mosellana* Géhin**

##### **1.3.1 Mystère autour de l'émergence...**

Lorsque les gaines éclatent et laissent apparaître l'épi, le froment entre dans la phase de son développement où il est vulnérable à la Cécidomyie orange du blé. Cette phase s'étend jusqu'à la fin de la floraison. La fenêtre de vulnérabilité du froment est d'une dizaine de jours.

Selon les années, plus de quarante jours peuvent séparer les dates d'émergences de la cécidomyie orange. Lors d'années à émergences très précoces, la plupart des froments ne sont pas encore en épis lors des vols de cécidomyies et la culture échappe à l'insecte. A l'autre extrême, lorsque les émergences sont très tardives, les froments ne sont plus vulnérables à l'insecte lorsque ce dernier émerge. La plus ou moins bonne coïncidence entre la phase vulnérable du blé et l'occurrence des émergences est donc critique en termes de risque. Pouvoir déterminer le moment des émergences, c'est aussi pouvoir dire si l'insecte présente un risque et pouvoir l'annoncer aux céréaliers.

L'OAD « CECIBLE » est un des aboutissements de travaux de recherches et d'observations sur la cécidomyie orange du blé entamés par le CRA-W en 2005, et poursuivis sans interruption jusqu'à ce jour. L'objectif principal de ces travaux était de comprendre l'enchaînement des facteurs de développement déterminant au final le moment de l'émergence des adultes.

Pourquoi l'acronyme « CECIBLE » ?

- « **CECI** », pour Cécidomyie : le ravageur concerné,
- « **BLE** », pour Blé : la principale culture cible,
- « **CECIBLE** » parce qu'en prononçant cet acronyme, on entend « **C'est ciblé** », ce qui évoque l'objectif de précision poursuivi dans la construction de cet OAD.

##### **1.3.2 A la recherche des facteurs de développement**

La cécidomyie orange du blé est univoltine, ce qui signifie qu'elle ne fait qu'une seule génération par an. On pourrait s'étonner du fait que les larves quittant les épis au début juillet, pour rejoindre le sol humide et tiède, ne poursuivent pas leur développement, alors que les conditions semblent s'y prêter.

###### **a. Le paradoxe de la diapause**

La larve qui pénètre dans le sol en juillet est arrêtée dans son développement par une « diapause », un blocage physiologique qui l'empêche d'évoluer en nymphe puis en adulte. Ce blocage durera tant que la larve n'aura pas subi une quantité suffisante de froid (voir Figure 10.10). De façon très paradoxale, en même temps qu'il empêche l'insecte de progresser dans son développement, le froid va avoir pour effet de lever la diapause, et de rendre l'insecte sensible aux bonnes conditions de développement qui surviendront plus tard.

Dans la nature, la larve de cécidomyie est d'abord insensible aux bonnes conditions de développement (de juillet jusqu'à la fin de l'automne). En hiver, le froid lève la diapause, mais sans permettre la reprise du développement. Cette dernière nécessite une phase de bon temps, c'est-à-dire le printemps. La diapause permet donc à l'insecte d'éviter des émergences à des périodes de l'année, où par exemple, il ne trouverait plus d'épi où aller pondre.

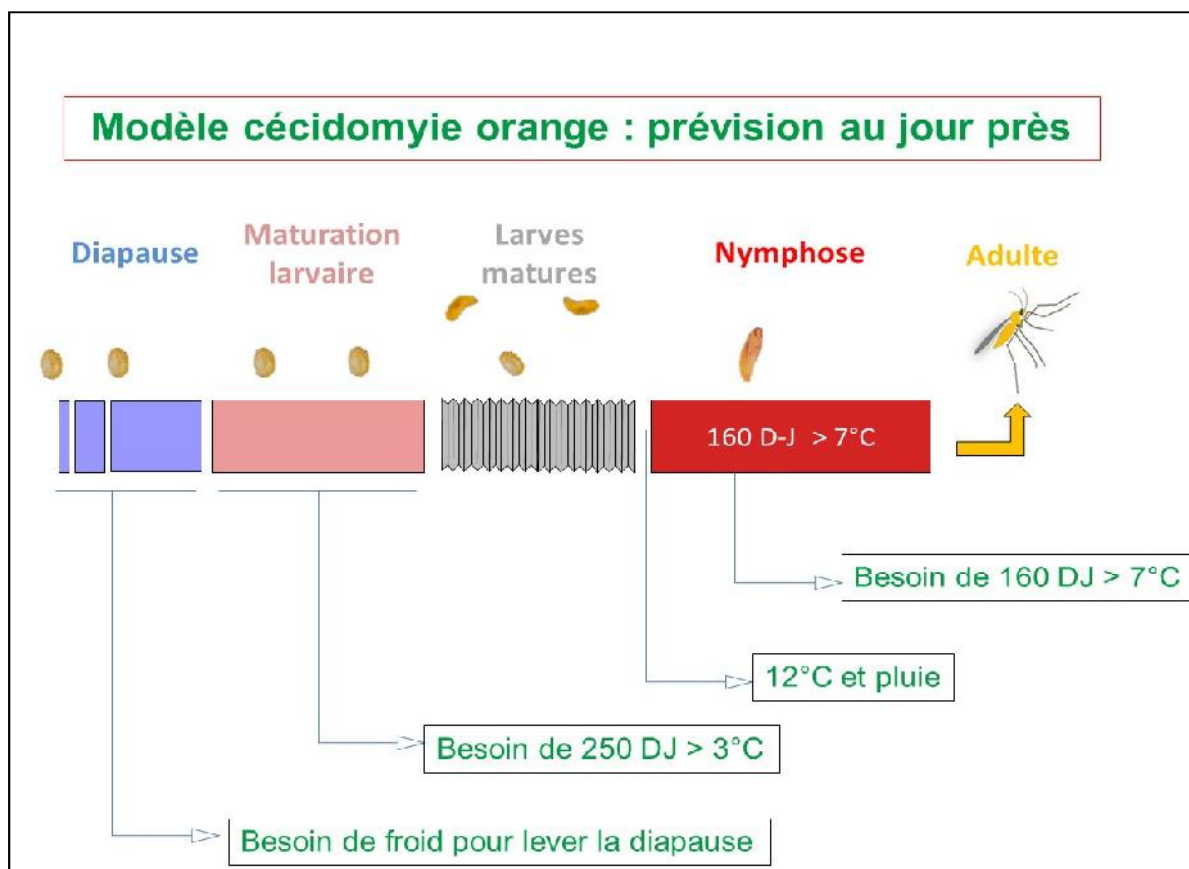


Figure 10.10 – Formalisme du modèle cécidomyie orange.

#### a. Capitaliser les températures > 3°C

Une fois la diapause levée, toute température supérieure à 3°C permettra à la larve de progresser vers la maturité. Plus les températures seront élevées, plus rapide sera la maturation des larves. Il a été calculé qu'il fallait 250 degrés-jour en base 3, c'est-à-dire > 3°C, pour que les larves atteignent la maturité.

#### b. Double signal nécessaire pour induire la nymphose

Les larves matures peuvent rester plusieurs semaines sans plus progresser, jusqu'à ce que survienne un double signal constitué d'une température d'au moins 12°C, accompagnée d'une pluie. Ce double signal va induire la nymphose, et la pluie sera appelée « pluie inductrice ».

### c. Dernière ligne droite

Entre la pluie inductrice et l'émergence des adultes, il suffit d'une nouvelle capitalisation de 160 degrés-jour en base 7 ( $> 7^{\circ}\text{C}$ ).

### 1.3.3 Fiabilité et limites du modèle

Ce modèle, appliqué aux 13 dernières années, a prédit les émergences avec une très grande exactitude. En effet, l'écart maximum observé entre émergences prévues et émergences observées a été de deux jours et, en moyenne, la prévision est d'environ  $\frac{1}{2}$  jour. La prévision de l'émergence apparaît donc très fiable.

Toutefois, un modèle reste un modèle, et il n'est jamais à l'abri d'un scénario météorologique exceptionnel, qui le prendrait en défaut. Ainsi, dans le modèle développé sur la cécidomyie orange, on a considéré que la quantité de froid nécessaire à la levée de diapause était acquise au 1<sup>er</sup> janvier. Cette date, définie arbitrairement, n'a évidemment aucune signification biologique. Elle a été prise par facilité. On aurait tout aussi bien pu choisir le 20 décembre ou le 10 janvier. Le 1<sup>er</sup> janvier signifie simplement « le cœur de l'hiver », un moment où le développement, s'il n'est pas complètement à l'arrêt, est néanmoins très ralenti.

Il reste donc une inconnue sur la quantité réelle de froid nécessaire à lever la diapause. De même, il reste une inconnue sur le début de la capitalisation de températures supérieures à  $3^{\circ}\text{C}$  nécessaire pour la maturation des larves. Ces inconnues ont peu d'impact sur la détermination de la date d'émergence des adultes tant que l'hiver reste l'hiver ... En revanche, si les mois d'hiver étaient encore plus doux que ceux des dernières années, on pourrait se demander si la première accumulation de températures ne serait pas reculée (levée de diapause retardée par manque de froid) ou accélérée (températures élevées après la levée de diapause). Il faudra donc accompagner cet OAD par des observations de terrain, en particulier si les conditions sont exceptionnelles, ou si les pluies inductrices ne sont pas faciles à identifier.

### 1.3.4 Se familiariser avec un nouvel outil

L'OAD « CECIBLE » sera consultable par quiconque. Afin d'accompagner les premières utilisations, il est prévu d'assortir les prévisions d'émergences calculées par l'OAD d'explications et de résultats d'observations effectuées sur le territoire. Cet OAD est un outil pour mieux anticiper d'éventuelles attaques de cécidomyie. Il est aussi, et surtout dans ses premières utilisations, une invitation à aller au champ, pour confirmer ou rectifier les prévisions.

## 1.4 La plateforme Agromet

Pour être opérationnels et accessibles au public, les deux outils présentés ci-dessus ont été implémentés sur la plateforme Agromet. Cette plateforme assure la remontée, la gestion et la diffusion de données météorologiques en temps réel.

Les observations météorologiques proviennent actuellement des 30 stations qui équipent le réseau Pameseb du CRA-W (voir Figure 10.11) : lorsqu'un utilisateur sélectionne sa localisation, les modèles tournent avec les données météorologiques provenant de la station la plus proche.

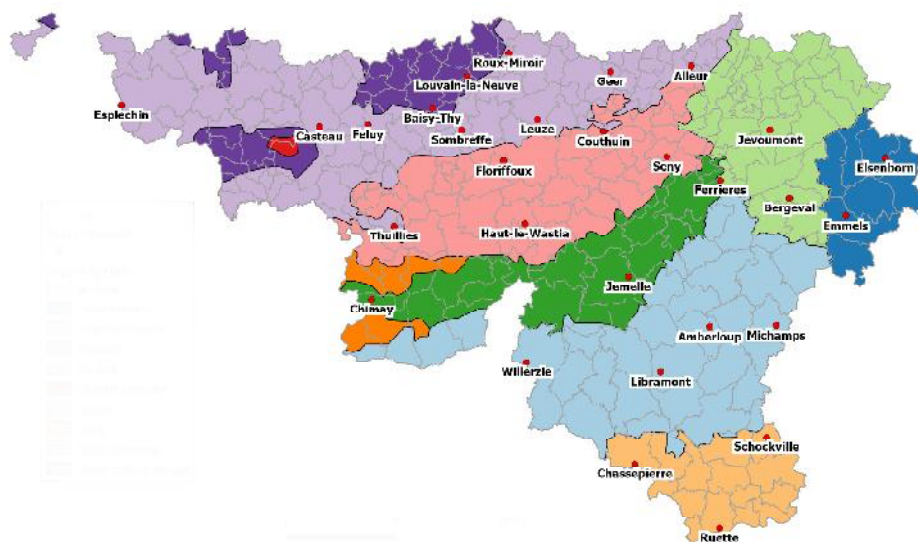


Figure 10.11 – Carte des stations du réseau Pameseb du CRA-W.

Un modèle, s'il fait intervenir des températures, ou surtout des pluies, ne fournit des renseignements corrects qu'à proximité des stations météorologiques où ces paramètres ont été mesurés. Le projet AGROMET, projet de recherche du CRA-W réalisé en collaboration avec l'IRM, est actuellement en cours et a pour objectif de spatialiser les données météorologiques selon un maillage de 1 km<sup>2</sup> couvrant l'ensemble de la Wallonie. Ce réseau de stations météorologiques virtuelles permettra de faire tourner les OAD pour n'importe quel point du territoire. Pour n'importe quelle parcelle, l'OAD CECIBLE donnera les dates prévues d'émergence de cécidomyie orange du blé et l'OAD Phéno donnera le stade de développement du froment.

L'OAD CECIBLE est en particulier très sensible aux précipitations : des épisodes orageux très localisés peuvent entraîner l'émergence de cécidomyies. Il est dès lors très important de suivre les pluies avec une haute résolution spatiale. Pour cela, la plateforme Agromet utilise les cartes de pluies horaires dérivées des images radar de l'IRM.

Les prévisions météorologiques sur sept jours sont également intégrées aux outils. Tout en gardant un regard critique vis-à-vis de celles-ci, cela permet en saison de simuler l'évolution de la situation pour les prochains jours. Au-delà de sept jours, les outils sont alimentés avec les moyennes calculées sur tout l'historique disponible par station météorologique de manière à simuler la suite de la saison en conditions « normales ».

### **1.5 Perspectives d'amélioration**

Les outils présentés lors de ce livre blanc correspondent à une première version. Dans un premier temps, ces outils sont volontairement simples de sorte à faciliter leur prise en main et à assurer leur robustesse. Le travail de recherche réalisé par l'ULiege et le CRA-W va permettre de continuer à les améliorer. Voici quelques améliorations envisagées :

- OAD Phéno :
  - affinage de la caractérisation des variétés cultivées en Wallonie
- OAD CECIBLE :
  - prise en compte du stock de larves dans le sol et meilleure quantification de l'intensité des émergences dans l'OAD cécidomyies ;
  - étude sur la quantité réelle de froid nécessaire à lever la diapause ;
  - couplage avec l'OAD phéno pour aller vers un outil d'avertissement ;
- plateforme AGROMET :
  - spatialisation des températures journalières
  - diffusion des sorties des OAD sous forme de cartes.

#### **Bibliographie**

[1] Site internet de STICS : <https://www6.paca.inrae.fr/stics/>

[2] N. Brisson, B. Mary (2002). *STICS – Notice concepts et formalismes*. INRA 89p.

[3] Source image : shutterstock - Image ID : 1298812864

[4] <https://www.lgseeds.fr/fr/est-ce-possible-de-semer-du-ble-d-hiver-en-mars>

[5] Livre blanc céréales

[6] Livre Blanc Céréales Edition septembre 2018. Jacquemin G., Saison culturale 2017-2018, 3 pages