

Irrigation et changement climatique: une analyse régionale du déficit en eau

Jürg Fuhrer et Pierluigi Calanca

Agroscope, Institut des sciences en durabilité agronomique IDU, 8046 Zurich, Suisse

Renseignements: Jürg Fuhrer, e-mail: juerg.fuhrer@agroscope.admin.ch



Pompage mobile dans un canal de la vallée de la Broye pour l'irrigation. (Photo: Jürg Fuhrer, Agroscope)

Introduction

Le recensement de l'Office fédéral de la statistique indique qu'en 2010, près de 36 000 ha de surface agricole utile (SAU) ont été irrigués (OFS 2012). Cela correspond à 3,4 % de la SAU totale. La plupart des exploitations ont utilisé de l'eau en provenance des torrents, des rivières et des lacs (46 %), ou de la nappe phréatique (37 %). Mais la surface «nécessitant de l'irrigation» est nettement plus vaste. Des simulations réalisées pour l'ensemble de la Suisse indiquent que 26 % de la SAU totale nécessiterait «potentiellement» de l'irrigation, ce qui signifie que sur cette surface, l'irrigation a un effet positif sur le rendement en moyenne une fois tous les

trois ans (Fuhrer et Jasper 2009). Ne sont effectivement arrosées que les cultures pour lesquelles la dépense vaut la peine, par exemple les pommes de terre, les betteraves sucrières, le maïs ou les cultures spéciales.

Dans les prochaines décennies, de nombreux agriculteurs pourraient être confrontés à un besoin croissant en irrigation pour assurer le rendement et la qualité de leur récolte. Les projections climatiques pour les années 2050 environ prévoient une augmentation du CO₂ atmosphérique jusqu'à 530 ppm (scénario d'émission A1B), un accroissement des températures de 3–4 °C en moyenne et une réduction des précipitations de 5–20 % en été (CH2011 2011). Parallèlement, le débit de nombreux cours d'eau faiblira lui aussi considérablement en été

(OFEV 2012). Pour éviter les conflits que pourrait engendrer une pénurie d'eau, il faut donc trouver de nouvelles solutions et stratégies pour l'utilisation de l'eau, notamment dans les régions où le rapport entre l'offre et la demande devient critique sous l'effet du changement climatique. L'étude présentée ici avait pour objectif de modéliser ce rapport pour les bassins versants suisses de taille moyenne dans les conditions climatiques actuelles, afin d'identifier, au moyen d'une analyse de déficit, les régions particulièrement touchées. Pour ces régions, le changement a également été calculé dans l'hypothèse de deux scénarios climatiques pour 2050.

Méthodes

Simulations avec le modèle hydrologique WaSim-EPF

Les besoins en eau ont été calculés avec le modèle hydrologique de bilan d'eau et de débit WaSiM-ETH (www.wasim.ch). Ce modèle permet une simulation détaillée dans le temps et dans l'espace de tous les cours d'eau hydrologiquement importants. Le calcul du besoin en eau correspond à une simulation de l'irrigation gérée selon les besoins, dans laquelle ceux-ci sont déterminés à partir de la réduction de l'évapotranspiration réelle (ET) par rapport à l'évapotranspiration potentielle (ETP). De plus, le rapport ET/ETP est également calculé à partir de l'humidité moyenne du sol à la profondeur d'enracinement. Comme lors des études antérieures (Fuhrer et Jasper 2009; Fuhrer 2010), une réduction de l'ET réelle de 20 % liée à l'humidité du sol a été fixée comme point de départ de l'irrigation (ET/ETP = 0,80). Le début du stress dû à la sécheresse est déterminé par un seuil de la tension de l'eau du sol spécifique à la végétation. Ce seuil a été fixé de manière homogène à 350 hPa (valeur pF: 2,54) pour tous les modes d'exploitation considérés (Fuhrer et Jasper 2009). La quantité d'eau à apporter se calcule en faisant la différence entre l'humidité du sol pondérée par la profondeur racinaire à la valeur cible (ET/ETP = 1) et la valeur réelle. Contrairement aux études de Fuhrer (2012), les pertes en eau d'irrigation ont été prises en compte en appliquant aux quantités calculées un taux d'efficacité d'irrigation de 70 %.

Mise en place du modèle

Comme pour les études de Fuhrer et Jasper (2009) et de Fuhrer (2010), une première étape a consisté à établir des modèles pour les bassins versants de la Thur, l'Emme, la Broye, le Rhône, le Tessin et le Dischmabach. Pour identifier les surfaces (grandes cultures, herbages et cultures fruitières), on a recouru aux données de la Statistique de la superficie 2004/09 (état: août 2011) et, pour les zones qui n'avaient pas encore été enregistrées,

■ **Résumé** Avec le changement climatique, le besoin en eau des cultures agricoles a tendance à augmenter et il est de plus en plus souvent nécessaire d'irriguer. Parallèlement, l'eau se fait de plus en plus rare, car en été, les niveaux d'eau de plusieurs bassins versants du Plateau baissent. Afin d'identifier les régions qui présentent un risque élevé de pénurie en eau, on a calculé, à l'aide d'un modèle hydrologique, le rapport entre le besoin potentiel en irrigation et l'eau disponible (débit des cours d'eau) pour 39 bassins versants de 1981 à 2010. Les résultats montrent que les années extrêmes comme 2003, l'eau est déjà insuffisante dans certaines régions aujourd'hui. Avec le changement climatique, cette situation s'aggraverait et conduirait de plus en plus à des pénuries, comme l'indiquent les simulations réalisées pour les régions étudiées à partir de deux scénarios climatiques pour la période de 2036 à 2065. Dans les bassins versants de Glatt-Töss, de la Birse ou de Broye-Mentue, la fréquence des années avec pénurie d'eau augmentera considérablement en cas d'un important changement climatique. Dans ces régions, il est indispensable de prendre des mesures pour adapter la gestion de l'eau, de manière à protéger les cours d'eau tout en tenant compte des attentes de l'agriculture.

à la Statistique de la superficie 1992/97 (OFS 2001). Dans cette dernière statistique, les surfaces de terres assolées doivent être déterminées par déduction (Fuhrer et Jasper 2009). C'est pourquoi on parle de «terres assolées potentiellement exploitables», dont la localisation et l'étendue peuvent différer des surfaces effectivement utilisées pour les grandes cultures. Les calculs ont été effectués sous forme de simulations continues journalières, à la résolution de 500 m x 500 m, sans paramètres spécifiques aux différents types de cultures, c'est-à-dire avec des paramètres moyens du développement phénologique des grandes cultures, des herbages et des cultures fruitières. Pour les herbages, on a défini trois coupes par période de croissance, les dates variant selon l'altitude.

L'étalonnage et la vérification du modèle ont été effectués sur la base de débits mesurés (Fuhrer et Jasper 2009). Pour la mise à l'échelle des apports d'eau spécifiques aux régions par rapport à la SAU totale, une deuxième étape consiste à appliquer la méthode de régres-

Tableau 1 | Pourcentage de surface agricole utile (SAU) dans les «hotspots» sélectionnés

Région		Thur	Emme	Glatt-Töss	Birse	Broye-Mentue
Surface totale	(km ²)	1758	939	862	911	755
Pourcentage de SAU	(%)	57	52	42	42	67
Grandes cultures	(ha)	36 100	17 800	18 400	10 500	35 000
Herbages	(ha)	60 300	30 500	16 200	27 000	14 900
Cultures fruitières	(ha)	4 200	800	1 200	700	700

sion multiple décrite par Fuhrer (2010). Celle-ci prend en compte le fait que le besoin en eau dépend du climat, de la topographie et des propriétés du sol.

Bassins versants

Les bassins versants individuels ont été délimités sur la base de séries de données sur les surfaces: le modèle numérique de terrain RIMINI (swisstopo 2004) a servi à déterminer les zones de drainage de stations limnimétriques sélectionnées. Ces données ont été complétées par les «géodonnées sur la subdivision de la Suisse en bassins versants» (OFEV 2011). Les chiffres ont été collectés à un niveau d'agrégation de 1000 km². Au total, 39 régions ont été délimitées avec des surfaces comprises entre 526 et 1722 km² et un pourcentage de SAU compris entre 6 % et 66 %.

Les bassins qui affichaient des besoins élevés par rapport à l'eau disponible dans les conditions climatiques actuelles, présentaient une proportion significative de SAU (42–67 %) et réunissaient les trois catégories d'exploitation (grandes cultures, herbages et cultures fruitières), ont été soumis à des calculs et analyses approfondis («hotspots», zones les plus exposées; tabl. 1).

Deux de ces bassins (Emme et Birse) ont été repris intégralement de la cartographie initiale. Les trois autres bassins (Thur, vallée de la Glatt-vallée de la Töss et Broye-Mentue) ont par exemple connu une extension de leur superficie. L'embouchure de la Thur et celle de la

Töss ont également été incluses. Dans le cas de la Broye-Mentue, on a également pris en compte la zone où la Broye rejoint les lacs de Morat et de Neuchâtel. Un étalonnage et une vérification spécifiques du modèle ont été effectués pour ces régions. Ensuite, les besoins et la disponibilité en eau ont été calculés pour les conditions climatiques à venir (2036–2065).

Estimation de l'offre

L'eau disponible pour l'irrigation dans les cours d'eau ouverts a été estimée à partir des débits observés (données: <http://www.bafu.admin.ch>). En outre, on a déterminé le cumul des débits mensuels des stations limnimétriques de chaque région. On a également utilisé, ce qui est nouveau, un débit résiduel prescrit par la loi, qui désigne le débit qui est atteint ou dépassé dans 95 % des cas (Q347; OFEFP 2000). Le calcul de Q347 repose sur une série de valeurs journalières qui s'étend sur 30 ans. Pour la période de projection 2036–2065, les valeurs Q347 ont été déterminées à partir des séries de débits simulées pour les zones les plus exposées («hotspots»).

Données et scénarios climatiques

Pour le climat de référence, la période 1981–2010 a été choisie, qui représente la période de référence actuelle dans la modélisation climatique (CH2011 2011). Les projections pour la période 2036–2065 sont basées sur le scénario d'émissions A1B (Nakicenovic et Swart 2000). Le

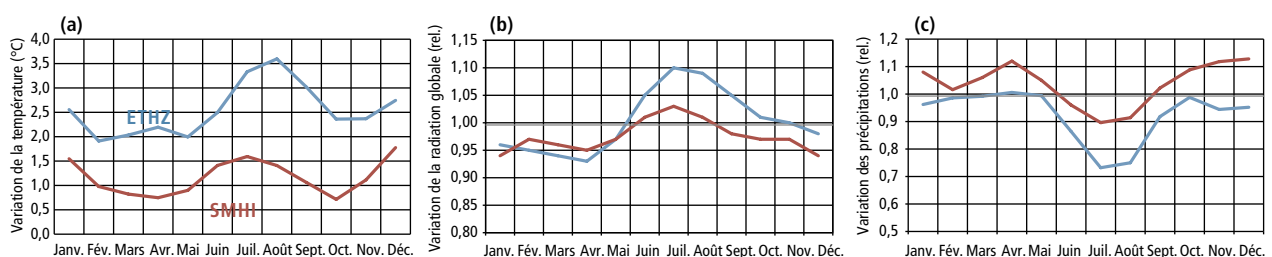


Figure 1 | Moyennes mensuelles des variations attendues en termes de température (a), de radiation globale (b) et de précipitations (c). Les valeurs représentées sont les moyennes des cinq régions les plus exposées («hotspots») pour la période 2036–2065 sur la base des deux scénarios climatiques EPFZ (bleu) et SMHI (rouge).

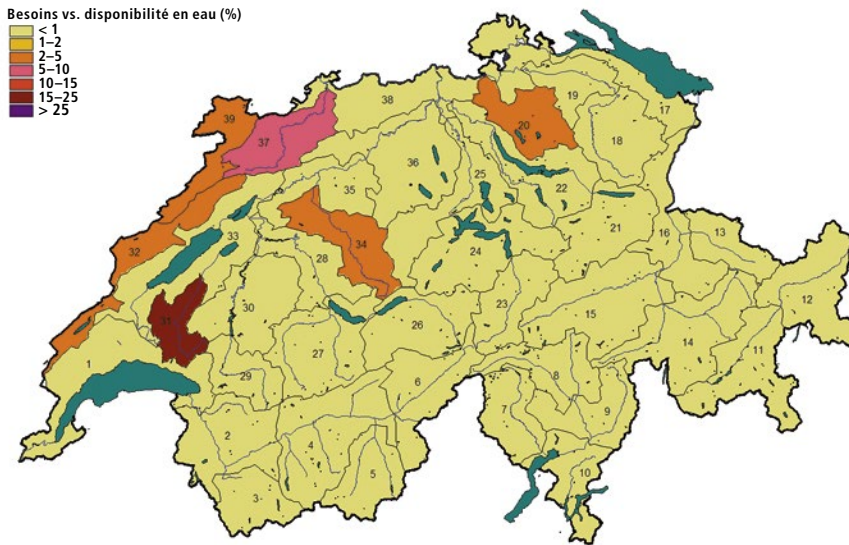


Figure 2 | Répartition régionale du rapport entre les besoins en irrigation et l'eau disponible (déficit) pour les mois d'été (juin-août) durant la période 1981-2010 (avec numérotation des régions).

projet européen ENSEMBLES (van der Linden et Mitchell 2009) a utilisé plus de 30 combinaisons différentes de modèles, c'est-à-dire des chaînes de modèles composées d'un modèle climatique global (GCM) couplé à un modèle climatique régional (RCM) (<http://ensemblesrt3.dmi.dk>; Christensen *et al.* 2010). Les projections climatiques de deux de ces chaînes de modèles ont été utilisées pour servir de limite supérieure et de limite inférieure aux évolutions climatiques possibles: EPFZ-CLM (désigné ci-après par EPFZ) et SMHIRCA-BCM (désigné ci-après par SMHI).

Les scénarios étaient disponibles à la résolution de 25 km sous forme d'écart mensuel moyen par rapport à la référence (valeurs Delta) pour la température, les précipitations et la radiation (fig. 1). Dans le scénario EPFZ, les mois d'été sont nettement plus chauds et pauvres en précipitations. Dans le scénario SMHI, les tendances sont similaires, mais nettement moins prononcées. La hausse de température la plus élevée avec EPFZ a été calculée pour le mois de d'août, avec SMHI pour le mois de décembre. La température moyenne saisonnière augmente d'environ 2,6 °C avec EPFZ et d'environ 1,2 °C avec SMHI. En moyenne, dans tous les «hotspots», le recul des précipitations est de 22 % (juin-août). Par rapport à ce chiffre, la baisse des précipitations estivales dans le scénario SMHI est nettement moins marquée (-8 %). Dans le scénario SMHI, les variations saisonnières sont plus importantes en dehors de la période estivale. Sur l'ensemble de l'année, le scénario SMHI prévoit une légère hausse des précipitations (+4 %), tandis que le scénario EPFZ table sur une baisse moyenne de 8 %. Pour l'évapo-

ration, il faut non seulement tenir compte de la température, mais aussi de l'augmentation de la radiation pendant les mois d'été, avec un maximum de 10 % en juillet (EPFZ).

Résultats

Besoins et disponibilité en eau – période de référence

En moyenne sur les années 1981-2010, les besoins potentiels pendant la période estivale critique de juin à août, représentent moins de 1 % et au maximum 16 % de l'eau disponible dans la plupart des bassins versants (Broye-Mentue). Les régions où les valeurs dépassent 1 % apparaissent nettement sur la figure 2.

En 2003, qui a été une année extrême, la situation était différente; des valeurs de plus de 100 % ont été atteintes dans plusieurs régions (fig. 3). A partir du classement établi en 2003, les régions où le risque de pénurie d'eau est particulièrement élevé sont faciles à identifier.

La figure 4 indique la localisation des régions avec des valeurs élevées. Les régions où les besoins potentiels représentent entre 30 et 60 % de l'eau disponible sont notamment la région de Glatt-Töss, les zones d'affluence des lacs de Neuchâtel et de Bienne (Orbe-Areuse-Seyon-Suze) et la région du Doubs. La comparaison entre les besoins et la disponibilité en eau suppose toutefois que chaque surface agricole puisse être irriguée par l'eau des fleuves, ce qui n'est quasiment pas envisageable en pratique (longs trajets de transport, etc.), et que l'on n'utilise pas l'eau de la nappe phréatique. >

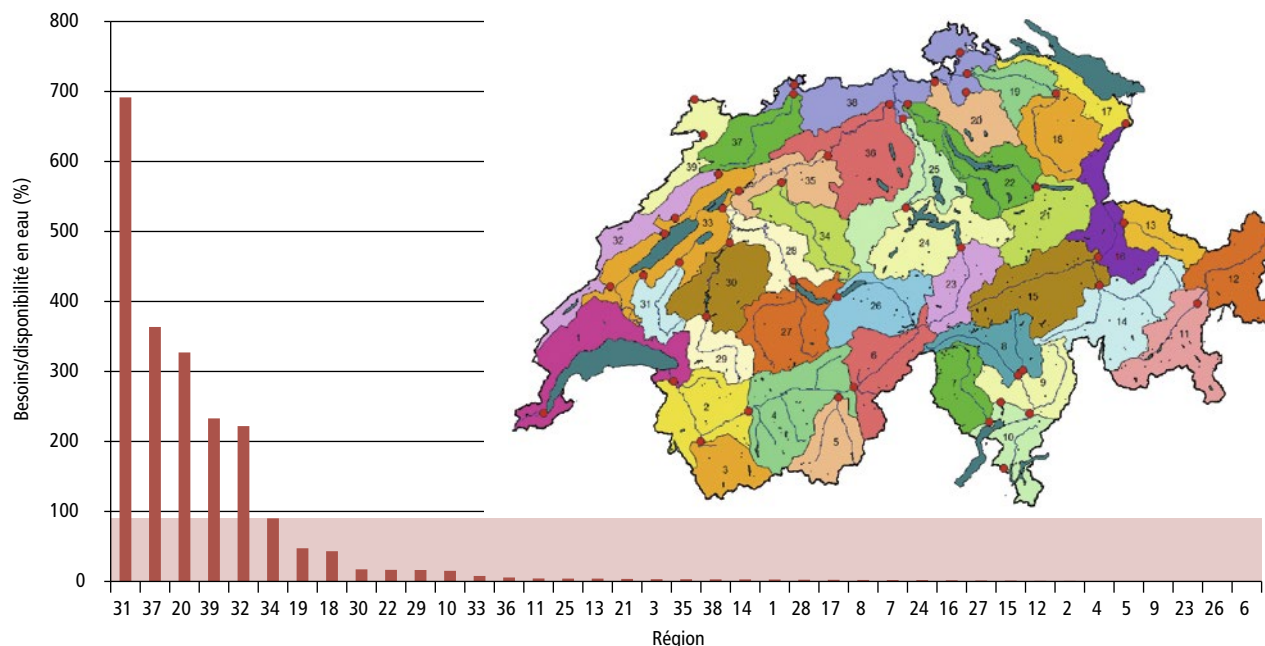


Figure 3 | Classement du rapport entre les besoins et la disponibilité en eau dans les différents bassins versants durant l'année de sécheresse 2003. Carte: localisation des bassins versants délimités et stations limnimétriques correspondantes (cercles).

Besoins et disponibilité en eau – 2050

Pour cette analyse de déficit, il faut savoir que l'occurrence d'une situation de crise dans les années extrêmes ne dépend pas uniquement de la hausse de l'évaporation, mais aussi beaucoup du régime d'écoulement. Comme certains mois l'eau disponible (= débit) chute à 0, on a considéré ici la différence entre l'eau disponible et les besoins en eau (= déficit). Si cette différence devient

négative, cela signifie que compte tenu de Q347, les besoins en irrigation ne peuvent plus être couverts par des prélèvements dans les cours d'eau. Dans la majorité des 30 années considérées (valeur médiane), ce n'est le cas dans aucune région, ni dans les scénarios de simulation SMHI (fig. 5). Certaines années critiques apparaissent pendant la période de référence dans les régions de la Birse et de Broye-Mentue et reflètent la situation

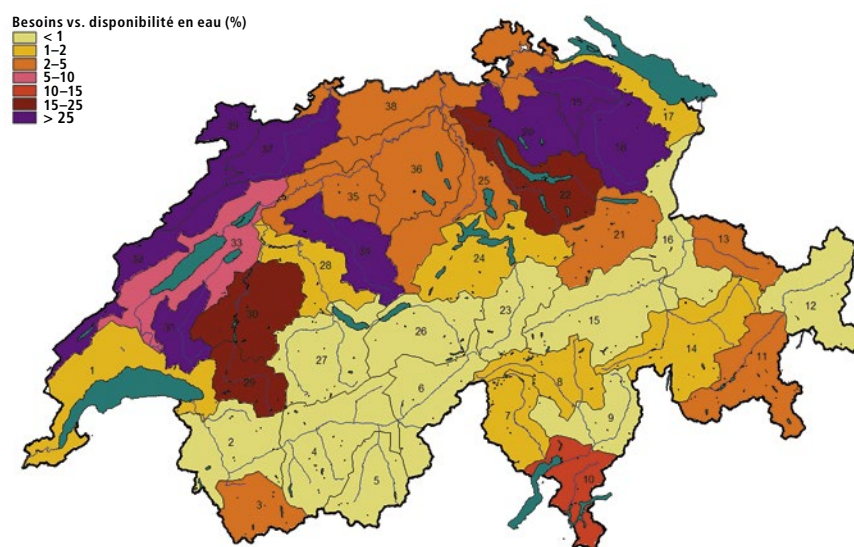


Figure 4 | Répartition régionale du rapport entre les besoins en irrigation et l'eau disponible (débit) en été (juin-août) de l'année 2003 (avec numérotation des régions).

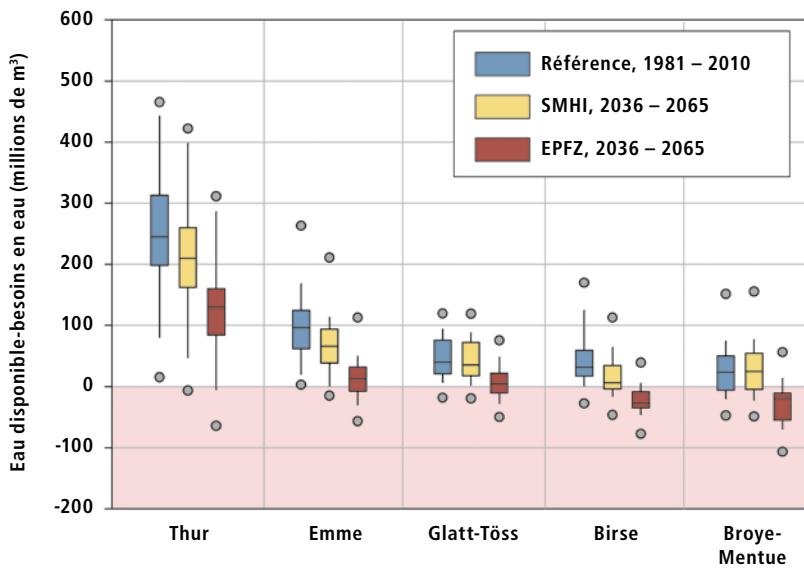


Figure 5 | Différence entre l'eau disponible et les besoins en eau dans les «hotspots» pour la période de référence, dans l'hypothèse du scénario modéré (SMHI) et du scénario extrême (EPFZ). Sont représentés les médianes, les quantiles 25/75-% (box), les quantiles 5/95-% (whiskers) et les valeurs extrêmes (points). Les valeurs situées sur le fond coloré indiquent une pénurie en eau.

de 2003. Avec le scénario «extrême» (EPFZ), le nombre de dépassements augmente nettement, surtout dans les deux régions mentionnées plus haut.

Si l'on considère la fréquence (%) des années lors desquelles la différence est négative, cela permet de quantifier le risque régional de pénurie en eau. Dans le scénario EPFZ, ce risque s'accroît considérablement, p. ex. d'env. 7 % à 83 % dans la région de la Birse. Dans le scénario SMHI, il n'y a pas - ou peu - d'augmentation.

Discussion

Au total, le besoin en eau pour l'irrigation dans l'agriculture suisse est modeste. Les estimations sont de 144 millions de m³ par an (Weber et Schild 2007) respectivement 150 millions de m³ (Fuhrer 2010). A titre de comparaison: en 2012, la quantité totale d'eau fournie par les réseaux publics était de 935 millions de m³ (<http://www.svgw.ch>) tandis que le débit total du pays s'élève en moyenne à 53 km³ par an (Blanc et Schädler 2013). Malgré cette offre apparemment excédentaire en eau, il se produit

périodiquement des pénuries au niveau régional, qui vont de pair avec des interdictions de prélèvement limitées dans le temps. Ces situations pourraient se multiplier avec le changement climatique. L'étude présentée ici a essayé, à l'aide d'une analyse de déficit, d'identifier les régions particulièrement touchées. Pour ce faire, on a comparé les besoins potentiels en irrigation à la disponibilité en eau utilisable. Pour une question d'accès aux données, on a simplifié et considéré que l'eau disponible correspondait au débit d'eau des cours d'eau (sans prise en compte des lacs ou des réservoirs d'eau souterraine). On n'a pas non plus pris en compte de restriction dans l'accès aux sources. Compte tenu du débit résiduel (Q347), la quantité d'eau utilisable est inférieure aux données de Fuhrer (2012). Quant aux besoins, ils sont supérieurs du fait d'un taux d'efficacité de l'irrigation de 70 % seulement.

L'évaluation des simulations montre que les années de sécheresse, telles que 2003, les régions comme Broye-Mentue, Glatt-Töss et Birse pourraient avoir des difficultés à répondre aux besoins en eau de l'agriculture. Avec

Tableau 2 | Fréquence (%) des années lors desquelles le besoin en eau est régionalement supérieur à l'eau disponible sur les 30 ans considérés

Scénario	Thur	Emme	Glatt-Töss	Birse	Broye-Mentue
Réf. (1981-2010)	3,3	3,3	6,7	6,7	26,7
SMHI (2036-2065)	3,3	10	6,7	33,3	26,7
EPFZ (2036-2065)	10	36,7	53,3	83,3	83,3

le changement climatique, le risque de connaître de telles situations augmente et concerne également d'autres régions où l'exploitation agricole est intensive. Les scénarios climatiques indiquent un déficit moyen des précipitations en été, qui, en cas d'augmentation de l'évaporation potentielle, se traduirait par une augmentation des besoins en irrigation supplémentaire, malgré une baisse simultanée du débit des cours d'eau. Dans les cas extrêmes (scénario EPFZ), la pénurie en eau se produira dans 10 % (Thur) jusqu'à 80 % des années (Birse, Broye-Mentue) d'ici le milieu du siècle. Les régions les plus touchées par la chute du débit des cours d'eau en été sont les régions ayant un régime d'écoulement jurassien ou un régime d'écoulement type Plateau (OFEV 2012; Blanc et Schädler 2013).

Rappelons qu'il s'agit-là d'estimations d'un besoin potentiel en irrigation. Des estimations plus précises du besoin réel en irrigation impliqueraient l'utilisation de données spécifiques aux cultures et devraient se limiter aux cultures méritant d'être irriguées. En outre, il existe des incertitudes quant aux données sur les propriétés du sol utilisées dans l'ensemble de la Suisse et également quant aux scénarios climatiques. La distribution des précipitations n'a pas non plus été prise en compte, notamment la hausse indiquée par les scénarios de la durée des phases de sécheresse (jours consécutifs sans précipita-

tions significatives) en été et finalement la possibilité que les plantes exploitent plus efficacement l'eau avec la hausse de la concentration en CO₂. Les résultats ne doivent donc pas être considérés comme des valeurs absolues, mais plutôt servir de base pour une considération des risques différenciée au niveau régional.

Conclusions

En dépit des limites méthodologiques, les résultats ont permis d'acquérir de nouvelles connaissances, qui pourront être utiles à la discussion des mesures possibles dans le domaine de la gestion de l'eau et surtout des exigences de l'agriculture. Pour éviter les situations de conflits et pour préserver les cours d'eau, il est urgent de prendre des mesures préventives dans les régions à risques. Parmi ces mesures, on compte l'adaptation du mode d'exploitation (notamment sélection des cultures, des variétés et du site, travail du sol, etc.) (Fuhrer *et al.* 2013) ou de l'infrastructure (conduites d'alimentation) en irrigant davantage avec de l'eau puisée dans les grands réservoirs (lacs, grands fleuves). ■

Remerciements

Les modèles de calcul ont été réalisés avec l'appui de Karsten Jasper et le soutien financier de l'Office fédéral de l'agriculture.

Bibliographie

- Blanc P. & Schädler B., 2013. L'eau en Suisse – un aperçu. Commission d'hydrologie suisse, Berne. 28 p.
- CH2011, 2011. Swiss Climate Change Scenarios CH2011. Editeur: C2SM, MeteoSwiss, ETH, NCCR Climate, et OcCC, Zurich. 88 p. Accès: <http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/00402/index.html?lang=de> [03.03.14].
- Fuhrer J. & Jasper K., 2009. Bewässerungsbedürftigkeit von Acker- und Grasland im heutigen Klima. *AgrarForschung* **16**, 396–401.
- Fuhrer J., 2010. Estimation des besoins en irrigation pour l'agriculture suisse. Station de recherche Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, 26 p. Accès: <http://www.agroscope.admin.ch/publikationen/einzelpublikation/index.html?lang=de&aid=26436&pid=26884&vmode=fancy> [03.03.14].
- Fuhrer J. 2012. Besoins en eau d'irrigation et ressources disponibles dans les conditions climatiques actuelles et futures. Station de recherche Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, 46 p. Accès: <http://www.agroscope.admin.ch/publikationen/einzelpublikation/index.html?lang=en&aid=29699&pid=29493> [03.03.14].
- Fuhrer J., Tendall D., Klein T., Lehmann N. & Holzkämper A., 2013. Water demand in Swiss Agriculture – Sustainable Adaptive Options for Land and Water Management to Mitigate Impacts of Climate Change. *ART-Schriftenreihe* **19**, 56 p.
- Nakicenovic N. & Swart R., 2000. IPCC Special Report on Emission Scenarios, Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, UK. 570 p.
- Nash J.E. & Sutcliffe J.V., 1970. River flow forecasting through conceptual models. Part I. A discussion of principles. *Journal of Hydrology* **10**, 282–290.
- OFEFP, 2000. Débits résiduels convenables – Comment peuvent-ils être déterminés? Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, Berne. 139 p.
- OFEV, 2011. EZGG-CH – Géodonnées sur la subdivision de la Suisse en bassins versants. Documentation du produit. Office fédéral de l'environnement, Berne. 27 p.
- OFEV, 2012. Impacts des changements climatiques sur les eaux et les ressources en eau. Rapport de synthèse du projet «Changement climatique et hydrologie en Suisse» (CCHydro). Connaissance de l'environnement no. 1217. Office fédéral de l'environnement, Berne. 76 p.
- OFS, 2001. Utilisation du sol: hier et aujourd'hui: Statistique suisse de la superficie. Office fédéral de la statistique, Neuchâtel. 32 p. Accès: <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/news/publikationen.html?publicationID=796> [03.03.14].
- OFS, 2012. Recensement des exploitations agricoles 2010 – Enquête complémentaire. Communiqué de presse. Office fédéral de la statistique, Neuchâtel. Accès: <http://www.news.admin.ch/message/index.html?lang=de&msg-id=44014> [03.03.13].
- Swisstopo, 2004. RIMINI – Das preisgünstige digitale Höhenmodell der ganzen Schweiz. Office fédéral de topographie, Wabern.
- van der Linden P. & Mitchell J. F. B. (eds.), 2009. ENSEMBLES: Climate Change and its Impacts: Summary of research and results from the ENSEMBLES project. Met Office Hadley Centre, FitzRoy Road, Exeter EX1 3PB, UK. 160 p.
- Weber M. & Schild A., 2007. Etat de l'irrigation en Suisse. Bilan de l'enquête 2006. Office fédéral de l'agriculture, Berne. p. 17 ss.

Riassunto**Esigenza d'irrigazione e disponibilità di risorse idriche in presenza di cambiamenti climatici: un'analisi dei deficit a livello regionale**

Con i cambiamenti climatici, il fabbisogno idrico delle colture tenderà ad aumentare, accrescendo l'esigenza d'irrigazione. Allo stesso tempo la disponibilità di risorse idriche diminuirà, poiché in estate il livello d'acqua in molti bacini idrografici dell'altopiano è destinato a calare. Al fine di identificare le regioni a maggior rischio di penuria d'acqua, è stato calcolato con l'aiuto di un modello idrologico il rapporto fra il fabbisogno irriguo potenziale e la disponibilità di risorse (deflusso regionale) per 39 bacini idrografici, nel periodo compreso fra il 1981 e il 2010. I risultati rivelano che in anni estremi come il 2003 le risorse idriche di alcune regioni sono già oggi insufficienti. Il cambiamento climatico non farà che aggravare questa situazione, riducendo ulteriormente la disponibilità d'acqua, come mostrano simulazioni effettuate sulla base di due scenari climatici validi per il periodo 2036–2065. Nei bacini idrografici dei fiumi Glatt-Töss, Birs o Broye-Mentue la frequenza di anni caratterizzati da penuria d'acqua aumenterà notevolmente in presenza di un cambiamento climatico marcato. In queste regioni è pertanto necessario adottare misure volte a un utilizzo oculato delle risorse idriche, al fine di tutelare i corsi d'acqua e soddisfare le esigenze dell'agricoltura.

Summary**Irrigation requirement and available water supply under changing climatic conditions: a regional deficit analysis**

As the climate changes, the water requirement of agricultural crops tends to increase. This leads to a higher irrigation requirement. At the same time, water availability falls, since water levels in many catchment areas of the Swiss Central Plateau decline in the summer. In order to identify areas with an increased risk of water shortage, a hydrological model was used to calculate the ratio of the potential irrigation requirement to the available supply (regional outflow) for 39 catchment areas during the period 1981–2010. The results show that in years with extreme climatic events such as 2003, the available supply in individual regions is already insufficient. Climate change causes this situation to intensify, leading in many cases to water shortages, as shown by modelling for selected areas based on two climate scenarios for the period 2036–2065. In the catchment areas of Glatt-Töss, Birs and Broye-Mentue, the frequency of water-shortage years rises many times in the event of dramatic climate change. In these areas, there is a demand for measures for appropriate water management which take account of the protection of waters as well as the demands of agriculture.

Key words: agriculture, climate change, irrigation, water availability.