

Vers une modélisation globale du fonctionnement d'une culture de colza d'hiver

Philippe LETERME

CETIOM, 174, avenue Victor Hugo, 75116-Paris, France.

L'objectif de cette note est de présenter les bases de construction d'un modèle de fonctionnement d'une culture de colza devant permettre la comparaison des différents itinéraires techniques envisageables (niveaux de rendement obtenu, de charges, de marge brute).

Aujourd'hui, ce modèle est en phase de conception et n'a pas encore atteint son degré d'évolution final. La phase de test et de validation n'est qu'à peine commencée et apportera sûrement un certain nombre de modifications, mais nous pensons que les principes de conception demeureront inchangés.

I - CONCEPTION DU MODELE

L'architecture générale est présentée dans l'organigramme ci-joint. Nous allons successivement décrire les différents modules fonctionnant en interaction pour constituer le modèle global.

1) Le module "Fonctionnement du peuplement végétal" (FPV)

C'est le module moteur de l'ensemble car il permet de calculer l'évolution de la croissance du peuplement et l'élaboration progressive des composantes du rendement.

a) Les principes

La simulation de la croissance est faite à partir de deux sous-modèles:

- dans les premiers temps de fonctionnement, à une période où l'état de croissance des plantes est réduit, on considère que cette croissance est exponentielle en fonction du temps, exprimé en somme de degrés-jour. Les paramètres intervenant sont alors le taux relatif de croissance (dMS/MS) par unité de temps et le niveau de matière sèche initial.

- ensuite, quand l'état des plantes est tel que des phénomènes de compétition intra-peuplement entrent en jeu, la croissance est simulée à partir de l'interception du rayonnement incident. Les paramètres constitutifs du sous-modèle sont alors le coefficient d'extinction du rayonnement dans le couvert végétal, le coefficient de conversion du rayonnement en matière sèche, ainsi que le taux d'affectation de la matière sèche formée aux feuilles et la masse surfacique de ces feuilles.

L'élaboration des composantes du rendement est simulée à partir du début floraison en utilisant les modèles de fonctionnement de fin de cycle développés par Leterme (1985). A partir du niveau d'indice foliaire de début floraison, un nombre de fleurs produit par unité de surface est estimé par régression et ensuite ces modèles permettent, en fonction des facteurs du milieu d'estimer successivement le taux de réussite des fleurs, et donc le nombre de siliques par m², le nombre de grains par silique et finalement le rendement.

b) L'intervention des facteurs du milieu

Les calculs aboutissant à ces simulations se réalisent avec un pas de temps de 5 jours. Les facteurs du milieu intervenant directement au niveau du module FPV sont d'ordre énergétique (rayonnement, température), hydrique (précipitations, stockage d'eau dans le sol) et nutritionnel (azote).

Le rayonnement intercepté I est estimé à partir du rayonnement incident IO en appliquant un modèle dérivé de la loi de BEER:

$$I = IO (1 - e^{-K LAI})$$

où K est le coefficient d'extinction du rayonnement dans le couvert végétal.

La température intervient de 4 manières différentes:

- de façon cumulée comme unité de temps biologique (somme de degrés-jour);

- en temps que paramètre susceptible de diminuer l'efficacité du processus de croissance. Nous avons considéré que la croissance était nulle en dessous de 0° et n'était plus sous l'influence directe de la température au-dessus de 10°;

- les températures minimales absolues de chaque pentade sont utilisées pour estimer les pertes de pieds, en interaction avec la densité de peuplement et la matière sèche accumulée à la fin de l'automne (intégration des problèmes liés à une élévation caulinaire automnale ou à une croissance insuffisante);

- les températures minimales interviennent aussi dans la dégradation hivernale de feuilles et la réduction consécutive d'indice foliaire et de matière sèche.

L'eau est prise en compte pour évaluer le degré de satisfaction des besoins hydriques du peuplement. Pour chaque pentade, le rapport ETR/ETM est estimé à partir des caractéristiques climatiques, des coefficients culturaux (ETM/ETP) et de la quantité d'eau disponible (pluies, irrigation, niveau de remplissage de la réserve utile estimée dans le module «milieu»). La croissance est obtenue en multipliant ETR/ETM par la croissance découlant du rayonnement intercepté et de la température.

De la même façon, le rapport ETR/ETM paramètre les variables déterminantes qui sont calculées en fin de cycle pour estimer les composantes du rendement.

Nous avons considéré que l'azote disponible dans le milieu (estimé dans le module "milieu") est absorbé par le peuplement dans la mesure où, d'une part les conditions d'humidité du sol le permettent (paramétrage par le niveau de remplissage de la réserve utile, sous l'hypothèse que le dessèchement du profil progresse à partir de la surface) et d'autre part l'absorption de cette quantité d'azote n'entraîne pas une teneur des plantes supérieure à un certain seuil. Dans ce cas, on plafonne l'absorption à la quantité permettant d'arriver à cette teneur-seuil maximale.

Une fois déterminée la quantité d'azote absorbable, le modèle calcule la quantité de croissance maximale permettant de maintenir la teneur au-dessus d'un seuil minimal. La croissance est obtenue en prenant la plus faible des valeurs entre croissance autorisée par l'azote et croissance autorisée par le rayonnement, l'eau et la température.

Cela étant calculé, la teneur en azote de fin de pentade et la quantité d'azote résiduelle dans le milieu sont déterminées et servent de valeurs initiales pour les calculs de la pentade suivante.

De même que pour l'eau, ces calculs sont utilisés pendant la floraison pour envisager d'éventuels avortements de siliques liés à un défaut d'alimentation azotée.

c) Le déroulement du cycle de la culture

D'une manière empirique, en mettant à profit l'ensemble de références acquises par le CETIOM, nous avons estimé le déroulement des stades au cours du temps, exprimé en somme de degrés-jour.

d) La prise en compte des différences variétales

D'une manière, là encore empirique, nous avons pris en compte les différences variétales en affectant à chaque variété une batterie de valeurs correspondant au:

- déroulement phénologique du cycle (précocité);
- aux paramètres de fonctionnement du peuplement intervenant dans la simulation de la croissance et de l'élaboration des composantes du rendement;
- à la sensibilité aux agressions d'ordre parasitaire (module "parasite").

e) La prise en compte de l'itinéraire technique

Il intervient de 2 façons. Tout d'abord en initialisant un certain nombre de variables par la détermination de la date et densité de semis, et la variété. Ensuite, par l'ensemble des modifications de milieu qu'entraînent les interventions culturales: enrichissement du milieu en azote par la fertilisation, baisse de la pression parasitaire par les traitements phytosanitaires par exemple.

f) Conclusion

La variable de sortie majeure du module qui vient d'être décrit dans ses grandes lignes est constituée par le rendement calculé à partir des caractéristiques de milieu (sol, climat) et d'itinéraire technique, dans une situation indemne de toute atteinte parasitaire (maladies, ravageurs animaux, mauvaises herbes). Ce rendement va être éventuellement diminué par des parasites, qui font l'objet du module "parasite".

2) Le module "Parasite"

Nous nous bornerons à en décrire les grands principes. Dans la version actuelle du prototype, la modélisation globale du fonctionnement de la culture est présentée sous la forme d'un jeu de simulation où le consultant est amené à conduire sa culture en s'adaptant à l'évolution de la situation. Cela implique de simuler des infestations parasitaires. Dans la suite du texte, nous entendrons l'expression "infestation parasitaire" au sens large, c'est-à-dire regroupant les problèmes de maladies, de ravageurs animaux et d'adventices.

a) Détermination de la pression parasitaire

Les infestations de parasites ont été simulées à diverses époques, soit par une approche probabiliste, conditionnelle ou non (par exemple, la probabilité de subir une attaque de mouche du chou dépend entre autres de la région et de la date de semis), soit en appliquant des modèles décrivant les conditions propices à une intervention (par exemple, vol de charançon de la tige, attaque de sclérotinia).

b) Prise en compte de l'itinéraire technique

Une fois les infestations déterminées, nous avons intégré l'effet des traitements phytosanitaires opérés par l'agriculteur en évaluant le degré d'infestation résiduel suite au traitement, fonction des conditions d'application de ce traitement, essentiellement en considérant le positionnement dans le temps de l'intervention.

c) Evaluation des pertes de production

Nous avons estimé l'impact du degré résiduel de chaque infestation sur le rendement de 2 manières, selon l'infestation:

- soit en affectant le rendement précédemment calculé d'un coefficient réducteur déterminé empiriquement,

- soit en affectant d'un coefficient réducteur une variable intermédiaire du peuplement. Par exemple, nous avons considéré qu'une attaque de mouche du chou entraînait une diminution de la densité de peuplement, et que l'effet éventuel sur le rendement résultait de celui de la réduction du nombre de pieds.

3) Le module "Milieu"

Nous entendons ici le sol, - le climat étant directement pris en compte par ses composantes thermiques, radiatives et hydriques.-

Le sol intervient dans le modèle en temps que réservoir d'eau et fournisseur d'azote.

a) Le réservoir "eau"

A partir de la texture et de la pierrosité, la quantité d'eau cessible aux plantes est estimée par unité de volume prospecté.

La profondeur de sol exploitable par les racines permet de déterminer le niveau maximal de réserve utile atteint lors de l'extension maximale de l'enracinement (obtenue à la floraison). Si la profondeur de sol est supérieure à 1.20 m, on considère que cette profondeur représente l'enracinement maximal.

En cours de cycle, l'évolution du volume de sol prospecté, et donc de la réserve utile, est approchée en considérant que le front de l'enracinement progresse linéairement par rapport à la somme de degrés-jour.

b) La fourniture en azote

A partir des caractéristiques climatiques (température), de l'état d'humidité du profil et des caractéristiques physico-chimiques de la couche labourée (pH, taux de calcaire, taux de matière organique, taux d'argile), un coefficient de minéralisation nette est calculé pour chaque pentade (modèle de REMY cité par TAUREAU 1987). Ce coefficient appliqué à la quantité de matière organique par unité de surface permet de déterminer la fourniture d'azote minéral pentadaire.

A cet azote s'ajoute le reliquat d'azote minéral de sortie d'hiver, que l'on estime régulièrement réparti sur la profondeur d'enracinement et qui est donc rendu progressivement disponible au fur et à mesure de l'enracinement. La valeur de reliquat est fournie par l'utilisateur ou déterminée aléatoirement.

II - TEST ET VALIDATION

Cette étape indispensable n'a pas encore été réalisée. Elle le sera en confrontant les rendements effectivement réalisés dans des parcelles de colza et les rendements calculés. Pour ce faire, le CETIOM dispose d'une importante masse de données rapidement utilisables acquises notamment dans le cadre:

- des essais "Itinéraires Techniques" mis en place depuis 4 ans (environ 1000 parcelles dans une vingtaine de contextes pédo-climatiques différents, avec des itinéraires techniques variés);

- de l'Observatoire Colza, ensemble de parcelles suivies finement depuis la campagne 82/83 dans la région dijonnaise (environ 200 parcelles dans une quinzaine de contextes pédo-climatiques différents, avec des itinéraires techniques variés).

III - CONCLUSION

Le travail présenté dans cette note en est à son début. Il sera présenté sous forme de jeu de simulation (*) à l'occasion de "COLZA 89". A terme, le modèle présenté devrait fournir un outil d'aide à la décision en matière d'itinéraire technique permettant d'optimiser la conduite de la culture.

Les simulations diverses d'occurrence d'événements d'ordre parasitaire seront alors remplacées par une saisie en temps réel d'observations parcellaires. De même, c'est le climat réel contemporain qui servira pour la détermination de la croissance et du rendement.

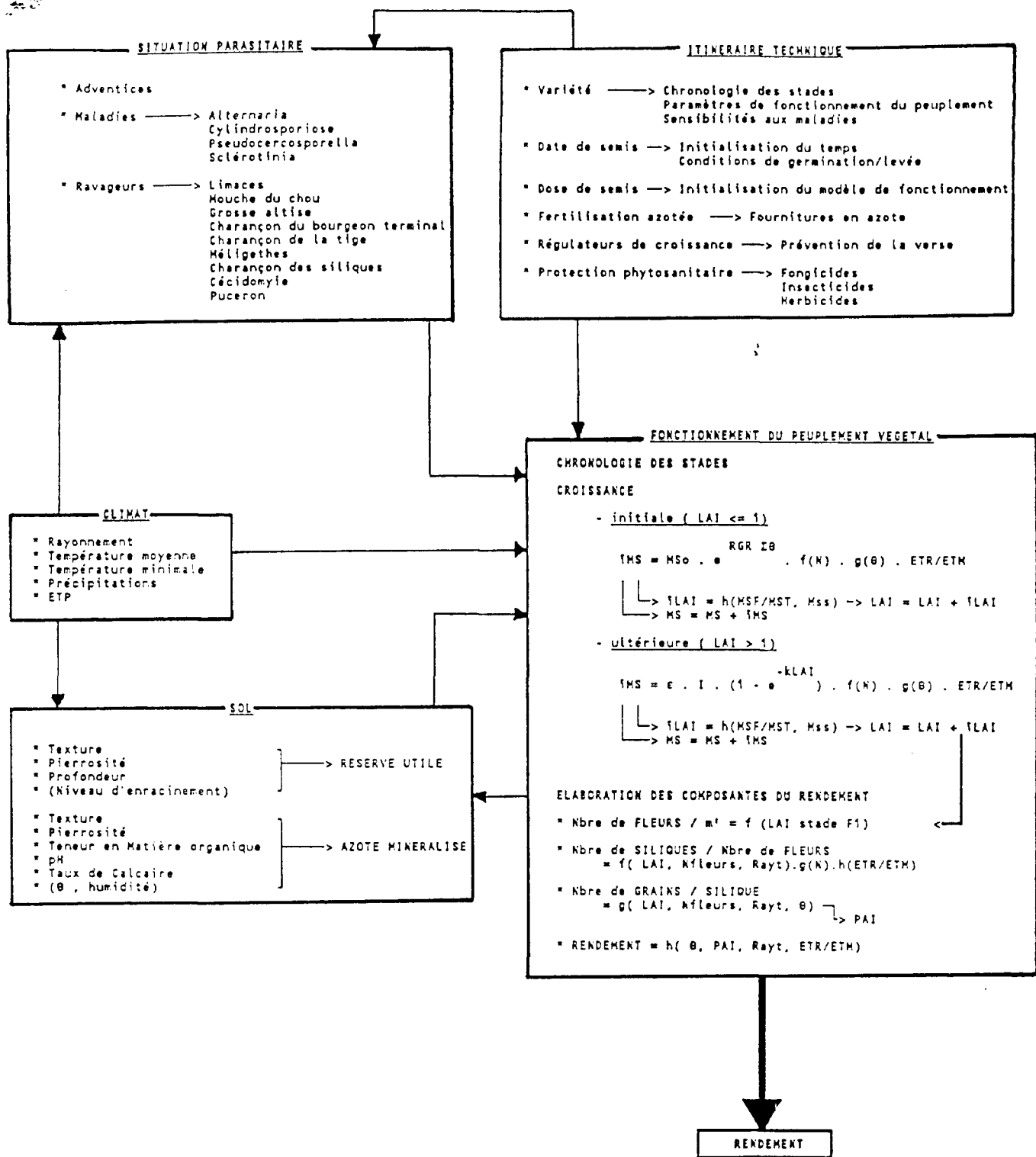
Avant d'arriver à cet objectif, il est nécessaire de procéder au test et à la validation à grande échelle, en déterminant l'ensemble des valeurs de paramètres permettant le meilleur accord entre rendements calculé et observé.

(*) La mise en forme informatique du jeu a été assurée par la Société GERMINAL (Innopole - BP242 - 31328 LABEGE Cedex)

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

LETERME Ph., 1985. - Modélisation de la croissance et de la production des siliques chez le colza d'hiver; application à l'interprétation de résultats de rendement. Tiré à part d'Informations Techniques, 112 pp.

TAUREAU J.C., 1987. - Evaluation de l'offre en azote du milieu Perspectives agricoles, 115, 38-45.



COLIBRI : Organigramme simplifié