

Un outil d'aide à la décision pour optimiser la conduite des cultures de tomate sous serre : le logiciel Serriste

Si le chauffage et l'aération des serres sont aujourd'hui fréquemment pilotés par des ordinateurs, ces systèmes ne font qu'appliquer des consignes que le producteur doit définir. Cette détermination quotidienne des paramètres de température et d'hygrométrie est rendue délicate par la complexité des interactions entre conditions climatiques et comportement de la culture et par la prise en compte de diverses contraintes économiques, sanitaires ou environnementales.

Le développement des connaissances sur les cultures sous abri et sur les méthodes d'optimisation des processus a permis à l'INRA de proposer une informatisation de cette prise de décision. Le logiciel SERRISTE, mis au point pour la culture de tomates en serre chauffée, élabore des consignes climatiques en fonction des caractéristiques de la serre, des objectifs de production et des prévisions météorologiques pour la journée à venir.

Visant à faciliter le travail des producteurs et à minimiser les consommations de chauffage, la mise au point du logiciel SERRISTE a bénéficié du soutien de l'Agence de l'environnement et de maîtrise de l'énergie (ADEME) ; le logiciel est en cours de valorisation industrielle.

Bases agronomiques

La production sous serre chauffée ne consiste pas à placer les plantes dans des conditions de température estivales. La température, mais aussi l'humidité, la teneur en gaz carbonique de l'atmosphère (ainsi que l'alimentation hydrique et minérale) doivent être ajustées finement, pour tenir compte du rayonnement disponible, de l'état de la culture et des objectifs de production, ou pour éviter l'apparition de conditions défavorables.

Les connaissances mobilisées pour déterminer les paramètres climatiques sont de nature agronomique (écophysiologie de la plante en production) et thermodynamique (comportement de la serre en fonction de ses caractéristiques physiques). Certaines reposent sur des données scientifiques précises, alors que d'autres relèvent du savoir-faire pratique d'experts du domaine.

Pour répondre aux besoins des plantes qui évoluent, une variation circadienne des paramètres climatiques doit être appliquée. Cette question est, de fait, gérée de façon assez simple par les producteurs qui s'en tiennent généralement à la définition de trois périodes :

- une période diurne pour laquelle l'objectif est de favoriser l'assimilation et de maintenir la transpiration à un niveau conforme aux besoins de la plante en eau et en éléments minéraux ;
- une période nocturne durant laquelle la croissance est contrôlée par la température ;
- une période matinale (de une à quatre heures avant le lever

du jour) où il s'agit de préparer la plante à la période diurne suivante et d'éviter l'apparition de condensation sur les feuilles, favorable au développement de maladies comme le *Botrytis* (pourriture grise).

Conception du logiciel

L'approche retenue est une méthode d'intelligence artificielle dite de *résolution par satisfaction de contraintes*. Toutes les connaissances sont exprimées sous forme de contraintes. Pour chaque variable, le domaine des valeurs souhaitables, plus ou moins acceptables ou exclues est défini. Pour élaborer des consignes, le système examine, pour l'ensemble des variables, toutes les combinaisons de valeurs qui satisfont toutes les contraintes. Le mécanisme de résolution est basé sur les algorithmes de filtrage et de recherche arborescente utilisés classiquement en intelligence artificielle. Une fois toutes les combinaisons acceptables de valeurs identifiées, SERRISTE détermine la meilleure selon une hiérarchie de critères dépendants du contexte.

L'élaboration du système comprend deux phases distinctes :

- La première consiste à inventorier et analyser les connaissances (biologiques, physiques et empiriques) nécessaires, à identifier les paramètres pertinents pour décrire les situations et les valeurs qu'ils prennent. L'objectif est de constituer un corps complet de connaissances, formalisées en modules indépendants. Les connaissances sont exprimées soit sous forme de modèles simples de fonctionnement de la culture et de la serre, soit sous forme de relations empiriques, déduites de l'analyse des pratiques des serristes et de l'expertise des chercheurs de l'INRA.

- La seconde phase est la constitution du réseau de contraintes, qui relie et hiérarchise les différentes variables considérées dans la base de connaissances. C'est à ce niveau d'intégration et d'organisation de l'ensemble des connais-

sances et des informations qu'est prise en compte la complexité liée à la multiplicité des objectifs et des contraintes à satisfaire.

Utilisation du logiciel

L'utilisateur doit entrer un certain nombre de données à partir du clavier de l'ordinateur :

- en début de culture, des données concernant la localisation géographique et les caractéristiques de sa serre (dimension, matériau, type de chauffage...) ainsi que la variété cultivée ;
- en cours de culture, tous les matins, des informations concernant la phase de développement de la culture (4 phases ont été distinguées), la vigueur des plantes (forte, bonne, faible), la présence ou non de *Botrytis*, les conditions climatiques réalisées le jour précédent, les prévisions météorologiques (vent, températures minimale et maximale, ensoleillement) pour les 24 h à venir.

A partir de ces données, SERRISTE élabore des consignes climatiques, en procédant par étapes : détermination d'une température moyenne pour la journée, "répartition" de cette température entre les trois périodes, puis détermination des consignes de chauffage et d'aération en tenant compte des contraintes concernant l'hygrométrie. Enfin, les différentes solutions sont classées selon les priorités décroissantes suivantes : éviter l'humidité excessive en présence de *Botrytis*, favoriser la vigueur des plantes, réduire les consommations énergétiques.

L'automatisation de la collecte des informations et de la transmission des données a été recherchée, pour réduire et faciliter le travail de l'opérateur. Ainsi, les prévisions météorologiques sont acquises automatiquement par une connexion à un serveur Minitel. Le logiciel comporte de plus une option "mode automatique", qui permet de récupérer directement les données climatiques de la veille sur l'ordinateur de serre et de reprendre, comme description de l'état de la culture et comme objectif de production, les données du jour précédent. Ce mode automatique permet un fonctionnement même en l'absence du producteur.

Expérimentations et validations

De 1993 à 1997, des tests comparatifs ont été réalisés à l'INRA puis sur quatre sites expérimentaux relevant de

centres techniques de la profession, localisés dans le sud-est, le sud-ouest et en Bretagne. Il s'agissait de comparer deux compartiments de serre identiques, l'un conduit par SERRISTE, l'autre conduit de manière classique et indépendante par un conseiller agricole spécialisé. Dans tous les cas, le suivi agronomique a montré que les différences entre les deux cultures, tant au niveau précocité que rendement, sont très faibles. Les consommations énergétiques sont en revanche nettement distinctes : SERRISTE, qui génère une amplitude thermique journalière plus importante (températures diurnes plus élevées, températures nocturnes plus basses), permet de réaliser des économies de l'ordre de 10 à 15%. Ces différentes campagnes de validation ont confirmé que SERRISTE permet bien d'atteindre des résultats agronomiques comparables à ceux obtenus par un conseiller agricole expérimenté, tout en réalisant des économies d'énergie non négligeables.

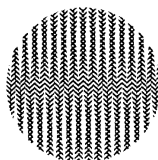
Le logiciel SERRISTE est maintenant en cours de valorisation industrielle et les équipes de l'INRA se mobilisent sur de nouveaux projets. Les exigences croissantes en termes d'efficacité économique, de qualité des produits ou de respect de l'environnement rendent l'aide à la décision de plus en plus nécessaire. Une deuxième génération du logiciel intégrant gestion climatique et gestion de la lutte intégrée (utilisation d'insectes auxiliaires pour lutter contre les ravageurs) est en préparation. L'aide à la décision stratégique qui, à l'échelle de tout un cycle de culture, permettra d'évaluer les performances d'un mode de conduite en termes tant de production, que de coût en énergie ou en main d'œuvre, est également l'objet d'un programme de recherche.

Laboratoires INRA concernés

- Bioclimatologie - Avignon
- Biométrie et intelligence artificielle, Castanet-Tolosan - Toulouse
- Systèmes agraires et développement, Domaine du Mas Blanc, Alénya - Avignon

Contact

- Alba Balestri, chargée de communication du Centre INRA d'Avignon - Tél : 04 90 31 60 00



INRA