

ESTIMATION ET PRÉVISION DES PRODUCTIONS AGRICOLES À L'ÉCHELLE DE LA BELGIQUE À L'AIDE D'UN SYSTÈME INTÉGRÉ "MODÈLE AGROMÉTÉOROLOGIQUE – TÉLÉDÉTECTION"

MISE EN PLACE DU SYSTÈME INTÉGRÉ

R. Oger*, D. Buffet*, B. Tychon**, D. Dehem**, H. Eerens***

*** Centre de Recherches Agronomiques – Rue de Liroux, 9 – 5030 Gembloux - Belgium

** Fondation Universitaire Luxembourgeoise – Avenue de Longwy, 185 – 6700 Arlon – Belgium

* Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek -Centre of Expertise on Remote Sensing and Atmospheric Processes (TAP) Boeretang 200, B-2400 Mol, Belgium.

1. Introduction

En Belgique, l'estimation des productions agricoles des principales cultures industrielles ou maraîchères est réalisée par l'Institut National des Statistiques. Ces estimations sont obtenues en combinant les résultats d'une enquête sur les superficies et d'une enquête consacrée à l'estimation des rendements. L'enquête sur les superficies est réalisée au printemps à l'occasion du recensement agricole. L'enquête sur les rendements est réalisée en deux phases ; une phase provisoire au mois d'août qui permet d'établir des premières estimations des productions au début d'octobre et une phase définitive basée sur une enquête réalisée en décembre à partir d'un échantillonnage représentatif de l'ensemble des exploitations du pays. Cette enquête permet ensuite de calculer une estimation définitive de la production des différentes cultures au niveau des régions, des régions agricoles ou des provinces. Les résultats définitifs sont publiés à la fin de la saison culturale de l'année suivante.

Le but du projet B-CGMS (Belgian Crop Growth Monitoring System) est d'adapter le système de prévision agricole européen aux conditions belges afin de fournir un outil opérationnel d'estimation et de prévision rapide des rendements et des productions agricoles à l'échelle nationale et par région agricole. L'ensemble du système doit permettre notamment de fournir des estimations rapides des surfaces et d'associer les données fournies par les satellites à basse résolution (NOAA-AVHRR, SPOT-VEGETATION) aux informations (indicateurs de rendements) fournies par le modèle agrométéorologique pour l'estimation des rendements. Cet outil doit également fournir des indicateurs qualitatifs décrivant l'évolution de la campagne agricole (indices de végétation, indices de biomasse potentielle ou réelle, déficits hydriques) et un système d'alerte rapide pour la mise en évidence des effets des conditions climatiques défavorables ou exceptionnelles à l'échelle des régions ou des circonscriptions agricoles. L'ensemble des informations générées par le système est mis à la disposition des utilisateurs potentiels au travers d'un bulletin agrométéorologique qui est diffusé régulièrement au cours de la saison sous format papier.

Une des particularités du système est également de pouvoir créer un lien entre le modèle de prévision et l'ensemble des bases de données géoréférencées au travers d'une application informatique qui permet de construire automatiquement des cartes thématiques à partir d'un serveur Web (<http://b-cgms.cragx.fgov.be/>). L'information de ces bases de données est mise à jour régulièrement, ce qui permet aux utilisateurs de disposer d'un outil qui répond aux exigences d'un bulletin électronique et qui soit adapté à leurs besoins spécifiques.

L'objectif de cette présentation est d'essayer de mettre en évidence le caractère opérationnel du système B-CGMS et de montrer qu'il peut répondre à la plupart des objectifs qui avaient été initialement prévus.

2. Présentation du système

D'une manière générale, effectuer des prévisions de rendements ou de productions agricoles signifie donner une information aussi précise que possible sur ces paramètres tout au long de la saison culturale, bien avant que les premières statistiques agricoles officielles ne soient disponibles. On distingue la prévision proprement dite de l'estimation qui s'applique aux situations où il faut évaluer les caractéristiques d'une population par différentes techniques dont l'échantillonnage. On parlera d'estimation lorsqu'on détermine des valeurs de rendements ou de production au moment même ou après la récolte lorsque tous les paramètres ou toutes les données d'entrée du système sont disponibles.

Lorsqu'on parle de prévisions, on doit toujours prendre en considération les différents facteurs qui peuvent influencer la variabilité ou la marge d'incertitude des résultats finaux. Ainsi, l'estimation ou la prévision des productions agricoles nationales, par région agricole ou par circonscription, repose sur la connaissance des surfaces affectées à une culture donnée et du rendement moyen correspondant. Chacun de ces facteurs peut être à son tour divisé en plusieurs composantes dont l'influence peut varier considérablement au cours de la saison. Un des problèmes de la prévision des rendements est bien évidemment l'incertitude qui pèse sur la connaissance des conditions météorologiques futures et dont l'impact ne peut être déterminé a priori. D'une manière ou d'une autre, la prévision d'un rendement doit donc toujours être le résultat de la combinaison de différents types de variables d'entrée au travers d'un modèle statistique. La démarche utilisée dans le projet B-CGMS est brièvement rappelée ci-dessous.

2.1. Estimation des surfaces par culture

Le système de prévision européen a mis sur pied un processus d'inventaire régional à l'échelle européenne chargé d'évaluer les surfaces cultivées à l'aide d'images issues de la télédétection haute résolution. En Belgique le module d'estimation des surfaces a été remplacé par les informations du SIGEC renseignant l'occupation des terres pour chaque culture. Les services du SIGEC (Système Intégré de Gestion et de Contrôle) sont chargés d'encoder les déclarations que les agriculteurs rentrent au Ministère de l'Agriculture pour obtenir des primes par culture. Le parcellaire agricole est ainsi disponible en format numérique pour l'ensemble du territoire. Il fournit une information précise sur l'occupation des terres de chaque agriculteur introduisant une demande. Cette source d'information constitue une des originalités du système B-CGMS.

A partir du mois de mai, les premières déclarations sont progressivement encodées et des premières estimations des surfaces affectées aux différentes cultures peuvent être obtenues dès la fin du mois de mai. Cet échantillonnage n'est malheureusement pas aléatoire (par communes, circonscriptions agricoles, ...). Afin de réduire autant que possible le biais qui peut en résulter, ces informations ont été traduites en matrices de transition, basées sur le rapport du nombre, ou de la surface des parcelles affectées aux différentes cultures au cours de deux années successives (Tableau. 1). Ces matrices donnent la probabilité de passage d'une parcelle d'une culture donnée à une autre. Elles sont établies sur base des observations réalisées au cours des campagnes précédentes et sont mises progressivement à jour au cours de la nouvelle saison par une procédure statistique exploitant les propriétés des chaînes de Markov.

Tableau 1: Matrice de transition déterminée sur base des parcellaires du SIGEC de 1997 et de 1998 (Probabilités calculées à partir des unités de surfaces).

		1998											
		Cere al	Fallow	Fodder	Fodder Maize	Horti-cultural	Others	Perm. Meadow	Potatoes	Rape Seed	Sugar Beet	Winter Barley	Winter Wheat
1997	Cereal	37,8	1,1	1,7	16,8	1,3	9,7	1,2	5,4	0,8	6,1	6,1	12,1
	Fallow	3,2	60,3	1,1	6,2	0,2	4,0	0,6	1,5	0,1	3,7	0,8	18,2
	Fodder	7,3	0,8	32,7	2,3	1,0	6,4	2,2	4,8	0,0	1,8	0,5	19,3
	Fodder Maize	8,7	0,5	1,1	50,3	0,8	4,8	1,2	4,5	0,0	4,2	0,9	22,9
	Horticultural	6,1	0,3	0,8	10,1	43,3	6,0	0,7	15,8	0,0	6,1	0,5	10,1
	Others	2,6	0,3	0,4	5,6	0,5	60,3	7,8	2,7	0,0	4,1	0,3	15,6
	Perm. Meadow	0,2	0,0	0,1	0,7	0,0	2,3	96,2	0,1	0,0	0,2	0,0	0,2
	Potatoes	5,2	0,2	0,7	10,3	3,5	5,5	0,7	3,3	0,0	11,8	0,8	58,0
	Rape Seed	5,5	0,6	0,0	2,2	0,0	1,1	0,5	0,6	0,5	0,7	0,9	87,6
	Sugar Beet	2,1	0,3	0,1	6,9	0,9	4,8	0,3	6,5	0,0	1,9	0,4	75,7
	Winter Barley	6,7	2,0	1,4	16,6	0,9	8,7	0,8	5,6	6,2	45,2	3,2	2,8
	Winter Wheat	4,4	1,1	0,8	12,8	1,3	13,0	0,6	9,4	1,0	22,2	23,0	10,4

2.2. Estimation des rendements par culture

Le système de suivi de l'état des cultures et la prévision des rendements

Le système de suivi de l'état des cultures et la prévision des rendements des cultures annuelles de B-CGMS, tant au niveau régional que national, repose sur les résultats fournis par une version modifiée du modèle agrométéorologique WOFOST conçue et mise en oeuvre en fonction des besoins propres au système d'information agricole de la Communauté Européenne. Les principales adaptations ont porté sur la taille des mailles élémentaires utilisées pour la spatialisation des données météorologiques, le calendrier cultural, la base de données sol et le choix de fonctions de pédotransfert spécifiques aux conditions belges.

Les cultures reprises dans le système sont : le froment d'hiver, l'escourgeon, le maïs fourrager, la pomme de terre, la betterave sucrière et le colza d'hiver. Un autre projet, également financé par les SSTC, est actuellement en cours avec pour but d'estimer les productions fourragères (prairies de fauche) dans le sud-est du pays.

Le modèle B-CGMS fournit des estimations de rendements par unité cartographique élémentaire (EMU) qui sont obtenues en superposant dans un système d'information géographique la grille d'interpolation des données météorologiques (10 x 10 km, 5 x 5 km ou 1 x 1 km), les limites administratives (communes, régions agricoles) et les unités cartographiques élémentaires de la carte des sols. Compte tenu du grand nombre d'unités de simulation qui peuvent ainsi être générées, les informations produites par le système peuvent être agrégées pour construire de manière assez souple des cartes thématiques en fonction de la stratification géographique choisie par l'utilisateur. Cette fonctionnalité est exploitée dans le bulletin électronique qui est accessible à partir du serveur Web.

Le système de suivi de végétation

Les données fournies par les satellites d'observation de la terre (NOAA-AVHRR, SPOT-VEGETATION) servent à suivre les conditions de croissance et à obtenir des indicateurs de rendement des principales cultures. Les indicateurs utilisés sont le NDVI, le fAPAR et une estimation de la production cumulée de biomasse obtenue par la relation de Montheith. Ces indicateurs étant directement liés au degré de croissance de la végétation et des cultures, une comparaison spatiale et temporelle de ces données avec d'autres années et d'autres régions permet l'évaluation de niveaux de rendement comparatifs. Pour l'instant, le projet n'a pu disposer que d'une compilation de ces paramètres établie sur une période de 4 ans entre 1995 et 1998. Les résultats, bien que partiels, sont intéressants et il semble qu'ils puissent être utilisés avec succès pour les prévisions ou les estimations de rendements établies pour les cultures d'hiver.

La fonction de tendance technologique

Ce modèle, basé sur des processus physiologiques végétaux ne prend cependant pas en compte tous les paramètres qui influencent la production agricole. En particulier, l'évolution du niveau des intrants (engrais, pesticides), le développement de la technicité et de la compétence du monde agricole, sa faculté d'adaptation aux nouvelles techniques et politiques agricoles ne sont pas repris parmi les paramètres à calibrer. Une telle information n'est en effet pas disponible de façon suffisamment rapide pour assurer le suivi des cultures et la prévision des rendements au niveau régional et national.

Pour suppléer à ce manque d'information, une *fonction de tendance technologique* a été déterminée par culture, par région et par circonscription agricole sur base d'une série chronologique des rendements de l'INS portant sur une période de 30 ans. Cette fonction technologique est calculée indépendamment des autres composantes du système.

Le modèle prévisionnel

L'estimation finale du rendement (Y) est obtenue en combinant les résultats de la fonction de tendance technologique avec les sorties du modèle agrométéorologique et les indicateurs de biomasse issus de l'information satellitaire.

Le modèle général s'écrit :

$$Y = \text{constante} + f_1 \{Tendance\} + f_2 \{Sortie \text{ Mod\`ele Agrom\`et\`eo}\} + f_3 \{Indicateur \text{ de biomasse}\} + \text{erreur}$$

où Y représente le rendement estimé ou prédit, f_1 , f_2 et f_3 sont des fonctions particulières ajustées aux sorties des différents sous-modèles.

La qualité prévisionnelle des différents indicateurs de rendement ou de biomasse peut varier considérablement tout au long de la saison culturale. En fonction des périodes de l'année, certaines données peuvent être inutilisables ou tout simplement non disponibles pour réaliser des prévisions. Cela signifie que certains facteurs doivent pouvoir être exploités séparément ou de manière complémentaire les uns par rapport aux autres. A tout moment, les facteurs ou variables explicatives du modèle sont sélectionnés de manière à minimiser l'erreur de prédiction.

Pour calculer la valeur des paramètres du modèle prévisionnel, la tendance technologique et les sorties des modèles fournissant les variables indicatrices sont simultanément prises en compte et validées en partant de l'hypothèse que les conditions météorologiques peuvent modifier ou supprimer l'expression d'une tendance technologique. La validation est effectuée sur un lot de données (années) indépendantes de celles ayant servi à établir le choix du modèle.

2.3 Structure opérationnelle du système de prévision

Le caractère opérationnel du système repose sur la possibilité de mettre rapidement à jour les données d'entrée intervenant dans l'estimation des rendements et des surfaces. Certaines données peuvent être disponibles en temps réel et intégrées de manière quasi automatique au système (données météo). D'autres ne sont disponibles que de manière périodique et nécessitent un traitement adapté ou une intervention humaine plus ou moins importante (données satellitaires et parcellaire agricole). L'intervalle de temps entre deux prévisions est un compromis entre le coût du travail à réaliser et le gain de précision qui peut être obtenu en suivant de manière plus fine l'évolution des différents paramètres de croissance ou de développement des cultures (Tableau 2.).

La fréquence des mises à jour de ces paramètres dépend également, dans une large mesure, du type de culture et du moment de l'année pris en considération ainsi que de l'utilisation des variables d'entrée dans le modèle prévisionnel. Dans le contexte d'une utilisation sans limite de moyens, il semble inutile, durant la phase de végétation et de maturation des cultures, de descendre en dessous d'une période de 15 jours pour la mise à jour des résultats des prévisions. Sauf en présence de facteurs météorologiques exceptionnels, on ne peut en effet pas s'attendre à une augmentation sensible de la précision en deçà de cet intervalle. Le point critique pour la prévision des productions semble être lié à l'estimation des surfaces occupées par les différentes cultures et à la possibilité de mettre à jour régulièrement les matrices de transition.

Tableau 2: Relation entre les différents paramètres déterminant le caractère opérationnel du système.

Données d'entrée	Type de mise à jour	Coût de la mise à jour	Impact sur la précision
Limites administratives	Données permanentes	-	-
Données pédologiques	Données permanentes	-	Faible
Données du calendrier cultural	Annuelle	Faible	Faible
Série chronologique des rendements (INS)	Annuelle	Faible	Moyen
Données météorologiques	Journalière	Moyen	Variable
Données NOAA-AVHRR	Journalière - Décadaire	Elevé	Variable
Parcellaire agricole	Décadaire - Mensuelle	Elevé	Elevé

3. Résultats des prévisions réalisées en 1998

3.1. Superficies agricoles

Les résultats des estimations des surfaces agricoles obtenues à partir du parcellaire établi par le SIGEC en 1997 et 1998 sont présentés dans le tableau 3. La comparaison par rapport aux données du recensement agricole et horticole montre une bonne concordance entre les deux sources d'information. La différence la plus importante est constatée pour la culture du maïs fourrage. Les estimations des changements de surfaces affectées aux différentes cultures retenues dans cette étude sont fort voisines des tendances relevées par l'INS.

Tableau 3 : Comparaison des données du recensement agricole et horticole établi au 15 mai 1998 avec les données du SIGEC.

PRODUCTIONS VEGETALES	INS 1997 (ha)	SIGEC 1997 (ha)	Différence en % par rapport à l'INS	INS 1998 (ha)	SIGEC 1998 (ha)	Différence en % par rapport à l'INS	Différence 1997-1998 INS	Différence 1997-1998 SIGEC
cultures fourragères								
maïs fourrager	185 251	178 022	-4,1	171 560	165 668	-3,6	-7,4	-6,9
céréales								
froment d'hiver	195 544	196 699	0,6	210 305	211 742	0,7	7,5	7,6
orge d'hiver	43 292	44 152	1,9	46 090	47 526	3,0	6,5	7,6
pommes de terre	55 510	52 927	-4,9	58 631	57 257	-2,4	5,6	8,2
cultures industrielles								
betteraves sucrières	95 781	96 567	0,8	94 246	94 917	0,7	-1,6	-1,7
colza	4 706	4 576	-2,9	5 592	5 403	-3,5	18,8	18,1

3.2. Rendements

Les résultats des prévisions des rendements obtenus en 1998 pour les différentes cultures analysées dans le système B-CGMS ont été présentés dans le bulletin agrométéorologique. La précision des estimations fournies est évaluée en appliquant au processus d'ajustement des différents modèles une procédure de type Jackknife. Afin de pouvoir intégrer les données satellitaires dans les comparaisons des différents modèles, seules les données des années 1995, 1996 et 1997 de l'ensemble des circonscriptions ont été utilisées pour le calcul des paramètres. L'année 1998 a été réservée pour la validation.

Les erreurs d'estimation obtenues à partir de la procédure Jackknife ont été reportées dans le tableau 4. Ces résultats montrent que pour le froment et l'escourgeon, on peut s'attendre à une amélioration sensible des prévisions par l'utilisation des indicateurs de rendement et de biomasse.

Pour les cultures d'hiver, on obtient une meilleure qualité de prédiction au 31 mai comparativement à la récolte. Les facteurs explicatifs intervenant dans le modèle varient en fonction des cultures et du moment où intervient la prédiction. Par rapport à la tendance, le système n'a jusqu'à présent pas permis de mettre en évidence une réduction significative de l'erreur pour le colza et la betterave.

Une étude plus fine de l'influence des indicateurs de biomasse tout au long de la période estivale devrait permettre de déceler des périodes critiques susceptibles d'expliquer certains écarts observés.

Tableau 4: Erreurs d'estimation des rendements des cultures d'hiver calculés au 31 mai 1998.

Modèle	Erreur d'estimation(*) récolte			Erreur d'estimation 31 mai		
	Froment	Escourgeon	Colza	Froment	Escourgeon	Colza
Tendance	8.2	6.5	3.0	8.2	6.5	3.0
Tendance + Modèle agrométéo	7.2	6.4	3.6	7.4	5.7	3.5
Tendance + Indicateur biomasse	7.9	6.5	3.4	6.2	6.3	3.2
Tend + Agrométéo + Biomasse	7.1	6.3	3.8	6.0	5.7	3.7

(*) 100 kg

Tableau 4: Erreurs d'estimation des rendements des cultures de printemps calculés au 31 mai 1998.

Modèle	Erreur d'estimation(*) 31 mai			Erreur d'estimation récolte		
	Maïs	Betterave	Pomme de terre	Maïs	Betterave	Pomme de terre
Tendance	61.0	41.4	58.1	61.0	41.4	58.1
Tendance + Modèle agrométéo	61.7	40.5	53.7	-	-	-
Tendance + Indicateur biomasse	49.1	41.8	59.4	-	-	-
Tend + Agrométéo + Biomasse	49.9	40.9	54.9	-	-	-

(*) 100 kg

La comparaison entre les valeurs prédites au 31 mai et les valeurs réellement observées à la récolte en 1998 pour les cultures du froment et de l'escourgeon est réalisée à la figure 1. Ces résultats mettent en évidence la capacité prédiction du système ($R^2 = 69\%$ et 85% respectivement pour le froment et l'escourgeon). Des résultats équivalents ont été obtenus pour les autres cultures, à l'exception du colza qui manifeste de moins bons résultats.

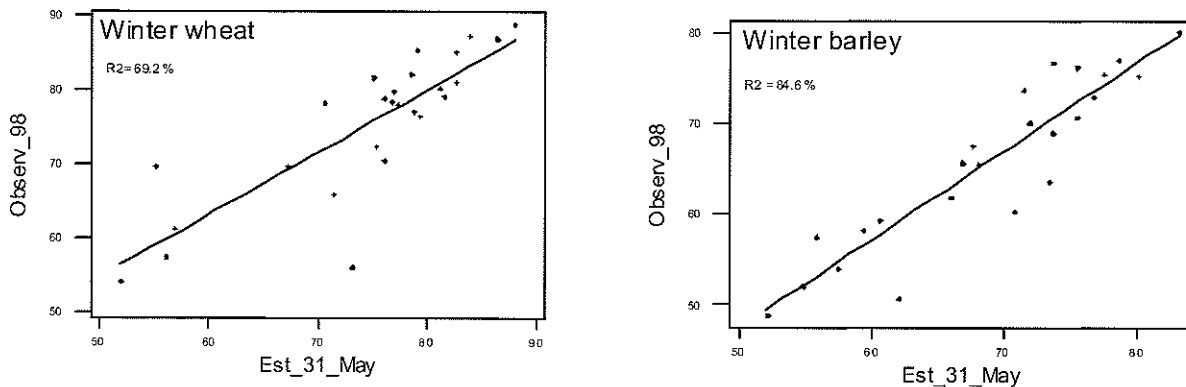


Figure 1: Comparaison entre les valeurs prédites par B-CGMS et les valeurs observées: résultats de 1998 pour le froment d'hiver et l'escourgeon.

4. Conclusions

L'exposé a montré qu'un système opérationnel de prévision des productions agricoles est désormais disponible au niveau de la Belgique. On a montré que l'utilisation simultanée de données issues d'un modèle agrométéorologique et de l'imagerie satellitaire pouvait améliorer la qualité prévisionnelle de l'ensemble.

Un modèle de simulation aussi précis soit-il ne prévoit jamais exactement la réalité. L'utilisation pratique d'un système de prévision de rendements s'accompagnera toujours d'un certain nombre de problèmes liés à l'incertitude qui pèse sur :

- la précision des données d'entrées,
- l'indisponibilité de certaines données (profondeur du sol, réserve hydrique),
- la résolution spatiale des données,
- l'indisponibilité de certaines données au cours de certaines phases critiques,
- le volume des intrants, l'importance des maladies et des mauvaises herbes.

Indépendamment de l'existence d'un interface interactif permettant aux utilisateurs de consulter l'ensemble de l'information produite par B-CGMS, l'exploitation de celle-ci devra toujours tenir compte des limites imposées par la complexité des phénomènes qui sont en jeu et que seule l'expertise humaine est en mesure d'appréhender.

B-CGMS Contacts

Robert Oger, oger@cragx.fgov.be, Phone: +32-81.62.65.78

Herman Eerens, herman.eerens@vito.be, Phone: +32 14 33 68 44

Bernard Tychon, tychon@ful.ac.be, Phone: +32-63.23.08.29