

# Conditions agrométéorologiques du Plateau suisse de 1864 à 2050

Pierluigi Calanca et Annelie Holzkämper, Station de recherche Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, 8046 Zurich  
Renseignements: Pierluigi Calanca, e-mail: pierluigi.calanca@art.admin.ch, tél. +41 44 377 7512



Photo: Gabriela Brändle, ART

Même à l'avenir le climat restera un facteur déterminant de la production végétale.

## Introduction

L'agriculture suisse bénéficie aujourd'hui de conditions climatiques relativement favorables. Elle ne subit que rarement des pertes de production notables à l'échelle nationale, comme celles consécutives aux sécheresses de 1947, 1949, 1976 (Pfister 1999) et, en partie aussi, de 2003 (Keller et Fuhrer 2004). Il n'empêche qu'à l'échelle régionale, les dommages dus aux intempéries peuvent être importants.

En sera-t-il encore ainsi à l'avenir? Cette question est au cœur des activités de la recherche internationale (Eitzinger *et al.* 2009) et nationale. Des considérations d'ordre général sur les effets potentiels d'une augmentation de la température et d'une diminution des précipitations estivales sur l'agriculture suisse sont exprimées dans le rapport «Les changements climatiques et la Suisse en 2050» de l'Organe consultatif sur les changements climatiques (OcCC/ProClim 2007). Calanca (2007) a étudié les effets à long terme du changement climatique sur l'intensité des sécheresses en été. En outre, Fuhrer et Jasper (2009) ont donné des indications sur

l'importance des sécheresses estivales et le besoin en eau d'irrigation des herbages et des grandes cultures.

Bon nombre de ces études sont fondées sur les mêmes bases que les scénarios climatiques existants et représentent une synthèse des résultats du projet européen de recherche PRUDENCE (Christensen et Christensen 2007).

Entre-temps, de nouveaux scénarios climatiques ont été élaborés pour l'Europe dans le cadre du projet ENSEMBLES (Hewitt 2005; voir aussi <http://ensembles-eu.metoffice.com>). A la différence du projet PRUDENCE, le projet ENSEMBLES calcule l'évolution du climat pour la première fois sans interruption de 1950 à 2050, voire parfois jusqu'à 2100. Les résultats de ce projet sont actuellement analysés par un groupe d'experts dans le but d'actualiser les scénarios de OcCC/ProClim (2007).

Même s'il n'est pas encore possible d'en tirer des conclusions précises, le projet ENSEMBLES fournit des renseignements et réflexions sur les conséquences potentielles des tendances agrométéorologiques qui se dessinent. Afin d'élargir la perspective des scénarios, l'évolution du climat de ces 150 dernières années est

prise en compte à l'aide des séries de données homogénéisées de la température mensuelle moyenne et de la somme mensuelle des précipitations. Ces données issues de l'Office fédéral de météorologie et de climatologie (MétéoSuisse) sont disponibles sur [http://www.meteoschweiz.admin.ch/web/de/klima/klima\\_heute/homogene\\_reihen.html](http://www.meteoschweiz.admin.ch/web/de/klima/klima_heute/homogene_reihen.html).

### Exigences climatiques des plantes cultivées

Des conditions climatiques optimales durant toute la période de végétation sont à la clé d'une haute productivité végétale. Toutefois, chaque culture possède ses exigences propres vis-à-vis des facteurs climatiques ou des risques d'intempéries (Lang et Müller 1999), variant fortement selon les espèces et les stades phénologiques: croissance végétative, floraison, formation et remplissage des grains.

Pour de nombreuses plantes cultivées, les températures optimales se situent entre 25 et 30 °C, tandis que des températures plus élevées limitent le rendement (Hess 1991). Cette situation ne se produisant que rarement sous nos latitudes, les températures minimales revêtent généralement plus d'importance. Par ailleurs, les dégâts dus au gel peuvent entraîner une forte réduction du rendement, voire la perte totale des récoltes.

Pour croître de façon optimale, les plantes ont aussi besoin de suffisamment d'eau. Les pertes par évapotranspiration doivent être constamment compensées par le système racinaire. Si le sol ne dispose pas d'une réserve suffisante, les plantes peuvent subir un stress hydrique. Elles réagissent alors en refermant leurs stomates, ce qui diminue les pertes en eau, mais cette modification de leur métabolisme limite l'absorption de CO<sub>2</sub> et entraîne des baisses de rendement voire des modifications de la qualité, si la sécheresse persiste.

Les précipitations ont un effet positif sur l'emmaganement d'eau, mais peuvent aussi être directement ou indirectement néfastes (grêle, érosion, engorgement du sol, inondation) ou favoriser les infections fongiques par une humidification fréquente des feuilles.

### Indices agrométéorologiques

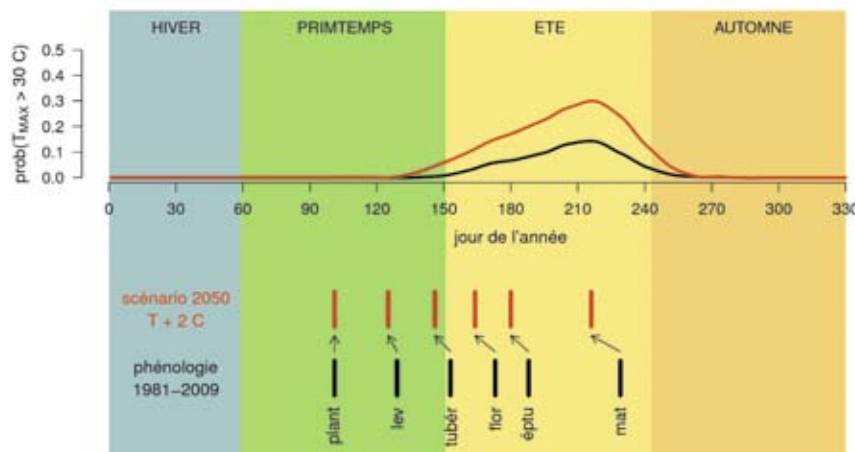
Les indices agrométéorologiques permettent de caractériser les liens entre le climat et les systèmes agricoles (Eitzinger *et al.* 2008). Ils décrivent les effets des paramètres climatiques sur la croissance des plantes cultivées, permettant ainsi de répertorier divers processus, comme l'évolution phénologique, les effets de la sécheresse, de l'humidité, des grandes chaleurs et du froid, ou l'apparition de maladies et la propagation de ravageurs.

Les phases de croissance sont généralement représentées sur la base de valeurs en degrés-jours (*Growing*

**Résumé** ■ En Suisse comme ailleurs, le changement climatique aura des répercussions sur l'agriculture; il pourrait améliorer les conditions de production mais aussi augmenter les risques. Dans ce contexte, les indices agrométéorologiques peuvent aider à mieux comprendre les interactions entre le climat et la croissance des cultures. Ils constituent une base d'information nécessaire au développement de stratégies d'adaptation. Ce travail examine deux aspects importants de la production végétale : la durée de la période de végétation et les risques de sécheresse. Les données climatiques utilisées comprennent des séries homogénéisées de la température et des précipitations entre 1864 et 2009, ainsi que les derniers scénarios climatiques du projet européen ENSEMBLES. Nos résultats indiquent que la période de végétation sur le Plateau se prolonge d'environ 40 jours d'ici à 2050 par rapport à la référence des années 1970. Ces résultats coïncident avec ceux obtenus précédemment. En revanche, ils montrent que les risques de sécheresse sont moins dramatiques que prévu, principalement parce que les scénarios ENSEMBLES ne prévoient en moyenne qu'une faible diminution des précipitations estivales pour la première moitié du 21<sup>e</sup> siècle. Toutefois de grandes incertitudes subsistent sur ce point.

*Degree Days*). Des données fiables sont disponibles pour beaucoup de plantes cultivées (p. ex. Lang et Müller 1999) permettant de dater avec précision les stades de développement. Pour la production fourragère, l'indicateur souvent utilisé est le nombre de jours dont la température journalière moyenne dépasse 5 °C. Par ailleurs, l'influence du froid est prise en considération dans plusieurs études en utilisant un seuil fixé à - 2 °C pour la température journalière minimale.

Diverses valeurs-seuil peuvent entrer en jeu pour intégrer l'impact de la chaleur. Les jours d'été sont par exemple caractérisés par une température journalière maximale dépassant 25 °C. Pour les jours de chaleur tropicale et de chaleur caniculaire, ces valeurs se situent à 30, respectivement 35 °C.



**Figure 1** | Effet d'une augmentation de 2 °C sur la croissance des pommes de terre et sur le risque de développement des tubercules, pour le site de Reckenholz, dans l'hypothèse que la date de plantation n'a pas été adaptée. Les principaux stades phénologiques au bas de la figure: plantation (plant); levée (lev); tubérisation (tubér); floraison (flor); épaississement des tubercules (éptu); maturité (mat), ont été déterminés sur la base des valeurs-seuil en degrés-jours. Dans la partie supérieure, une représentation graphique de la probabilité que la température journalière maximale dépasse 30 °C; en noir: résultats d'une évaluation de la météorologie journalière entre 1981 et 2009; en rouge: résultats avec une augmentation de la température de 2 °C, telle que l'esquissent les scénarios climatiques du projet ENSEMBLES pour 2050.

L'apparition de la sécheresse et le stress hydrique qui s'ensuit sont des phénomènes relativement complexes nécessitant un large choix d'indices agrométéorologiques. La sécheresse est d'abord une conséquence de l'absence de précipitations significatives. Toutefois, les variations de l'offre en eau sont largement dépendantes de l'effet tampon du sol, voire de la nappe phréatique. Par ailleurs, les plantes dotées d'un enracinement profond peuvent utiliser l'eau présente dans les couches inférieures du sol et résistent donc mieux aux périodes pauvres en précipitations.

Selon le point de vue, la sécheresse peut être étudiée grâce aux seuls indicateurs de précipitations, comme l'indice standardisé des précipitations (*Standardized Precipitation Index* ou SPI) introduit par McKee *et al.* (1993) ou à d'autres indices plus spécifiques reflétant le bilan hydrique du sol et l'utilisation d'eau par les plantes, comme l'indice de sécheresse de Palmer (1965; *Palmer Drought Severity Index* ou PDSI), l'évapotranspiration relative (Fuhrer et Jasper 2009) ou la disponibilité moyenne en eau dans la zone racinaire (Milly 1993; Keller et Fuhrer 2004). Dans de nombreuses applications, il importe de connaître non seulement l'intensité de la sécheresse, mais aussi sa durée. C'est pourquoi la longueur des phases de sécheresse est aussi souvent utilisée comme indice.

Les indices agrométéorologiques peuvent être calculés aussi bien pour toute la période de végétation que pour une phase particulière de la croissance des plantes. Le calcul de ce dernier facteur permet par

exemple de mettre en évidence un décalage des stades phénologiques dû à une hausse des températures. L'exemple de la croissance des pommes de terre représenté à la figure 1 montre que cette option est judicieuse lors de l'appréciation des risques, car elle fournit des données plus précises.

### Evolution de la phénologie

Les premières analyses des scénarios ENSEMBLES montrent que, dans l'arc alpin, la température pourrait augmenter de 2 °C d'ici à 2050. Pour les précipitations estivales, aucune tendance négative ne se profile clairement d'ici là, contrairement à ce qu'indiquent les scénarios de l'OcCC/ProClim (2007).

Que signifient ces chiffres pour les conditions agrométéorologiques dans l'agriculture? Ils permettent tout d'abord de considérer la phénologie. La durée de la période de végétation des prairies et des pâturages ainsi que son évolution de 1864 à 2050 sont représentées à la figure 2.

La tendance à un prolongement de la période de végétation se remarque clairement dans cette figure, notamment à partir de 1960. Mais on note aussi d'évidentes variations à court et à moyen terme. Vers 1860, les valeurs des années favorables équivalaient déjà à celles des environs de 1940, tandis que la période de 1890 à 1910 semble avoir été plus froide que la moyenne et défavorable à la production fourragère. La variabilité annuelle entre 1900 et 1930 est nettement plus faible que dans la deuxième moitié du 19<sup>e</sup> siècle ou que depuis 1940.

Selon les résultats du projet ENSEMBLES, la tendance observée depuis 1980 se poursuivra jusqu'en 2050. A ce terme, la période de végétation comptera 250 jours en moyenne, soit 40 jours de plus qu'en 1970. Cela signifierait une coupe supplémentaire par an dans les prairies productives.

### Evolution de la sécheresse

La sécheresse est indiquée ici à l'aide du SPI. Comme McKee *et al.* (1993) l'expliquent, cet indice représente une standardisation des précipitations cumulées sur une période allant de 3 à 24 mois, selon la question posée. Dans le cas présent, une période d'intégration de six mois a été choisie et la somme des précipitations est examinée pour les mois d'avril à septembre, période représentative des longues phases de sécheresse persistante, qui peuvent conduire à des pertes de rendement. La période de référence choisie pour la standardisation s'étend de 1981 à 2009. Les valeurs négatives du SPI indiquent une sécheresse, voire une grave sécheresse lorsqu'elles sont inférieures à  $-1,5$  unités.

La figure 3 montre clairement que dans le passé, le cumul des précipitations entre avril et septembre a fortement varié. Les décennies 1860, 1890 et 1940 ont été particulièrement touchées par la sécheresse. Celle de 1947 fut la plus grave pour l'agriculture suisse (Pfister 1999). Mais des pertes considérables ont aussi marqué l'été 2003 (Keller et Fuhrer 2004). Les deux événements se distinguent principalement par le fait qu'en 1947, la

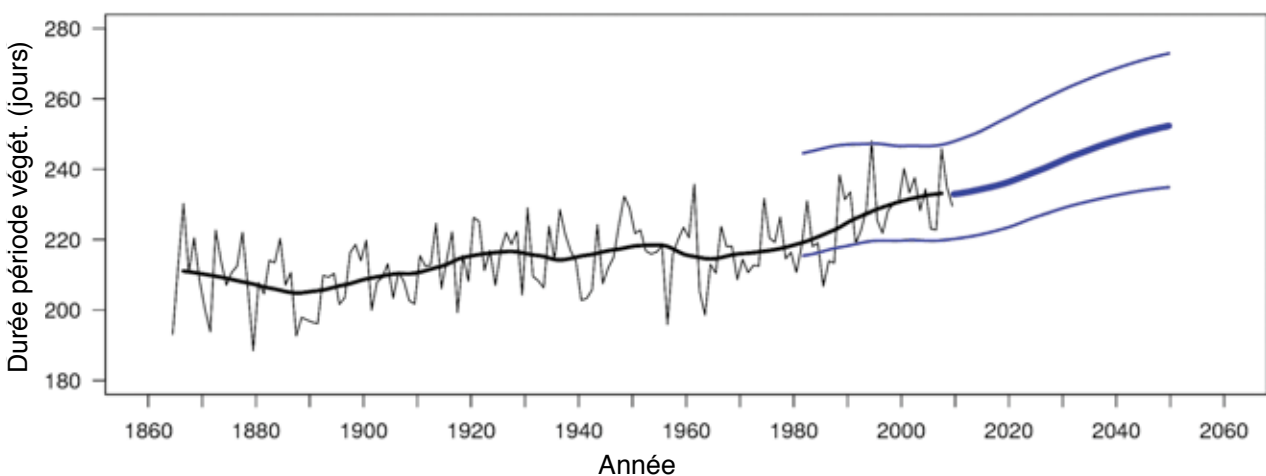
phase d'anomalies négatives en termes de précipitations avait déjà commencé l'hiver précédent pour culminer à la fin de l'été. En 2003, la sécheresse a surtout sévi en avril, juin et août. En intégrant toute la période d'avril à septembre, l'anomalie est alors nettement plus faible qu'en 1947.

Concernant l'évolution future de la sécheresse, aucune tendance significative du régime des précipitations ne se profile d'ici à 2050. Toutefois, sa marge d'incertitude est presque aussi grande que la variabilité climatique annuelle actuelle. Cela signifie que des événements climatiques comme la sécheresse de 2003 pourraient se répéter en tout temps dans un proche avenir.

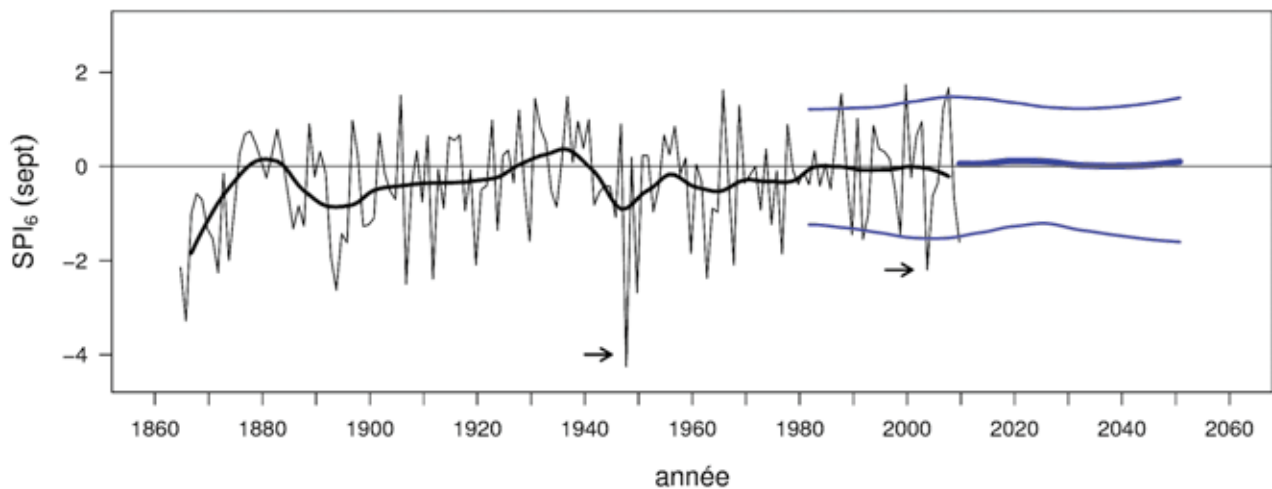
### Discussion

Les variations constantes du climat imposent un relevé quantitatif des conditions agrométéorologiques afin de repérer les risques et d'anticiper le développement de stratégies adaptées. Une analyse à l'aide d'indices agrométéorologiques a le double avantage de reposer sur des modélisations simples et de fournir des résultats faciles à interpréter. Elle intègre aussi divers facteurs climatiques en fonction des stades phénologiques d'une plante, ces indices pouvant être calculés de façon ciblée pour des phases de développement critiques.

Dans ce travail, l'évolution des conditions agrométéorologiques sur le Plateau suisse a été esquissée à l'aide de deux de ces indices pour la période de 1864 à 2050 >



**Figure 2** | Durée de la période de végétation dans les prairies et les pâturages sur le site de Berne, de 1864 à 2050. En noir: Rétrospectives reconstituées sur la base de données homogénéisées des températures de MétéoSuisse. La ligne fine indique les valeurs annuelles, tandis que la ligne épaisse illustre les tendances à moyen terme. En bleu: Evolution jusqu'à 2050 calculée sur la base des 15 scénarios du projet ENSEMBLES. Dans ce cas, la ligne épaisse représente l'évolution probable tandis que les lignes fines délimitent la marge d'incertitude.



**Figure 3** | Graphique semblable à celui de la figure 2, mais se rapportant à l'évolution du SPI de la Station d'observation de Berne, de 1864 à 2050. Il s'agit ici des valeurs du SPI semestriel pour septembre, qui reflètent les anomalies des précipitations cumulées pour les mois d'avril à septembre. Les valeurs négatives du SPI indiquent la sécheresse. Les valeurs inférieures à  $-1,5$  correspondent à une sécheresse persistante. Les deux flèches pointent sur 1947 et 2003.

2050. Les données utilisées sont fondées sur une rétrospective des observations météorologiques ainsi que sur des scénarios climatiques issus des résultats du projet de recherche européen ENSEMBLES.

En ce qui concerne la température, nos résultats sont comparables à ceux des travaux précédents. Pour la sécheresse estivale par contre, des divergences notables apparaissent qu'il s'agira d'élucider lors de prochains travaux. Rappelons dans ce contexte que les simulations explicites réalisées dans le projet PRUDENCE avec des modèles climatiques régionaux ne portent que sur la période 2071 - 2100 tandis que, dans le rapport OcCC/ProClim (2007), ces résultats sont échelonnés sur les années 2030, 2050 et 2070 à l'aide d'une méthode statistique. Il convient donc de réexaminer les hypothèses émises sur la base des connaissances actuelles.

Un examen plus large des résultats du projet ENSEMBLES montrera dans quelle mesure et à partir de quand il sera nécessaire de prélever des quantités accrues d'eau pour irriguer les terres (Fuhrer et Jasper 2009).

## Conclusions et perspectives

- L'interprétation des scénarios relatifs à l'agriculture suisse continuera de nous occuper ces prochaines années. L'un des grands objectifs est de mettre en œuvre l'analyse des liens entre le climat et la croissance des plantes pour établir des directives à l'intention des praticiens.
- Il s'agit concrètement d'actualiser la carte des aptitudes climatiques, à partir de l'appréciation des

aptitudes spécifiques à l'agriculture suisse établie par Jeanneret et Vautier (1977).

- La carte des aptitudes climatiques utilisée jusqu'à présent se base sur des données climatiques relevées entre 1901 et 1960. Comme l'indiquent les figures 2 et 3, le climat a changé depuis lors et il serait opportun d'actualiser cette carte avec de nouvelles données.
- Toutefois, la méthode d'appréciation développée par Jeanneret et Vautier n'est que partiellement reproductible et doit donc être reformulée. Ce travail est actuellement réalisé par Agroscope ART dans le cadre de la recherche nationale prioritaire accordée au climat (<http://www.nccr-climate.unibe.ch>).
- La nouvelle méthode reposera sur l'appréciation d'experts des aptitudes climatiques spécifiques aux cultures. La quantification de la sensibilité au climat est effectuée sur la base d'indices agrométéorologiques calculés pour des stades phénologiques critiques. Cette méthode sera facilement reproductible et modifiable, ce qui permettra d'actualiser et d'étendre en tout temps le calcul des aptitudes climatiques et de prendre en compte ces évolutions pour la culture de nouvelles espèces ou variétés.
- Les aptitudes climatiques pourront également être évaluées pour divers scénarios sur l'évolution future du climat. ■

## Riassunto

### Condizioni agrometeorologiche sull'Altipiano svizzero dal 1864 al 2050

I cambiamenti climatici si ripercuoteranno anche in Svizzera sulle le condizioni agrometeorologiche per la campicoltura e la foraggicoltura. Ciò potrà comportare un miglioramento della produzione, ma anche un aumento dei rischi legati alle intemperie. L'esame degli indici agrometeorologici può aiutare a meglio comprendere l'interazione tra clima e colture, nonché a creare le basi per lo sviluppo di strategie di adattamento. In questo ambito sono stati analizzati due aspetti importanti della produzione vegetale, cioè la durata del periodo di vegetazione e il rischio di siccità, basandosi su dati meteorologici per gli anni 1864-2009 e sui più recenti scenari climatici emersi dal progetto europeo di ricerca ENSEMBLES. Riguardo al periodo di vegetazione sull'Altipiano, i risultati si sono rivelati coerenti con quelli di studi precedenti, indicando per il 2050 un prolungamento di circa 40 giorni rispetto al 1970. Riguardo al rischio di siccità il quadro emerso è meno drammatico di quanto prospettato finora, poichè negli scenari ENSEMBLES la tendenza al calo delle precipitazioni estiva è minima nella prima metà del XXI secolo. A questo proposito rimangono però notevoli incertezze.

## Summary

### Agrometeorological conditions on the Swiss Plateau from 1864 to 2050

Climate change will affect the agrometeorological conditions for crop and forage farming also in Switzerland. This can improve agricultural production but also increase weather-related risks. In this context, agrometeorological indices can help to better understand the interactions between crops and climate and thus serve as a basis for the development of adaptation strategies. This study investigates two important aspects of crop production, namely the length of vegetation period and drought risks. Our investigation relies on homogenized data series for temperature and precipitation spanning the period 1864–2009 and the latest climate scenarios from the European research project ENSEMBLES. Concerning the length of vegetation period, our results are consistent with the findings of earlier studies. For the Plateau, they suggest by 2050 an extension of about 40 days relative to the reference in the 1970s. Regarding drought risks the picture is less dramatic than previously assumed. This can be explained by the fact that for the first half of the 21st century the ENSEMBLES scenarios show on average only a small tendency toward reduced summer precipitation. On this aspect, however, even the new scenarios are fraught with uncertainty.

**Key words:** climate change, agrometeorological indices, growing season's length, drought risk.

## Bibliographie

- Calanca P., 2007. Climate change and drought occurrence in the Alpine region: How severe are becoming the extremes? *Global and Planetary Change* **57**, 151–160.
- Christensen J. H. & Christensen O. B., 2007. A summary of the PRUDENCE model projections of changes in European climate by the end of this century. *Climatic Change* **81**, 7–30.
- Eitzinger J., Kersebaum C. K. & Formayer H., 2009. Landwirtschaft im Klimawandel. Agrimedia Verlag, Clenze. Accès: <http://de.agrimedia.com>
- Eitzinger J., Thaler S., Orlandini S. et al., 2008. Agroclimatic indices and simulation models. In: Nejedlik P. & Orlandini S. (Eds.) Survey of Agrometeorological practices and Applications in Europe Regarding Climate Change Impacts. European Science Foundation, COST, Brussels.
- Fuhrer J. & Jasper K., 2009. Bewässerungsbedürftigkeit von Acker- und Grasland im heutigen Klima. *Agrarforschung* **16**, 396–401.
- Hess D., 1991. Pflanzenphysiologie. 9. Auflage, Verl. Eugen Ulmer, Stuttgart.
- Hewitt C.D., 2005: The ENSEMBLES Project: Providing ensemble-based predictions of climate changes and their impacts. EGGG Newsletter, 13, 22–25. Accès: <http://www.the-eggs.org/?issueSel=24>
- Jeanneret F. & Vautier P., 1977. Kartierung der Klimateignung für die Landwirtschaft in der Schweiz – Levé cartographique des aptitudes climatiques pour l'agriculture en Suisse. Jahrbuch der Geographischen Gesellschaft von Bern, Beiheft; 4 G. I. d. U. Bern. Bern: 108, Anhang, Beilagen.
- Keller F. & Fuhrer J., 2004. Die Landwirtschaft im Hitzesommer 2003. *Agrarforschung* **11**, 403–411.
- Lang R. & Müller A., 1999. CropData – Kennwerte und ökologische Ansprüche der Ackerkulturen (CD-ROM). uismedia, Freising.
- McKee T. B., Doesken N. J. & Kliest J., 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In: Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology, 17–22 January, Anaheim, CA. American Meteorological Society, Boston, MA, 179–184.
- Milly P. C. D., 1993. An analytic solution of the stochastic storage problem applicable to soil water. *Water Resources Research* **29**, 3755–3758.
- OcCC/ProClim, 2007. Klimaänderung und die Schweiz 2050. Erwartete Auswirkungen auf Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft. Bern.
- Palmer W. C., 1965. Meteorological drought. Research Paper No. 45. U.S. Weather Bureau, Washington, D.C.
- Pfister C., 1999. Wetternachhersage: 500 Jahre Klimavariationen und Naturkatastrophen. Verlag Paul Haupt, Bern, Stuttgart, Wien, 304 p.