



**HAL**  
open science

## Changement climatique et céréaliculture en Normandie : quelles perspectives pour 2100 ?

François Beauvais, Olivier Cantat, Philippe Madeline

### ► To cite this version:

François Beauvais, Olivier Cantat, Philippe Madeline. Changement climatique et céréaliculture en Normandie: quelles perspectives pour 2100?. XXXIIème Colloque International de l'AIC: Le Changement Climatique, la variabilité et les risques climatiques, May 2019, Thessaloniki, Grèce. hal-02168340

**HAL Id: hal-02168340**

**<https://hal.science/hal-02168340>**

Submitted on 28 Jun 2019

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## CHANGEMENT CLIMATIQUE ET CEREALICULTURE EN NORMANDIE : QUELLES PERSPECTIVES POUR 2100 ?

**BEAUVAIS F. (1), CANTAT O. (1) et MADELINE P. (2)**

(1) Université de Caen Normandie, LETG - Caen UMR 6554 CNRS, Esplanade de la Paix, 14032 Caen Cedex  
francois.beauvais@unicaen.fr

(2) Université de Caen Normandie, ESO - Caen UMR 6590 CNRS, Esplanade de la Paix, 14032 Caen Cedex

**Résumé :** *En Normandie, le changement climatique pourrait avoir des conséquences sur le cycle du blé tendre, culture qui occupe une place importante dans les productions végétales régionales. Dans le cas de dates de semis inchangées à l'horizon 2100, l'avancée des stades phénologiques liée au réchauffement permettrait de contrer la hausse redoutée de l'échaudage thermique et du déficit hydrique. Toutefois, à cause de cette précocité de nouveaux impacts se révèlent : basses températures à laméiose, diminution du nombre de jours de vernalisation lors du tallage, déficit de rayonnement en cours de montaison.*

**Mots clés:** *Changement climatique, Modélisation, Agroclimatologie, Blétendre, Normandie.*

**Summary:** *Soft wheat occupies an important place in Normandy crops productions. Climate change could lead to impacts on the crop cycle. In the case of unchanged sowing dates by 2100, the anticipation of phenological stages linked to the temperature increase would avoid the fear of scalding days' rise and water deficit. However, because of this precocity, news consequences emerged: lower temperatures during meiosis, decrease of the days of vernalization during tillering and solar radiation between stem elongation and flowering.*

**Keywords:** *Climate Change, Modélisation, Agroclimatology, Soft wheat, Normandy.*

### Introduction

En Normandie, le blé tendre représente 10,4% de la production nationale sur la période 2000-2016. Cette céréale tient donc une place importante dans les cultures régionales mais celle-ci pourrait être fragilisée par le changement climatique. Une stagnation des rendements a d'ailleurs déjà été observée en France depuis le milieu des années 1990 (Gate, 2008 ; Brisson et alii, 2010). En effet, l'avancée calendaire des stades phénologiques n'a pas permis de contrer les excès thermiques devenus plus récurrents, tout comme les sécheresses de plus en plus marquées. Ceci explique les efforts de recherche génétique pour trouver des variétés plus tolérantes à ces stress qui pourraient se renforcer à l'avenir (Gate, 2008). Toutefois, il convient de se demander si l'accentuation du raccourcissement du cycle de la plante, par élévation de la température d'ici 2100, pourrait ou non permettre d'éviter ces contraintes en Normandie. En définitive, la nouvelle donne climatique permettra-t-elle toujours des conditions favorables à la culture du blé tendre en Normandie en 2100 ?

Les terrains d'étude présentés ici sont deux grandes plaines céréalières normandes : le secteur de Caen, à l'ouest, et celui d'Evreux, à l'est (Figure.1). Le premier est sous l'influence d'un climat océanique, tandis que le second est dégradé par des effets de continentalité et d'abri plus marqués. Ces facteurs géographiques locaux se matérialisant sur la Normale climatique 1981-2010 de Météo-France par des conditions nettement plus sèches à Evreux (605 mm contre 740 mm à Caen) et des caractères thermiques saisonniers plus contrastés se reflétant par un hiver plus froid (52 jours de gel contre 32 à Caen) et un été plus chaud (33 jours de chaleur contre 23 à Caen).

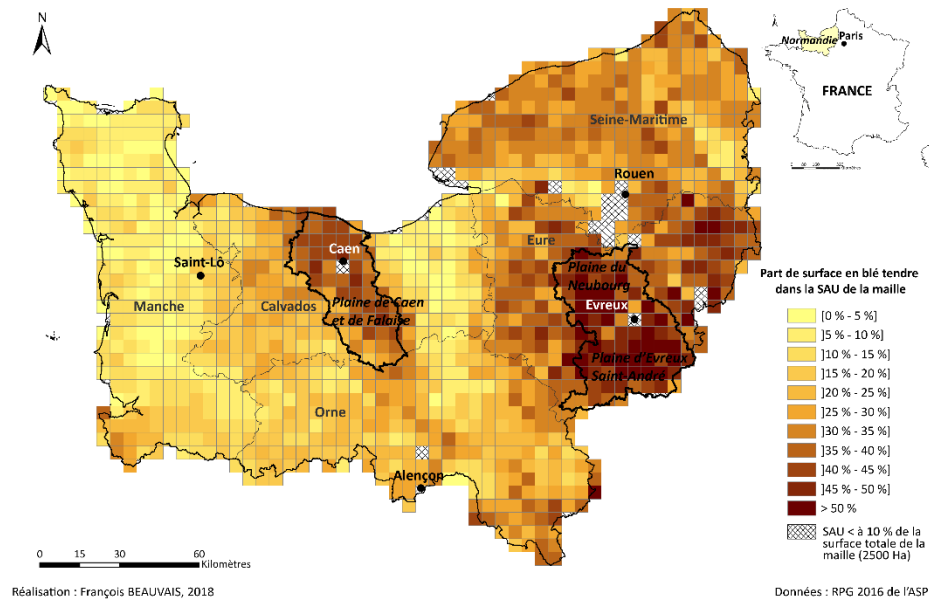


Figure 1. Localisation des terrains d'étude et part de la surface en blé tendre dans la surface agricole utile.

## 1. Données et méthode

Afin de projeter les agrosystèmes à l'horizon 2100, des données issues de la modélisation prédictive du climat sont nécessaires. Ici, il s'agit des données CNRM-2014 sorties du modèle régional ALADIN-Climat avec une résolution spatiale de 8x8 km (grille Safran). Les simulations sont produites pour une période de référence (1976-2005) et une période lointaine (2071-2100) selon trois scénarios RCP (Representative Concentration Pathway) du GIEC afin d'exprimer les changements du bilan radiatif au sommet de la troposphère (IPCC, 2014). Le premier (RCP 2.6) correspond à une réduction des GES (gaz à effet de serre) à l'échelle internationale. Le deuxième (RCP 4.5) fait écho à une stagnation de l'évolution du bilan radiatif en seconde partie du siècle. Le troisième (RCP 8.5) illustrerait le climat possible sans politique climatique à l'échelle internationale.

Ces données sont introduites dans une modélisation agroclimatique du blé tendre d'hiver pour les deux plaines agricoles étudiées. Le cycle de la culture est simulé à partir d'une somme de températures (base 0°C ; écrêtage à 28°C) relative à l'atteinte des différents stades phénologiques, tout en tenant compte des impacts pouvant perturber les composantes de rendement. La modélisation repose sur des données écophysiologiques (travaux de Philippe Gate – 1995 – et de l'Institut du végétal Arvalis). Les dates d'apparition des stades en période de référence coïncident avec ce qui peut être observé au champ dans les deux plaines, même si le biais froid du modèle Aladin engendre une légère surestimation de la durée du cycle par rapport aux simulations réalisées avec les données de Météo France de Caen et d'Evreux-Huest (durée du cycle : + 7 jours à Caen et + 8 jours à Evreux). Le manque d'eau pour le végétal est estimé à partir d'un bilan hydrique journalier à décroissance logarithmique selon la méthode de Thornthwaite et Mather (1955) afin d'intégrer la difficulté progressive de la plante à mobiliser l'eau de la réserve utile à mesure que celle-ci se vide. La demande climatique est celle du blé tendre (ETM, évapotranspiration maximale) par le jeu de coefficients culturaux, variant selon les périodes phénologiques comme exposé par Allen et alii (1998), multipliés à l'évapotranspiration (formule de Turc). Les RUM (réserves utiles maximales), choisies à partir des règles de pédotransfert, sont représentatives d'un sol type pouvant être rencontré dans ces

plaines agricoles<sup>16</sup> tout en tenant compte de la profondeur d'exploration racinaire du blé (max : 110 cm) : 203 mm au nord de Caen et d'Evreux, 44 mm au Sud de Caen et 114 mm au sud d'Evreux. Le manque d'eau disponible provoque une diminution de l'activité photosynthétique de la plante ainsi qu'une baisse de son indice foliaire. Outre le déficit hydrique, l'apparition d'autres indicateurs phénoclimatiques sont recensés au travers des itérations permettant de les corrélés à la phénologie. L'échaudage thermique (température maximale supérieure à 25°C) lors de la croissance de l'épi et durant le remplissage des grains engendre respectivement un risque d'avortement des fleurs et une diminution du poids des grains. Un déficit de rayonnement durant la montaison peut, quant à lui, perturber la croissance, tandis qu'à la méiose c'est la fertilité des épis qui peut être affectée. C'est également le cas si les températures minimales sont inférieures ou égales à 4°C. Par ailleurs, le blé a besoin d'une période de vernalisation (température moyenne entre 3°C et 10°C) pendant le tallage hivernal, élément nécessaire pour qu'il puisse ensuite fleurir au printemps (Gate, 1995).

D'autres indicateurs phénoclimatiques recensés pour le blé (Gate, 1995) ne sont pas pris en compte dans cette étude car leurs évolutions sont moins significatives. En lien avec les préconisations Arvalis pour l'itinéraire technique et une enquête réalisée en 2016 (Beauvais, 2016), les simulations sont produites pour un semis le 15 octobre dans le Calvados et le 1<sup>er</sup> octobre dans l'Eure. Au final, cette modélisation permet d'exposer les conséquences sur le blé tendre des évolutions possibles du climat.

## 2. Résultats

Seules les grandes tendances sont présentées mais les variabilités interannuelles sont visibles et analysables à partir des « boîtes et moustaches » de la figure 2. Il en va de même pour la représentativité des données modélisées par rapport aux données observées (1976-2005).

En appliquant le scénario RCP 2.6, le cycle du blé tendre serait raccourci de l'ordre de deux semaines (-14 jours à Caen et -17 jours à Evreux). Avec le RCP 4.5, la maturité serait atteinte un mois plus tôt (-28 jours à Caen et -31 jours à Evreux). Dans le cas du RCP 8.5, elle interviendrait un mois et demi plus tôt (-46 jours à Caen et -50 jours à Evreux). Les moissons ne s'effectueraient donc plus au cours de l'été mais à ces prémices, voire en fin de printemps.

Cette plus grande précocité des stades phénologiques permettrait de contrer les deux impacts les plus redoutés (échaudage thermique et sécheresse : Figure 2C ; 2B<sub>1</sub> et 2B<sub>2</sub>), alors même que, paradoxalement, le climat deviendrait plus chaud et plus sec sur l'ensemble de la saison printanière et estivale. La montaison et le remplissage des grains ayant lieu plus tôt dans l'année, le blé éviterait les jours de chaleur de l'été. A Evreux, les situations échaudantes (8 jours), un peu plus nombreuses qu'à Caen (5 jours) du fait de la continentalité, verraient leur nombre diminuer avec les scénarios RCP 4.5 et 8.5 (-2 jours) durant le cycle du blé, se rapprochant ainsi de la situation caennaise globalement inchangée du fait du décalage de la saison végétative. Les réserves utiles seraient vides plus tôt dans l'année alors même que la demande en eau du végétal augmenterait. Cependant, avec l'anticipation des stades phénologiques, la phase du cycle sur laquelle l'eau manque au blé serait moins longue pour les RCP4.5 et 8.5, la moisson intervenant avant les sécheresses estivales les plus prononcées. Le déficit hydrique moyen actuel sur un cycle est d'environ 60 mm pour les deux espaces aux sols profonds, de 91 mm en sol moyen et de 127 mm en sol mince. Dans le cas du RCP 4.5, il serait

---

<sup>16</sup>Généralisation d'un sol type d'après l'expertise des pédologues Patrick Le Gouée pour la partie bas-normande (Université de Caen Normandie) et Aurélien Noraz pour la partie haut normande (Conservatoire d'Espaces Naturels Normandie Seine).

respectivement de 50, 74 et 106 mm. Avec le RCP 8.5, ces chiffres chuteraient à environ 35, 49 et 87 mm.

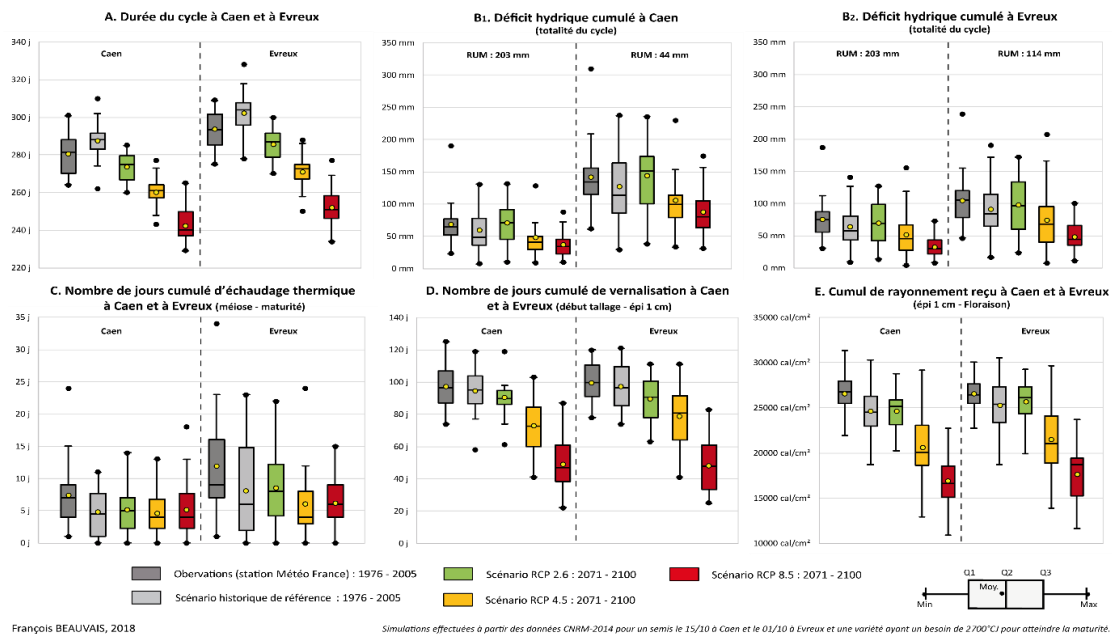


Figure 2. Evolution de plusieurs indicateurs phénoclimatiques du blé tendre à Caen et Evreux : comparaison entre la période de référence (1976-2005 observée et historique) et l'horizon lointain (2071-2100) pour trois scénarios RCP du GIEC (2.6, 4.5 et 8.5).

Toutefois, l'avancée calendaire des stades révèle aussi d'autres impacts qui pourraient survenir et par voie de conséquences perturber les rendements.

Il s'agit tout d'abord d'un déficit de rayonnement solaire en cours de montaison dans le cas des scénarios RCP 4.5 et 8.5 (Figure 2E). Cette phase ne débiterait plus mi-avril mais en sortie d'hiver, voire en cours d'hiver. Ce cumul, en moyenne de 24 650 cal/cm<sup>2</sup> à Caen et de 25 252 cal/cm<sup>2</sup> à Evreux entre 1976 et 2005, pourrait sur la période 2071-2100, diminuer de 4008 cal/cm<sup>2</sup> à Caen et de 3775 cal/cm<sup>2</sup> à Evreux avec le scénario RCP4.5, et de façon encore plus marquée avec le scénario RCP8.5 (7759 cal/cm<sup>2</sup> et 7615 cal/cm<sup>2</sup>). Par ailleurs, la méiose, qui a lieu au milieu du printemps, apparaîtrait un mois, voire deux mois plus tôt, selon les scénarios RCP 4.5 et 8.5. Malgré la hausse de la température, un risque serait présent car le début du printemps connaîtrait toujours des températures minimales basses (Tableau 1).

Tableau 1. Nombre de jours de froid à la méiose (avec Tn<4°C) à Caen et à Evreux pendant la période de référence 1976- 2005 et future 2071-2100 pour trois scénarios RCP du GIEC (2.6, 4.5 et 8.5).

	Période de référence 1976-2005		Période future 2071-2100		
	Observation	Modélisation	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
Caen	0,2 j	0,3 j	0,3 j	0,9 j	1,2 j
Evreux	0,5 j	0,3 j	0,8 j	2 j	3,4 j

En outre, les températures hivernales étant en hausse, le nombre de jours disponibles pour la vernalisation serait en baisse (Figure 2D). Sur la période 1976-2005, le blé a en moyenne 95 jours de vernalisation à Caen et 97 à Evreux. En 2100, la simulation RCP 2.6 ne montre pas d'évolution significative. En revanche, ce nombre pourrait tomber à 73 jours à Caen et 79 à Evreux pour le scénario RCP 4.5 et à environ 50 jours pour le scénario 8.5.

Dans le cas d'un réchauffement relatif aux scénarios RCP 4.5 et 8.5, pour que le blé puisse obtenir un rayonnement équivalent à la période de référence et éviter le froid à la méiose, il serait donc nécessaire de retarder la date de semis de plusieurs semaines. Toutefois, la fin de cycle arrivant au début de l'été, cela ne permettrait pas d'éviter l'échaudage thermique et le déficit hydrique (travaux en cours). A l'avenir, la céréaliculture serait alors prise en étau entre ces deux options. En effet, trouver un juste milieu pourrait être un pari risqué compte tenu de la variabilité interannuelle de la durée du cycle, puisqu'il existe et existera toujours des années plus chaudes et d'autres plus froides.

### 3. Discussion et perspectives

Cette approche climatologique pourrait être complétée en développant des réflexions géographiques plus systémiques, mais également en s'ouvrant vers d'autres disciplines.

Tout d'abord, les simulations régionales utilisées font abstraction de facteurs locaux. Or, à échelle fine, selon la topographie et le mode d'occupation du sol environnant, des différences peuvent être observées, expliquant que dans la réalité le seuil d'un indicateur phénoclimatique peut être franchi dans une parcelle et pas dans une autre. Ceci est particulièrement sensible dans la Plaine de Caen avec les effets de la brise de mer pénétrant plus ou moins dans les terres et rafraîchissant les espaces exposés. Des campagnes de terrain en cours permettront d'illustrer ces jeux d'échelles. Il serait également intéressant de dupliquer cette étude pour des données sorties d'autres modèles climatiques afin de dégager les incertitudes épistémiques. Par ailleurs, le bilan hydrique est une simplification du système complexe atmosphère-plante-sol et de ses interactions (Cantat et alii, 2009). Afin de tenir compte des différences que l'on peut obtenir par rapport à la réalité, une parcelle est actuellement en cours d'instrumentation. L'humidité du sol sera suivie à l'aide de tensiomètres (sondes TDR) durant la période végétative et les résultats pourront ainsi être confrontés à ceux du bilan hydrique calculé, tout en s'attachant à la diversité spatiale du sol au sein de cette parcelle.

Cette démarche agroclimatologique devra également associer une approche de sciences humaines afin d'intégrer plus concrètement la gestion des exploitations agricoles, la capacité d'adaptation des exploitants à ces changements et de connaître les éléments déjà envisagés par la profession (démarche initiée avec la Chambre Régionale d'Agriculture de Normandie). On ne manquera pas également d'intégrer le modèle économique puisqu'il occupe une place prépondérante dans la viabilité des exploitations agricoles.

Parallèlement, cette étude permettant d'estimer les nouveaux potentiels climatiques pour la plante devra être affinée en recourant à une approche agronomique, par l'intermédiaire d'un modèle de culture. Il serait notamment possible d'intégrer les mécanismes régissant la physiologie végétale afin d'estimer un potentiel de rendement. Des études telles que celles du projet CLIMATOR (2007-2010) montrent que malgré des évolutions climatiques peu favorables, notamment en conditions de sécheresse, les rendements, en France, ne seraient pas impactés grâce à l'effet valorisant du CO<sub>2</sub>. De plus, les dates d'apparition des différents stades phénologiques déterminées à partir d'une somme de température pourraient être précisées par la prise en compte des éléments qui interviennent secondairement dans la durée du cycle de développement de la plante : photopériodisme, vernalisation, aléas climatiques (Gate, 1995).

Enfin, l'ensemble de l'étude pourrait être étendue à d'autres cultures régionales mais aussi sur d'autres espaces agricoles français.

## Conclusion

Le changement climatique pourrait engendrer des conséquences sur la culture du blé tendre en Normandie plus ou moins accentuées selon les scénarios climatiques envisagés. L'élévation de la température engendrerait un raccourcissement de la durée du cycle de la plante. Dans le cas d'un semis au mois d'octobre (pratique actuelle), cette avancée des stades phénologiques permettrait d'éviter les jours de chaleur et de déficit hydrique estivaux. En contrepartie, le végétal pourrait souffrir d'un manque de rayonnement solaire lors de la montaison et serait davantage confronté à une période de froid à la méiose. Les hivers doux, quant à eux, provoqueraient une baisse du nombre de jours de vernalisation. En retardant de plusieurs semaines la date de semis, ces derniers impacts pourraient être évités mais alors les moissons s'effectueraient en été et le blé n'échapperait plus aux jours de chaleur et au manque d'eau, alors même que l'irrigation pourrait être contrainte (diminution de l'approvisionnement en eau des nappes phréatiques et des cours d'eau). Face à ces changements, la filière agricole peut s'adapter en cherchant de nouveaux idéo-types de blé ou en recourant à des variétés paysannes anciennes. Dans le cas où la génétique et le retour à la rusticité n'apporteraient pas de solutions, de nouveaux assolements pourraient être envisagés, sans quoi la viabilité des exploitations serait remise en cause.

D'ici 2100, l'avenir de l'agriculture normande dépend de nombreux facteurs. Les changements climatiques apparaissent comme un élément majeur, d'autant plus qu'ils impactent directement les facteurs agronomiques (résilience de la plante, maladies, ravageurs, pratiques agricoles...). Mais, dans le cadre d'une réflexion globale, il conviendra de ne pas négliger les facteurs économiques (rôle des conjonctures politiques nationale et internationale, place des productions destinées à l'exportation, essor des circuits de proximité) ou même sociologiques (capacité de la filière agricole à s'adapter aux changements).

## Bibliographie

- Allen R.G., Pereira L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. *Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop requirements*. FAO Irrigation and Drainage, Paper 56, Rome, FAO, 300 p.
- Beauvais F., 2016. *Changement climatique et agriculture : quelles vulnérabilités et représentations d'un élément de forçage des agrosystèmes ?* Mémoire de Master 1 sous la direction conjointe de Cantat O et de Madeline P. Université de Caen Normandie, 253 p.
- Brisson N., Gate P., Gouache D., Charmet G., Oury FX., Huard F., 2010, Why are wheat yields stagnating in Europe? A comprehensive data analysis for France. *Field Crops Research*, **119**, 201-212.
- Brisson N., Levraut F., [Dir.], 2010, *Changement climatique, agriculture et forêt en France : simulation d'impact sur les principales espèces*. Le livre vert du projet CLIMATOR (2007-2010). ADEME, 336 p.
- Cantat O., Le Gouée P., Bensaid A., 2009, Rôle de la topographie et des sols dans la modélisation spatiale d'échelles fines et des bilans hydriques en Normandie. Actes des journées en climatologie 2009 « Climat et relief », Comité National Français de Géographie, Commission « Climat et société », 81-100.
- IPCC., 2014. *Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team., Pachauri RK., Meyer L.A (eds.)]*, Genève, IPCC, 151 p.
- Gate P., Blondlot A, Gouache D., Deudon O., Vignier L., 2008. Impacts du changement climatique sur la croissance et le développement du blé en France. Quelles solutions et quelles actions à développer ? *OCL*, **5**, 332-336.
- Gate P., 1995. *Ecophysiologie du blé : de la plante à la culture*. Paris Lavoisier, France, 424 p.
- Thorntwaite C., Mather J., 1955. *The water balance*. Centerton, Climatol, 104 p.