

MODELISATION DU FONCTIONNEMENT DU COLZA D'HIVER :
UTILISATION POUR LA CONDUITE DE LA CULTURE

P. Leterme

CETIOM, 174 avenue Victor Hugo, 75116 Paris, France

COLIBRI est un logiciel simulant la culture du colza d'hiver. Sa principale fonction est d'ordre pédagogique : en mettant l'utilisateur face à une situation culturelle réaliste, le logiciel illustre et permet ainsi l'assimilation de concepts agronomiques complexes, comme les interactions entre le climat, le sol et le peuplement végétal.

Aujourd'hui, logiciel d'enseignement assisté par ordinateur ; demain, logiciel d'aide à la décision utilisable par les agriculteurs pour conduire leurs cultures, tous ces produits reposent sur la modélisation des phénomènes présidant à l'élaboration du rendement des cultures.

L'objectif de cette note est de présenter les modèles utilisés pour concevoir COLIBRI : modèles de fonctionnement du peuplement, mais aussi du milieu et de l'environnement sanitaire.

Ensuite, en guise de conclusion, nous envisagerons la suite de la démarche en proposant des éléments de réflexion pour répondre aux questions suivantes : quels outils seront nécessaires aux agriculteurs de demain pour "piloter" au mieux leurs cultures ? comment pourrons nous élaborer ces outils ?

CONCEPTION GENERALE DES MODELES

Nous allons successivement décrire les différents modules fonctionnant en interaction pour constituer le modèle global de simulation de la culture de colza d'hiver.

1 - Le module "Fonctionnement du peuplement végétal"

Il aboutit à l'estimation de l'évolution de la croissance du peuplement et au rendement.

La croissance est simulée par deux sous-modèles. Dans les premiers temps de fonctionnement, la croissance suit un modèle exponentiel en fonction du temps, exprimé en somme de degrés-jour. Les paramètres sont le taux relatif de croissance par unité de temps et le niveau de biomasse initial. Ensuite, quand des phénomènes de compétition intra-peuplement se manifestent, la croissance est simulée à partir de l'interception du rayonnement incident. Les paramètres sont le coefficient d'extinction du rayonnement dans le couvert végétal, le coefficient de conversion du rayonnement en matière sèche et le taux d'affectation de la matière sèche formée aux feuilles et la masse surfacique de ces feuilles.

Les composantes du rendement sont simulées à partir du début floraison grâce à des modèles de fonctionnement spécifiques (LETERME

1985). Ces composantes sont le taux de réussite des fleurs, et donc le nombre de siliques par m² compte tenu du nombre de fleurs évalué par régression du L.A.I. de début floraison, le nombre de grains par silique et le rendement.

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

Le rayonnement intercepté par le peuplement est estimé à partir du rayonnement incident en appliquant un modèle classique dérivé de la loi de BEER.

La température intervient de plusieurs manières : comme unité de temps biologique (somme de degrés-jour), comme paramètre conditionnant la croissance (entre 0 et 10 °). Les températures minimales absolues de chaque pentade servent à estimer les pertes de pieds, en interaction avec la densité de peuplement et la croissance de l'automne (effets d'une élongation caulinaire automnale ou d'une croissance insuffisante). Elles interviennent aussi dans la dégradation hivernale de feuilles.

La satisfaction des besoins hydriques du peuplement est évaluée par le rapport ETR/ETM estimé à partir des caractéristiques climatiques, des coefficients culturaux et de la quantité d'eau disponible. 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 affecte les variables déterminantes des composantes du rendement élaborées en fin de cycle.

Nous avons considéré que l'azote disponible dans le milieu est absorbé par le peuplement si les conditions d'humidité du sol le permettent et si l'absorption de cette quantité d'azote n'entraîne pas une teneur des plantes excessive, supérieure à un certain seuil. Dans ce cas, l'absorption est plafonnée à la quantité permettant d'arriver à cette teneur-seuil maximale. Ensuite, le modèle calcule la 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. En fin de période, teneur en azote et quantité d'azote résiduelle dans le milieu sont calculées et servent de valeurs initiales pour les calculs de la pentade suivante.

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. La date de floraison a été modélisée pour le cultivar BIENVENU, les autres variétés étant exprimées par rapport à cette référence (LETERME, WAGNER, 1991).

L'itinéraire technique 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.

La variable de sortie majeure du module qui vient d'être décrit dans ses grandes lignes est constitué 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"

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.

Les infestations de parasites ont été simulées aux divers stades de la culture soit par une approche probabiliste, conditionnée ou non, soit en appliquant des modèles épidémiologiques connus (par exemple, vol de charançon de la tige). La simulation des infestations d'adventices a été faite à partir des avis d'expert des agents du CETIOM par grande région agricole.

L'effet des traitements phytosanitaires est estimé surtout à partir du positionnement dans le temps de l'intervention.

Nous avons estimé l'impact du degré résiduel d'infestation en affectant soit le rendement précédemment calculé, soit une variable du peuplement, d'un coefficient réducteur déterminé empiriquement.

3 - Le module "Milieu"

Le climat est directement pris en compte par ses composantes thermiques, radiatives et hydriques. COLIBRI fonctionne à partir des données climatiques des 30 dernières années de 12 grandes stations météorologiques représentatives du territoire national.

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

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.

Avant la floraison, l'évolution de la réserve utile est fonction de l'enracinement qui progresse linéairement par rapport à la somme de degrés-jour.

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). Il permet de déterminer la fourniture d'azote minéral pentadaire à partir du taux de matière organique. A cet azote se soustrait la quantité lessivée par pentade, estimée selon un modèle dérivé de celui d'ADDISCOTT (LAFLEURIEL, BOURGEOIS, 1989) ; le cumul de ces valeurs pentadaires fournit une évaluation du risque de pollution nitrique du système de culture pratiqué.

Ces calculs sont initialisés au 1er Aout précédant le semis du colza à partir de valeurs de reliquats laissés par le précédent cultural (quantités d'eau et d'azote) saisies par l'utilisateur.

TEST ET VALIDATION

Ce travail est en cours et se réalise selon deux niveaux d'exigence.

Tout d'abord, la vérification du niveau de vraisemblance globale du système en comparant des courbes de réponse simulées aux éléments de l'itinéraire technique (date de semis, apport d'azote...) à des courbes de réponse connues. Cette vraisemblance se vérifie aussi par l'étude de certains indicateurs de fonctionnement, comme par exemple le rapport entre quantité d'azote absorbé et rendement en grain ou bien entre L.A.I. au début floraison et rendement. Ce niveau de test s'avère suffisant pour le développement d'un outil d'enseignement assisté par ordinateur où ce ne sont pas les valeurs numériques atteintes par les variables qui sont importantes mais leurs sens de variation en fonction des modifications apportées au reste du système (autres techniques, effets du milieu).

Ensuite, la vérification de l'exactitude des valeurs numériques simulées. C'est en confrontant les valeurs simulées à des valeurs réelles que le test et l'amélioration (détermination des valeurs optimales des paramètres) des modèles se font. Les données utilisées sont celles accumulées dans les expérimentations "Itinéraires Techniques" depuis 1984 (LETERME et al, 1991).

EVOLUTION : QUELS OUTILS POUR DEMAIN ?

Les agriculteurs sont confrontés à un contexte de production de plus en plus contraignant. Aux objectifs d'ordre économique (niveaux de revenus, de charges..) s'ajoutent, sous la pression de la société, des objectifs de préservation de l'environnement (POUZET, 1991). Pour atteindre ces objectifs, il est nécessaire de rationaliser au maximum la conduite de la culture afin d'adapter l'utilisation des intrants aux potentialités du milieu.

Cette rationalisation passe par la mise à la disposition des agriculteurs d'outils de pilotage de la culture. Nous n'aborderons pas ici toute la panoplie d'outils envisageables mais nous présenterons les principales fonctionnalités que devront proposer les logiciels d'aide à la décision.

Le principe général de fonctionnement d'un tel logiciel est illustré à la figure 1. A tout moment t_i du cycle, le système doit proposer une simulation de P et M qui sont respectivement les états du milieu et du peuplement. A l'étape $i+1$, l'état du peuplement résulte de son état antérieur et de l'état du milieu, qui correspond à l'état précédent, modifié entre t_i et t_{i+1} "naturellement" par le climat et le peuplement et artificiellement par les techniques culturales (TK $_i$). Pour l'étape suivante, le même schéma s'applique, et de proche en proche on arrive au rendement (ou à tout autre critère sanctionnant le déroulement complet du cycle).

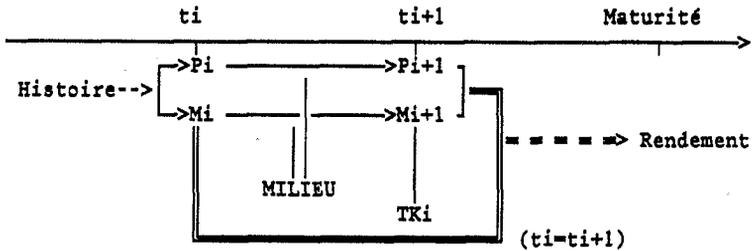


FIGURE 1 : Schéma général de fonctionnement d'un logiciel d'aide à la décision.

A partir de ce fonctionnement général, le logiciel doit pouvoir, à tout moment du cycle, répondre à 2 grands types de question.

Tout d'abord, il doit fournir une estimation du rendement potentiel escomptable correspondant à la situation observée, c'est à dire celui obtenu quand tous les facteurs limitants maîtrisables par l'agriculteur sont levés. Ce potentiel variant avec la date, la densité de semis et la variété, 2 niveaux de potentiels doivent donc être définis: le potentiel de pré-installation et celui compte tenu de la culture installée.

Selon le schéma général de la figure 1, la détermination de ces potentiels demande d'établir la relation entre un état de la parcelle observé au temps t et le rendement, compte tenu du climat à venir qui est inconnu et que l'on doit alors envisager fréquemment. La sortie est donc une distribution de rendements potentiels (valeurs des déciles par exemple).

La question à laquelle il faudrait aussi pouvoir répondre est la suivante : quel serait aujourd'hui le potentiel si j'avais modifié la conduite antérieure. Cela suppose de pouvoir relancer à tous moments des simulations commençant antérieurement mais en conservant les mêmes valeurs pour certains paramètres.

Ensuite, une fois le potentiel fixé, le logiciel doit permettre la détermination de l'itinéraire technique π permettant de l'atteindre ainsi que son coût $c(\pi)$ et la marge correspondante $m(\pi)$. Mais il doit aussi déterminer quel niveau de rendement $r(\mu)$ est escomptable si on utilise un autre itinéraire technique μ , caractérisé par le coût $c(\mu)$. La figure 2 illustre cette démarche : la connaissance des différentes valeurs $m(\pi)$, $m(\mu)$, $m(\mu')$... fournit ainsi des éléments de décision à l'agriculteur.

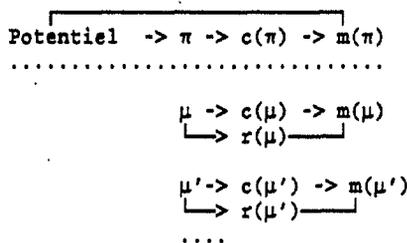


FIGURE 2 : Détermination des itinéraires techniques et des coûts, rendements et marges correspondant.

Il faut noter que toutes les valeurs de rendement et donc de marge sont des distributions, s'affinant au fur et à mesure qu'avance le temps, du fait du caractère aléatoire du climat et des infestations parasitaires à venir.

Après la présentation de ces principales fonctionnalités, il faut mentionner un point particulier, à savoir le type d'informations fournies au logiciel par l'utilisateur. Cette question est particulièrement importante pour la prise en compte de l'état sanitaire. Trois niveaux d'information sont envisagés: tout d'abord, les informations résultant de la simulation. Ce premier niveau d'information indique essentiellement un risque d'infestation et est celui utilisé pour les projections dans l'avenir. Ensuite, les informations résultant, par exemple, d'un avertissement agricole, plus personnalisées que les informations du 1er niveau et utilisables pour évaluer l'état de la culture et du milieu au temps t . Enfin, les informations résultant d'observations directes dans la parcelle, spontanées ou suggérées par les informations des niveaux précédents. Pour évaluer la situation au temps t , la priorité de prise en compte des informations décroît du 3ème niveau au 1er.

Sur un plan plus pratique enfin, tous les agriculteurs interrogés mentionnent la nécessité d'automatiser l'enregistrement en temps réel des informations, notamment météorologiques. Le recours à la télématique est donc impératif sous forme de connexions sur des serveurs météorologiques mais aussi techniques (Service de la Protection des Végétaux) locaux.

Après avoir développé en collaboration avec la société GERMINAL, le logiciel COLIBRI, le CETIOM s'engage maintenant dans la conception d'un logiciel d'aide à la décision dont quelques caractéristiques, tant du fond que de la forme, viennent d'être présentées.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- LAFLEURIEL P., BOURGEOIS A., 1989 - Information-Azote destinée aux agriculteurs. Propositions techniques pour la mise en place d'actions locales
Min. Agriculture, Min. Environnement, Mission Eau-Nitrates
- LETERME P., 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
- LETERME P., DEBOUZIE D., WAGNER D., 1991 - Présentation d'une base de données relative aux itinéraires techniques du colza d'hiver.
8ème congrès intern. sur le colza - Saskatoon 9-11/07/91
- LETERME P., WAGNER D., 1991 - Contribution à la modélisation de la date de floraison du colza d'hiver.
à paraître dans Info. Techn. CETIOM
- POUZET A., 1991 - Le colza d'hiver et l'environnement.
Bull. GCIRC n° 7, 61-66
- TAUREAU J.C., 1987 - Evaluation de l'offre en azote du milieu
Perspectives agricoles, 115, 38-45.