

## ANALYSE DE LA CAMPAGNE AGRICOLE EN 2003 EN TERME DE STRESS HYDRIQUE

Florence DE LONGUEVILLE, Stéphanie HORION, Bernard TYCHON, Pierre OZER

### Résumé

Cette étude présente l'évaluation du stress hydrique des principales cultures de Belgique en 2003 grâce au modèle belge de suivi de croissance des cultures, nommé B-CGMS (*Belgian Crop Growth Monitoring System*). L'indicateur de référence est appelé *Relative Soil Moisture Index* (RSMI). Il est fondé sur un calcul intégrant des données de teneur en eau du sol et met en exergue les différences entre les besoins réels des cultures et l'eau effectivement disponible pour les plantes. La prise en compte de la profondeur racinaire des plantes ainsi que de l'aptitude à gérer leurs besoins en eau permet d'obtenir des résultats spécifiques pour chaque type de cultures. Sur base d'un seuil déterminé en fonction de la réserve en eau facilement utilisable par les plantes, les jours de stress hydrique ont pu être identifiés et comptabilisés sur la période pendant laquelle le déficit d'eau est le plus dommageable pour la culture. Le cumul des jours de stress hydrique a ensuite été intégré dans un SIG pour visualiser la situation du blé d'hiver et du maïs fourrager pendant la saison culturale 2003. Il appert que seul le maïs semble avoir été confronté à un stress hydrique dans le nord et surtout dans l'extrême sud de la Belgique, avec très probablement comme conséquence directe, une diminution des rendements de 2 à 50%.

### Mots-clés

indicateur de stress hydrique, suivi de la sécheresse, modèle agrométéorologique, SIG, Belgique

### Abstract

*This article presents the evaluation of the crop water stress in 2003 using the Belgian Crop Growth Monitoring System (B-CGMS). The indicator used is the Relative Soil Moisture Index (RSMI), and is based on a calculation integrating soil moisture data. This index shows the differences between needed and effectively available soil water for different crop types. It is one of the outputs of the B-CGMS agrometeorological model. Based on a fixed threshold, days affected by water stress have been identified and computed for specific periods during which lack of soil water is likely to have dramatic impacts on crop production. The cumulative number of days affected by water stress indicator has then been integrated into a GIS to spatially represent the situation of winter wheat and maize during the 2003 crop season. Results suggest that only maize was affected by the water stress in northern and southern Belgium. In the latter area, the lack of water at key periods provoked a yield reduction ranging between 2 and 50%.*

### Keywords

*Water stress indicator, drought monitoring, agrometeorological model, GIS, Belgium*

## INTRODUCTION

Sécheresse et canicule ont caractérisé l'été 2003 en Europe. Les médias se sont cristallisés sur ces conditions climatiques extrêmes qui ont prévalu plus spécifiquement en juillet et août. En Belgique, toute la société semble avoir été touchée par le déficit pluviométrique prolongé et par les fortes chaleurs (informations tirées des journaux *Le Soir* et *La Libre Belgique* entre le 5 et le 18 août 2003). Au niveau de la santé humaine, différents experts ont estimé que près de 1 500 personnes pourraient mourir prématurément suite à cet épisode climatique hors du commun. Dans le secteur économique, une baisse de la productivité dans les entreprises a effectivement été enregistrée. Finalement, l'agriculture aurait été gravement touchée et les pertes causées par séche-

resse et canicule combinées se chiffraient à 130 millions d'euros.

Au cours des dernières décennies certaines parties de l'Europe, comme le sud de l'Italie et la Hongrie, ont connu de sérieux déficits pluviométriques (Bonaccorso *et al.*, 2003; Domonkos, 2003) alors que d'autres ont connu une occurrence des périodes de sécheresse relativement stable (Moonen *et al.*, 2002). Cependant, selon les travaux du groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Houghton *et al.*, 2001), il est probable que l'Europe devra faire face à un risque croissant de sécheresse. D'autres études montrent qu'une large partie du continent européen devrait connaître un assèchement estival

accentué au cours des prochaines décennies (Christensen et Christensen, 2002). De plus, ce déficit pluviométrique durant les mois d'été devrait s'accompagner d'une hausse sensible de l'occurrence des températures extrêmes en Europe (Beniston, 2004, Schär *et al.*, 2004). Ces modifications devraient avoir pour conséquence, entre autres, une baisse du rendement des cultures (Houghton *et al.*, 2001).

Les dommages économiques et humains dus aux sécheresses, souvent combinées à des vagues de chaleur durant la période estivale, peuvent être importants et nécessitent des outils adéquats pour en assurer l'alerte, le suivi et l'évaluation aux échelles spatiales les plus précises. Une information en temps réel relative à la sécheresse, son amorce, son étendue, sa durée et son impact potentiel peut estimer, sinon diminuer, les pertes économiques encourues, entre autres, par le secteur agricole.

Le système B-CGMS (*Belgian Crop Growth Monitoring System*) utilisé par la suite a été développé pour la prévision des rendements de diverses cultures (Tychon *et al.*, 2003). Pour la première fois en Belgique, un bulletin agrométéorologique mensuel voyait le jour durant l'année agricole 2002 (Leteinturier *et al.*, 2003). Si l'année 2002 n'avait connu aucun stress hydrique potentiel, cela fut radicalement différent en 2003. Ce papier présente les résultats obtenus à partir de l'application combinée de plusieurs indicateurs pour la détermination en temps réel des communes belges touchées par la sécheresse agricole pour deux cultures : le blé d'hiver et le maïs fourrager.

## I. DONNÉES ET MÉTHODES

### A. B-CGMS, un modèle agrométéorologique

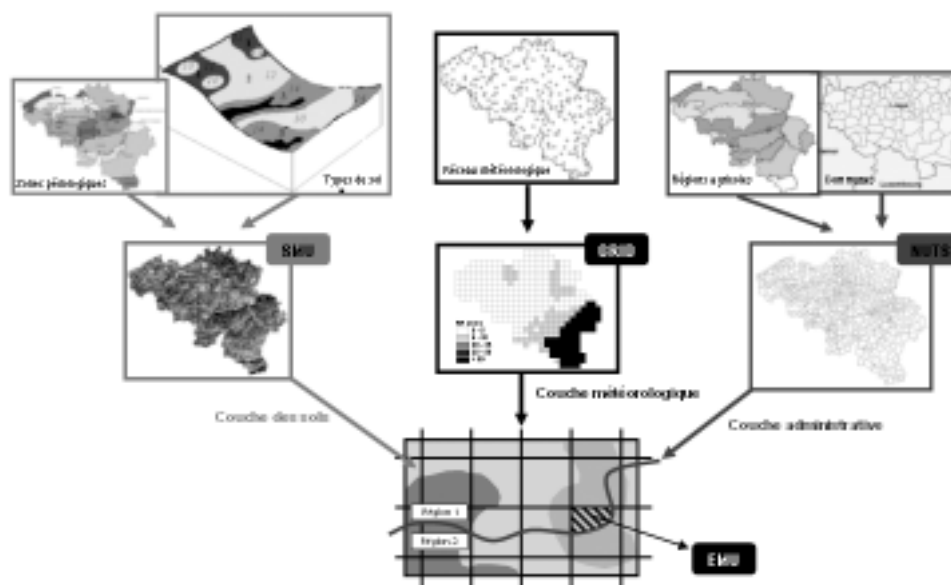
La mise en évidence des périodes à stress hydriques a

été réalisée grâce à un modèle de simulation de la production de matière sèche. Ce modèle, *Belgian Crop Growth Monitoring System* (B-CGMS), est une adaptation du modèle européen CGMS du Joint Research Centre de la Commission européenne (Supit, 1999). Au départ d'une base de données géographiques, il fournit une information spatialisée sur le rendement, le stade phénologique de la plante ou encore la teneur en eau du sol. Au total, dix sorties différentes sont simulées par ce modèle.

La base de données géographiques est constituée de multiples entrées :

- données météorologiques journalières ;
- données pédologiques ;
- données culturales phénologiques et physiologiques ;
- données satellitaires (NOAA-AVHRR, SPOT VEGETATION) ;
- données statistiques (superficies cultivées et rendements).

Parmi ces données, seules celles de type météorologique sont mises à jour régulièrement (données journalières), les autres sont considérées comme des constantes annuelles qui varient néanmoins spatialement, en fonction des types de sol et de culture. Les sorties de B-CGMS sont actuellement des données décennales. Elles sont fournies par unité de simulation appelée *Elementary Mapping Unit* ou *EMU*. Cette dernière résulte du croisement entre les différentes couches d'informations de la base de données: la carte des sols, la grille météorologique de 10 x 10 km et la couche administrative, composée elle-même de l'union des communes avec les régions agricoles. Elles sont représentées par la zone hachurée sur la figure 1.



**Figure 1.** Composition de l'Elementary Mapping Unit

SMU = Soil Mapping Unit – Unité cartographique des sols ; NUTS = Nomenclature des unités territoriales statistiques ; EMU = Elementary Mapping Unit – Unité cartographique élémentaire ; Grid = Grille météorologique 10x10 km

## B. Le Relative Soil Moisture Index (RSMI)

La méthodologie utilisée pour déterminer les zones où les cultures sont affectées par des déficits hydriques repose sur le *Relative Soil Moisture Index* ou RSMI calculé comme suit :

$$RSMI = \frac{\theta_t - \theta_{wp}}{\theta_{fc} - \theta_{wp}}$$

Où  $\theta_t$  est teneur en eau réelle du sol au temps  $t$  [ $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ];  $\theta_{wp}$  est la teneur en eau au point de flétrissement permanent [ $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ];  $\theta_{fc}$  est la teneur en eau à la capacité au champ [ $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ].

La teneur en eau réelle  $\theta_t$  est déterminée à l'aide bilan hydrique de la façon suivante :

$$\theta_t = \frac{IN_{up} + (IN_{low} - T_a)}{RD} \Delta t$$

$$IN_{up} = P - E_s + \frac{SS_s}{\Delta t} - SR$$

Où

$$IN_{low} = CR - Perc$$

Où  $\theta_t$  est le contenu en humidité réelle de la zone racinaire au temps  $t$  [ $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ];  $IN_{up}$  est le flux net d'eau à travers la limite supérieure de la zone racinaire [ $\text{cm j}^{-1}$ ];  $T_a$  est le taux de transpiration réelle de la culture [ $\text{cm j}^{-1}$ ];  $RD$  est la profondeur racinaire réelle [ $\text{cm}$ ];  $P$  est l'intensité des précipitations [ $\text{cm j}^{-1}$ ];  $E_s$  est le taux d'évaporation du sol [ $\text{cm j}^{-1}$ ];  $SS_s$  est le stockage superficiel en eau [ $\text{cm}$ ];  $qt$  est le pas de temps [ $\text{j}$ ] et  $SR$  est le ruissellement superficiel [ $\text{cm j}^{-1}$ ].  $IN_{low}$  est le flux net d'eau au bas du profil de sol parcouru par les racines [ $\text{cm j}^{-1}$ ] et la différence entre les flux vers le bas de percolation ( $Perc$  [ $\text{cm j}^{-1}$ ]) et les flux vers le haut de remontée capillaire ( $CR$  [ $\text{cm j}^{-1}$ ]).

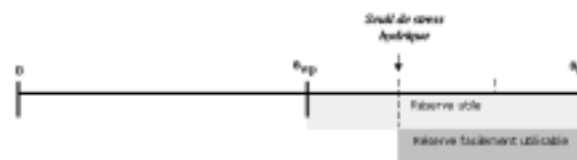
Les données requises sont donc de trois types: météorologiques ( $T_a$ ,  $P$ ,  $E_s$ ), culturales ( $T_a$ ,  $RD$ ) et pédologiques ( $E_s$ ,  $SS_s$ ,  $SR$ ,  $Perc$ ,  $CR$ ). Les teneurs en eau au point de flétrissement  $\theta_{wp}$  et à la capacité au champ  $\theta_{fc}$  sont, quant à elles, basées uniquement sur des données pédologiques, et sont calculées comme suit :

$$\theta(h) = \theta_r + \frac{(\theta_{sat} - \theta_r)}{1 + (\alpha \cdot h)^n}$$

Où  $\theta(h)$  est l'humidité du sol en fonction de la succion du sol  $h$  (cm de colonne d'eau). Par définition, la teneur en eau à la capacité au champ sera celle d'un sol dont les forces de succion seront de 100 cm de colonnes d'eau (0,1 bar) tandis que celle au point de flétrissement est retrouvée dans un sol où les forces de succion seront de 16300 cm de colonne d'eau (16,3 bars). Les différents

paramètres  $\theta_{sat}$ ,  $\theta_r$ ,  $\theta$  et  $n$  sont estimés via les fonctions de pédotransfert de Vereecken (1989).

Le RSMI sera de 100% lorsque le sol sera à la capacité au champ et de 0% au point de flétrissement permanent. Sa valeur peut être supérieure à 100%. Elle peut également être négative lorsque la teneur en eau du sol descend à des valeurs inférieures à celle du point de flétrissement. Un seuil de stress hydrique a été fixé sur base de la réserve en eau facilement utilisable par la plante. Considérant que toute l'eau présente dans le sol entre le point de flétrissement et la capacité au champ est la réserve utile et que 2/3 de cette eau seulement est facilement utilisable par la plante (Musy et Soutter, 1991 ; Gate, 1995), on détermine que sous le seuil de 33,33% de RSMI, la plante aura des difficultés à prélever l'eau du sol (Fig. 2). Elle subira donc, à partir de ce moment, un stress hydrique.



**Figure 2.** Représentation de la réserve en eau utile [ $\theta_{fc} - \theta_{wp}$ ] et de la réserve en eau facilement utilisable [ $2/3 (\theta_{fc} - \theta_{wp})$ ]

La valeur de RSMI par unité de simulation est ensuite convertie en valeur binaire. La valeur 1 est attribuée lorsqu'on se situe sous la valeur seuil, elle peut être interprétée comme un jour où la culture est en déficit hydrique. Dans le cas contraire, la valeur affectée est 0. Les jours de stress hydrique sont ultérieurement cumulés sur une période où l'occurrence d'un stress hydrique est particulièrement dommageable pour la culture. En effet, les plantes supportent un stress hydrique de façon différente selon le stade de développement. Ainsi, une période sensible au stress hydrique a été déterminée pour chacune des cultures sur base de la littérature où elle est exprimée le plus souvent en termes de stade phénologique. Dans le cadre de cette étude, elle est traduite dans les unités d'une des autres sorties du modèle agrométéorologique CGMS : le stade de développement phénologique ou DVS. Les valeurs de cet indice varient de 0, correspondant au moment du semis, jusqu'à 180 ou 200, lorsque la culture atteint la maturité. Deux échelles de classification existent (Tab. 1), la première est valable pour les céréales d'hiver (froment et orge), la seconde l'est pour toutes les autres cultures. Pour l'année 2003, ces sorties DVS ont pu être validées sur quelques essais de terrain répartis dans trois communes wallonnes pour les cultures de froment d'hiver et de maïs fourrager. La relation entre les valeurs estimées et les observations de terrain sont la plupart du temps très appréciables.

Stade de développement	Sortie du modèle	Stade de développement	Sortie du modèle
Émergence	< 12.5	Émergence	< 30
Tallage	$\geq 12.5$ & < 37	Tallage	$\geq 30$ & < 60
Élongation de la tige	$\geq 37$ & < 68	Élongation de la tige	$\geq 60$ & < 90
Épiaison	$\geq 68$ & < 100	Épiaison	$\geq 90$ & < 120
Floraison	$\geq 100$ & < 150	Floraison	$\geq 120$ & < 150
Maturité pâteuse	$\geq 150$ & < 200	Maturité pâteuse	$\geq 150$ & < 180
Maturité complète	$\geq 200$	Maturité complète	$\geq 180$

**Tableau 1.** Classification de la sortie DVS pour les céréales d'hiver [A] et les autres cultures [B]

D'un point de vue spatialisation, les données (*DVS* et *RSMI*) des différentes unités de simulation (*EMU*) sont agrégées au niveau des *NUTS* en affectant à chaque nouvelle entité (*NUTS*) la valeur moyenne obtenue pour l'ensemble des unités de référence (*EMU*) qui la composent. Ensuite, pour chacune des 14 régions agricoles (Fig. 3), les valeurs de *DVS* moyen, maximal et minimal ont été calculées. Les décades correspondant à la période sensible sont alors sélectionnées par région. Les résultats sont finalement cartographiés à l'aide d'un système d'informations géographiques au niveau des *NUTS*.

## II. RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les cas du blé d'hiver et du maïs fourrager sont successivement discutés ci-dessous. Les périodes sensibles re-

tenues pour ces deux cultures ont été fixées sur base de la littérature.

### A. Le cas du blé d'hiver

Il est admis que la phase la plus critique pour le blé d'hiver, en ce qui concerne son alimentation en eau, s'étale de la mi-montaison au début du remplissage du grain (ITCF, 2002), soit un peu plus de deux mois. Dans les régions du nord, elle débute vers la fin du mois de mars, tandis qu'en Haute Ardenne, elle ne commence qu'un mois plus tard.

L'analyse de la figure 4 révèle que la culture de blé d'hiver n'a pas été confrontée à un stress hydrique au cours de sa période sensible. Les premières estimations de rendement viennent confirmer ces résultats. L'impact de la



**Figure 3.** Représentation des 14 régions agricoles

période particulièrement chaude et sèche observée au cours des mois de juillet et août est relativement limité puisqu'elle intervient après la période critique, c'est-à-dire essentiellement lors des stades de remplissage du grain et de maturité. La précocité des récoltes liée à une durée raccourcie des derniers stades phénologiques est donc probablement la marque la plus visible de cette période particulière de la fin de la saison culturale 2002-2003.

### B. Le cas du maïs

Plusieurs sources convergent pour admettre que la sensibilité du maïs à la sécheresse est maximale au moment de la floraison (Soltner, 1999 ; AGMP-TECHNIQUE, 2002). La période critique considérée ici commence 15 à 20 jours avant la floraison mâle et se termine une quinzaine de jours après. Cela couvre une période de 30 à 40 jours qui s'amorce fin juin dans les régions situées au nord du pays et début à mi-juillet ailleurs. Un déficit en eau durant cette période peut avoir des répercussions directes sur le niveau de rendement.

Il est peu probable que la culture de maïs de la partie centrale du pays ait été affectée par un stress hydrique significatif puisque les résultats fournissent un nombre de jours de stress inférieur à 20. Par contre, la culture de maïs située dans le nord et l'extrême sud du pays (région jurassique) a subi une période de stress vraisemblablement plus longue (Fig. 5). Il convient cependant de noter que le modèle utilisé ignore la présence de nappes peu profondes dans son bilan hydrique. De telles

nappes se rencontrent dans le nord du territoire. Il est très probable qu'elles aient permis d'y limiter l'impact de la sécheresse, les plantes pouvant y puiser une partie de l'eau dont elles ont besoin.

### C. Validation

Afin d'évaluer sa robustesse et d'envisager son utilisation comme outil d'aide à la décision, la validation de l'indicateur de stress hydrique est nécessaire. Sous l'hypothèse que les régions les plus touchées par la sécheresse devraient enregistrer des pertes de rendement, la manière la plus cohérente de procéder est de travailler au niveau des rendements obtenus. Cette validation, pour qu'elle soit quantitative, nécessite le recours aux données de l'Institut National de Statistique. À ce jour et pour cette année, ces données ne sont pas encore disponibles. Néanmoins, des parcelles de trois communes de la Région wallonne (Chastre, Thimister et Attert) ont été suivies dans le cadre d'un projet de recherche et des informations sur les rendements ont pu être obtenues directement auprès des agriculteurs.

Dans la région de Chastre, située en plein centre de la région céréalière, les rendements en blé obtenus sont similaires à ceux des années précédentes. Dans le sud de la Belgique, bien que certains agriculteurs d'Attert aient observé une légère diminution de leur rendement, ils ne l'attribuent pas à la sécheresse.

Dans la région herbagère, la plupart des agriculteurs ont observé une augmentation du niveau de leur rendement

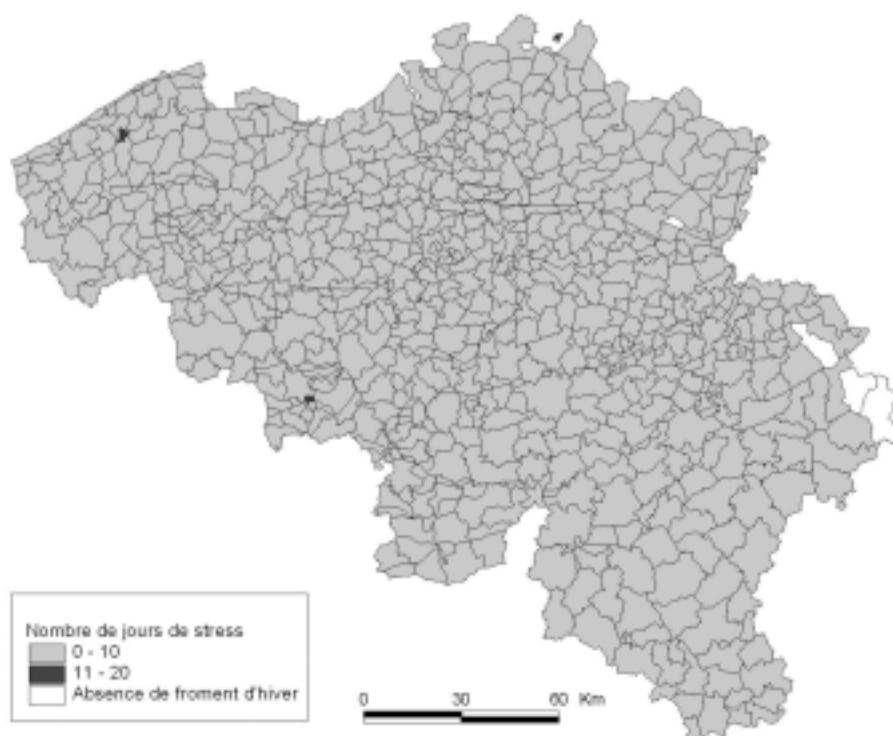
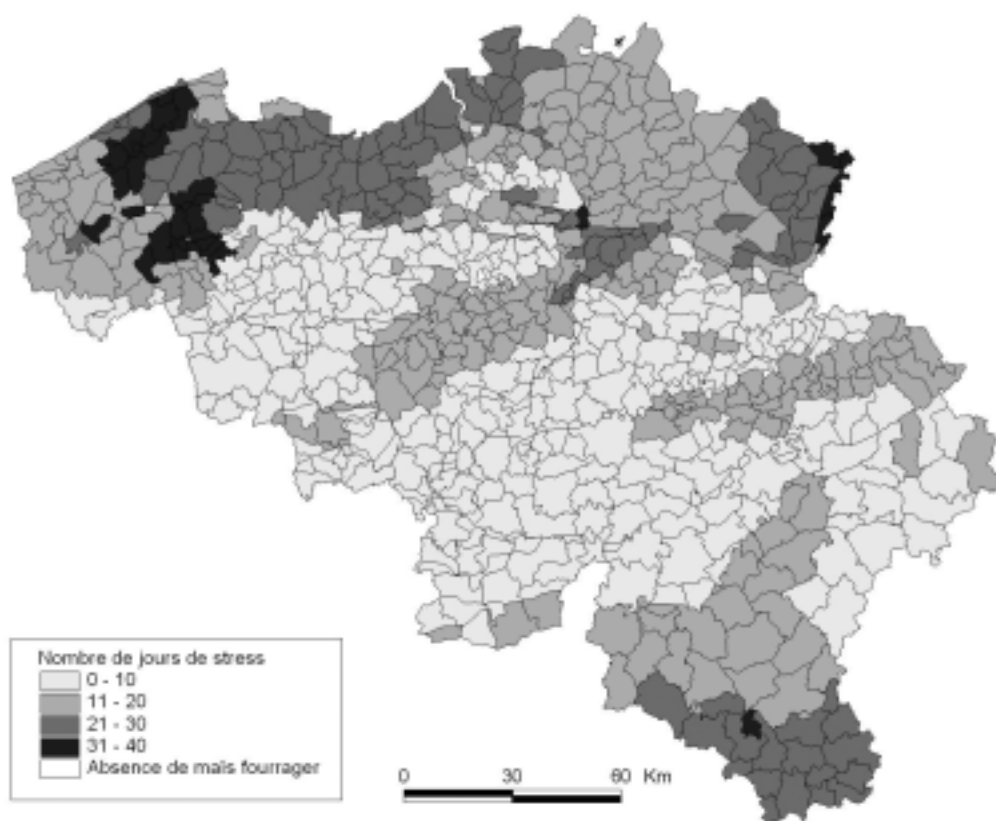


Figure 4. Nombre de jours de stress hydrique pour le blé d'hiver pendant la période sensible



**Figure 5.** Nombre de jours de stress hydrique pour le maïs fourrager pendant la période sensible

dans leurs parcelles de maïs. Ils attribuent cette croissance à l'occurrence de précipitations à des moments stratégiques du développement des plantes, et notamment aux pluies intervenues en début de floraison (une soixantaine de mm entre le 1 et le 5 juillet). Dans la commune d'Attert, où les premières pluies significatives n'ont été enregistrées qu'après le 20 juillet, la majorité des agriculteurs ont enregistré une baisse de rendement pouvant aller jusqu'à 50%.

### III. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

La méthode exploitée dans ce travail a pour finalité la mise en évidence des régions où les différentes cultures sont susceptibles d'avoir souffert d'un stress hydrique. Elle pourrait être considérée comme un outil d'aide à la décision.

Aucune des deux cultures étudiées ne semble avoir souffert du stress hydrique à l'échelle du pays. Le blé d'hiver a été épargné sur l'ensemble du territoire. Par contre, la culture de maïs a connu une situation plus contrastée. Il semble en effet que, dans certaines régions du pays, les

rendements estimés par les agriculteurs sont supérieurs aux années précédentes, notamment grâce à des événements pluvieux arrivés à des moments stratégiques du développement. D'autres régions, particulièrement le nord et surtout le sud si on considère les nappes peu profondes, risquent d'enregistrer des chutes de rendement suite aux conditions climatiques particulières de cette année. Ces tendances semblent confirmées par les informations récoltées sur le terrain puisque les chutes de rendement enregistrées au niveau de six parcelles varient entre 2 et 50%. Néanmoins, l'approche ne pourra être validée qu'avec les données statistiques officielles.

Il convient de garder à l'esprit que cette méthode se limite à l'occurrence du stress hydrique lors de la période sensible basé sur le développement phénologique. Ainsi, les cultures pourraient avoir été affectées pendant une autre période de la croissance et/ou par d'autres événements climatiques tel que le gel ou encore par un stress azoté. Il est également important de signaler que le modèle B-CGMS et la méthode d'évaluation des stress hydriques, bien que déjà performants, sont perpétuellement en phase d'amélioration. Le recours à des sorties

journalières du modèle B-CGMS, la détermination de cumuls de jours de stress consécutifs, la délimitation et la prise en compte de zones agro-climatiques sont autant d'éléments qui pourraient laisser espérer parvenir à des résultats plus précis à l'avenir.

## REMERCIEMENTS

Nous remercions la Politique scientifique fédérale qui a permis la réalisation de cette étude via le financement des projets BL/19/C24 et SR/00/20 Les auteurs sont également reconnaissants envers les deux relecteurs anonymes du manuscrit pour leurs conseils judicieux.

## BIBLIOGRAPHIE

- AGPM-TECHNIQUE, 2002. "Repérer les stades de croissance et de développement du maïs". Montardon, France, 4 p.
- BENISTON M., 2004. The 2003 heat wave in Europe : A shape of things to come ? An analysis based on Swiss climatological data and model simulations. *Geophysical Research Letters*, 31, L02202, doi :10.1029/2003GL018857.
- BONACCORSO B., BORDI I., CANCELLIERE A., ROSSI G. & SUTERA A., 2003. Spatial variability of drought : an analysis of the SPI in Italy. *Water Resources Management*, 17: 273-296.
- CHRISTENSEN J.H. & CHRISTENSEN O.B., 2002. Severe summertime flooding in Europe. *Nature*, 421, 805-806.
- DOMONKOS P., 2003. Recent precipitation trends in Hungary in the context of larger scale climatic changes. *Natural Hazards*, 29: 255-271.
- GATE P., 1995. *Écophysiologie du blé, de la plante à la culture*. Éditions TEC & DOC, Lavoisier, Cachan, Paris, 417 p.
- HOUGHTON J.T., DING Y., GRIGGS D.J., NOGUER M., van der LINDEN P.J., DAI X., MASKELL K. & JOHNSON C.A., 2001. *Climate change 2001 – The scientific basis*. Cambridge University Press, New York, 882 p.
- ITCF (Institut Technique des céréales et des fourrages), 1997. *Irrigation de la pomme de terre*. Collection ITCF-ITPT, Paris, 48 p.
- ITCF (Institut Technique des céréales et des fourrages), 2002. *Blé tendre. Marché, débouchés, techniques culturales, récolte et conservation*. Collection ITCF-ITPT, Paris, 70 p.
- LETEINTURIER B., BUFFET D., OGER R. & DECREM M., 2003. Data dissemination from the Belgian Crop Growth Monitoring System : agrometeorological bulletin and web site *in* : Belgian and Chinese Crop Growth Monitoring Systems : comparison, adaptation and improvement, TYCHON B. (éd.), FUL, Arlon, Belgium : 121-127.
- MOONEN A.C., ERCOLI L., MARIOTTI M. & MASONI A., 2002. Climate change in Italy indicated by agrometeorological indices over 122 years. *Agricultural and Forest Meteorology*, 111: 13-27.
- MUSY A. & SOUTTER M., 1991. *Physique du sol*. Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, 335 p.
- SCHÄR C., VIDALE P.L., LÜTHI D., FREI C., HÄBERLI C., LINIGER M.A. & APPENZELLER C., 2004. The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. *Nature*, 427: 332-336.
- SOLTNER D., 1999. *Les grandes productions végétales*. Collection Sciences et Techniques agricoles, Paris, 464 p.
- SUPIT I., 1999. *An exploratory study to improve predictive capacity of the crop growth monitoring system as applied by the European commission*. Treemail Publishers, 180 p.
- TYCHON B., OZER P., PECHEUR C., OGER R., DECREM M., BUFFET D., LETEINTURIER B., EERENS H. & DONG Q., 2003. Application of the European crop growth monitoring system (CGMS) in Belgium and in China's north-eastern province Heilongjiang *in* : CGMS Expert Meeting Proceedings 2002, MICALE F. (ed.), JRC, European Commission, 37 p. (online: <http://mars.unit/cgms>)
- VERECKEN H., 1989. *Pedotransfert functions for the generation of hydraulic properties for Belgian soils*. Dissertationes de Agricultura, KULeuven, 254 p.

Adresse des auteurs :

Florence DE LONGUEVILLE, Stéphanie HORION,  
Bernard TYCHON, Pierre OZER  
Unité de biométéorologie,  
Fondation Universitaire Luxembourgeoise  
Avenue de Longwy, 185  
B-6700 Arlon, Belgique  
delongueville@ful.ac.be