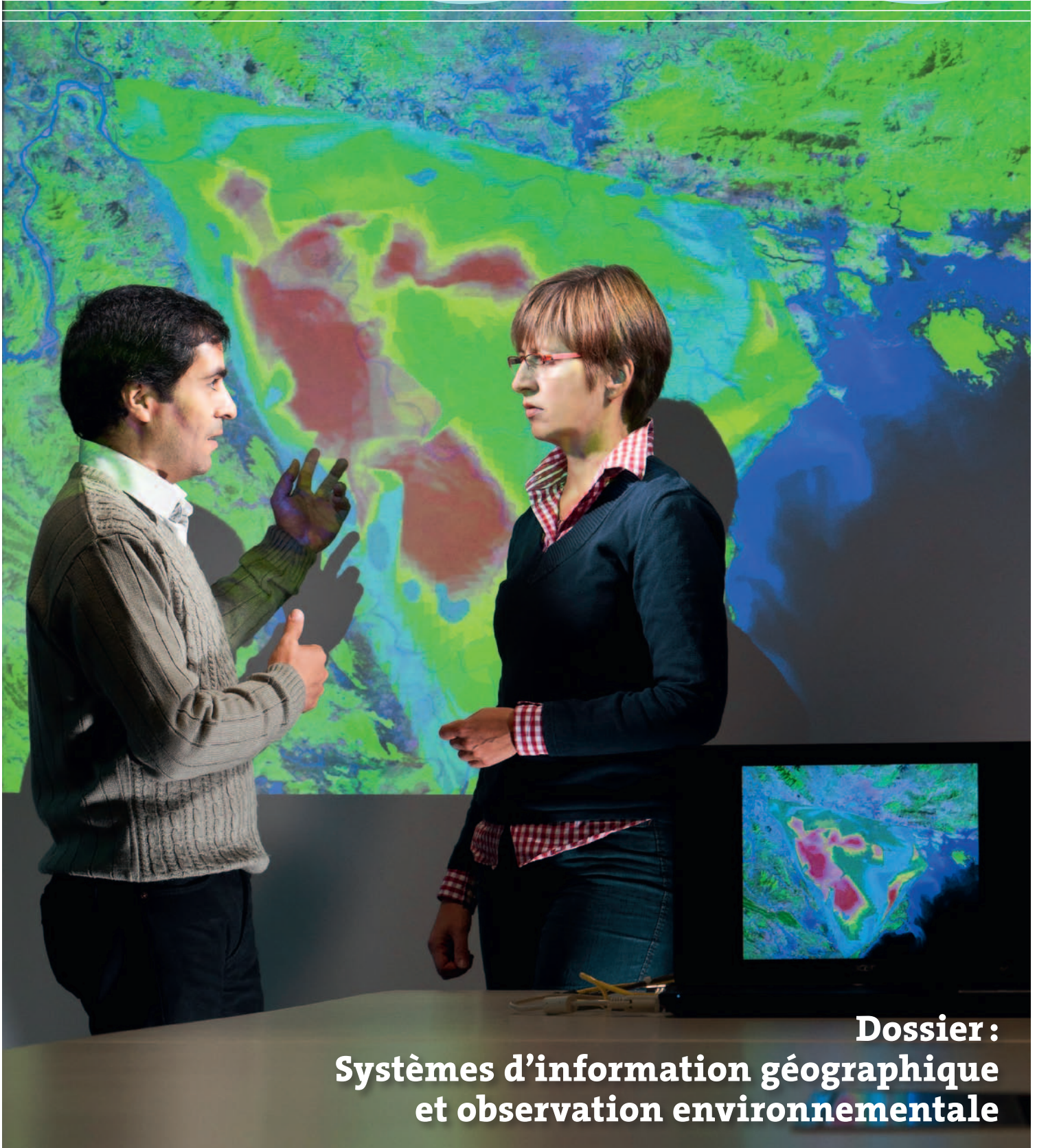


news



Dossier:
**Systemes d'information géographique
et observation environnementale**



Peter Reichert est chef du département Analyse des systèmes, évaluation intégrée et modélisation et membre de l'Etat-major de l'Eawag.

De l'importance de la dimension spatiale

La dimension spatiale revêt une importance capitale pour l'analyse du comportement des systèmes environnementaux et des impacts des activités anthropiques sur leur fonctionnement. Ainsi, la pollution diffuse des eaux en provenance des terres agricoles sera plus ou moins importante suivant la proximité des sources potentielles, la rapidité des écoulements sur ces terres et la présence de polluants dans d'autres parties du bassin versant. De même, la recolonisation d'un secteur de cours d'eau dégradé ne pourra s'effectuer après sa restauration hydrologique ou morphologique que si les espèces qui en ont disparu sont présentes à proximité et si elles ont la possibilité d'accéder au tronçon restauré grâce à une bonne connectivité longitudinale et latérale des milieux. D'un autre côté la continuité écologique des systèmes fluviaux favorise aussi la progression des espèces invasives. Ces quelques exemples montrent bien toute l'importance de la dimension spatiale dans le fonctionnement des écosystèmes et la nécessité de sa prise en compte pour la planification de mesures de protection ou de réhabilitation.

Le stockage, le traitement et la visualisation des données spatiales s'effectuent aujourd'hui par le biais des systèmes d'information géographique (SIG) et de leurs bases de données. Les SIG permettent la création de cartes interactives et l'exploitation et la modélisation statistique des données. Grâce à l'utilisation de modèles mécanistiques intégrés ou associés, ils sont un excellent outil d'analyse des systèmes environnementaux et de représentation spatiale des phénomènes.

Ce nouveau numéro d'Eawag News approfondit plusieurs facettes du traitement et de l'analyse de l'information géographique à travers des applications à différentes échelles. La géoinformatrice Rosi Siber insiste par exemple dans une interview, page 4, sur le rôle sociétal de communication des SIG avant de présenter page 14 leurs possibilités d'utilisation pour l'élaboration de modèles simplifiés d'évaluation du risque de lessivage des herbicides appliqués sur les terres agricoles. De

son côté, Manouchehr Amini raconte dans son article de la page 6 comment les modèles plus complexes d'estimation de la contamination des nappes phréatiques par le fluor et l'arsenic peuvent être intégrés aux SIG pour cartographier les risques sanitaires liés à l'utilisation de la ressource souterraine pour la consommation humaine. A la page 10, Christian Folberth présente un tout autre domaine d'application. Il montre en effet comment des modèles complexes de prévision de la productivité agricole peuvent être couplés à un SIG pour représenter l'état de la production alimentaire à l'échelle subcontinentale et sa dépendance par rapport aux conditions climatiques.

En dehors de son dossier sur l'information géographique, ce numéro d'Eawag News aborde aussi à la page 18 la question de l'avenir de l'activité hydroélectrique au vu des nouveaux enjeux politiques nés de l'engagement pris récemment de renoncer en Suisse à la solution nucléaire pour la production d'électricité. Mais là encore, la dimension spatiale intervient de façon décisive que ce soit pour la protection des milieux et paysages encore préservés ou pour l'évaluation des effets du morcellement des écosystèmes, des variations subites et brutales de débit ou de la dérivation des eaux entraînés par les divers types d'exploitation des centrales hydroélectriques.

Enfin, ce nouveau numéro revient à la page 30 sur la carrière de Willi Gujer à l'occasion de son départ à la retraite. Rares sont ceux qui auront autant marqué la philosophie de l'Eawag, le poussant, en plus de contribuer à l'avancée de la connaissance par ses activités de recherche, à rester à l'écoute des professionnels et de la société pour apporter des solutions pratiques aux problèmes concrets rencontrés dans le domaine de l'eau potable et de l'assainissement.

Peter Reichert

Photo de couverture : Manouchehr Amini, spécialiste de modélisation sous SIG du département Analyse des systèmes, évaluation intégrée et modélisation, expliquant une carte des risques de contamination de l'eau potable par les éléments géogènes à une collègue. (Photo : Peter Schönenberger, Winterthur)

Sommaire

Dossier

4 « Les SIG sont d'excellents moyens de communication »



Les systèmes d'information géographique sont des outils performants qui livrent une représentation simple et accessible des phénomènes abstraits liés au territoire, explique

la spécialiste Rosi Siber dans une interview.

6 Un SIG en ligne dédié aux pollutions d'origine géologique

La contamination naturelle des eaux souterraines par des éléments géogènes menace la santé de millions de personnes dans le monde. Une application SIG a été développée pour Internet pour sensibiliser les populations et aider à mieux localiser les zones à risque.

10 L'agriculture subsaharienne face au changement climatique



Par une approche de modélisation basée sur l'information géographique, l'Eawag évalue les effets des dérèglements climatiques sur la productivité agricole de l'Afrique subsaharienne et

cherche des moyens d'améliorer les performances du système de production.

14 Quelles sont les zones à risque pour le désherbage chimique?

Si elles peuvent occuper des sites sensibles, les cultures à forts apports d'herbicides se concentrent en général sur les zones à faible risque de contamination des eaux. C'est ce que montre une étude des risques basée sur une modélisation sous SIG des flux hydriques.

Forum

18 Les cours d'eau sous tension



Suite à la décision de la Suisse de sortir du nucléaire, le gouvernement souhaite développer la filière hydraulique et mise sur une augmentation nette de quatre milliards de kWh de la production hydroélectrique. Cette prévision est jugée trop optimiste par les spécialistes.

22 L'importance de l'espace et des bois morts pour les crapauds

Les populations de Crapaud commun et de Crapaud vert nécessitent pour leurs habitats terrestres des espaces de plusieurs hectares riches en microstructures. Malheureusement, même les zones protégées peinent souvent à remplir ces conditions.

26 L'activité solaire enregistrée dans les glaces terrestres



L'activité du soleil influe sur le cycle de l'eau et le climat terrestres. L'analyse des isotopes contenus dans la glace permet de retracer l'évolution de cette activité au cours des derniers 10 000 ans et d'émettre des prévisions sur son avenir.

30 Un enseignant-chercheur au service de la pratique

En presque quatre décennies passées à l'Eawag, Willi Gujer a fortement marqué le secteur de la gestion des eaux urbaines en Suisse et dans le monde. Un hommage lui est rendu à l'occasion de son départ à la retraite.

Notes

34 Projet Lac: appréhender la biodiversité piscicole

35 Les toilettes réinventées

36 Gestion des eaux par bassin versant

eawag
aquatic research

Editeur, Distribution: Eawag, Case postale 611, 8600 Dübendorf, Suisse, Tél. +41 (0)58 765 55 11, Fax +41 (0)58 765 50 28, www.eawag.ch

Rédaction: Andres Jordi

Collaboration: Anke Poiger

Traductions: Laurence Frauenlob-Puech, D-Waldkirch

Copyright: Reproduction possible après accord avec la rédaction.

Copyright des photos: Eawag (sauf mention contraire)

Parution: 2 fois par ans en français, allemand et anglais. Production chinoise en coopération avec INFOTERRA China National Focal Point.

Maquette: TBS Identity, Zurich

Mise en page, graphisme et iconographie: Peter Nadler, Fällanden

Impression: Sur papier recyclé

Abonnements et changement d'adresse: Les nouveaux abonné(e)s sont les bienvenu(e)s! eawag.news@eawag.ch

ISSN 1420-3928

« Les SIG sont d'excellents moyens de communication »

Les systèmes d'information géographique constituent un outil performant de représentation graphique des phénomènes abstraits liés au territoire. C'est ce dont est persuadée Rosi Siber, la spécialiste de géoinformatique de l'Eawag. Au cœur d'informations multiples, ces systèmes facilitent l'interdisciplinarité et la communication avec le grand public. Mais au-delà de toute considération informatique, les SIG sont avant tout basés sur une véritable compétence cartographique.

Interview: Andres Jordi

Rosi Siber, quelle est la différence entre une carte traditionnelle, telle qu'on peut en trouver dans le commerce, et la représentation de l'espace livrée par un système d'information géographique? Une fois imprimées, les deux types de cartes sont similaires : elles offrent une représentation statique et ne peuvent plus être modifiées dans leur échelle ou leur contenu informationnel. L'avantage des SIG est cependant de proposer des cartes numériques pouvant être modifiées et adaptées sur ordinateur au gré des besoins. Il est ainsi possible de représenter une portion de carte à différentes échelles ou de faire apparaître ou disparaître certaines couches thématiques comme l'occupation du sol ou la topographie. C'est ce qui fait qu'une carte SIG est souvent beaucoup plus claire qu'une carte classique même lorsqu'elle contient davantage d'informations. D'autre part, ces dernières sont nécessairement figées dans le temps et peuvent être facilement dépassées alors que les cartes générées par les SIG peuvent être actualisées en temps réel.

Une telle carte est-elle aussi exacte qu'une carte classique? Les premières cartes SIG ont été créées en scannant les cartes papier. Elles reposaient donc sur les mêmes données géographiques. Aujourd'hui, bien sûr, les données de base sont disponibles sous forme entièrement numérique.

Malgré la limpidité des cartes générées par les SIG, le terme lui-même reste encore un peu opaque. Pouvez-vous définir ce qu'est exactement un système d'information géographique? Un SIG est un système qui fait la liaison entre un espace géographique et les informations disponibles sur cet espace – l'importance des rejets d'herbicides dans le cours d'eau x ou la taille du cours d'eau y par exemple – pour finalement en donner une représentation graphique. Un SIG est donc un ensemble composé d'un logiciel permettant le traitement des informations, de jeux de données spatiales renfermant les informations spécifiques à traiter et d'un utilisateur recherchant une application donnée. Le programme informatique enregistre et gère les informations dans une base de données à partir de laquelle elles seront traitées et analysées puis restituées sous forme graphique. Les données peuvent être saisies sous la simple forme de tableaux compre-

nant d'une part l'information spécifique – une valeur numérique concrète ou une catégorie paysagère (champ, cours d'eau, forêt) par exemple – et d'autre part les coordonnées spatiales correspondantes. Un tel référencement spatial peut être effectué non seulement sur des points mais aussi sur des lignes, des surfaces ou des images, photos aériennes, images satellites etc.

Quels sont, en plus des points précédemment évoqués, les avantages des SIG? Les cartes sont toujours plus parlantes que les mots. Les SIG constituent un outil très performant qui permet de représenter de façon à la fois efficace et accessible les phénomènes concrets ou abstraits liés au territoire et de visualiser les relations existant entre les entités spatiales. Cette approche favorise les échanges entre spécialistes de différentes disciplines qui trouvent là un moyen de communiquer sur et au-delà de leur domaine spécifique. De ce point de vue, les SIG sont d'excellents moyens de communication, en particulier avec le grand public.

Mais d'un certain côté, une carte est toujours aussi porteuse d'un message et celui-ci peut être souligné ou amplifié par un travail ciblé de l'image. Cette « manipulation » peut servir à



convaincre mais elle peut aussi influencer le public visé. Ainsi, si vous représentez les apports de pesticides dans une région donnée en rouge vif, votre message ne sera pas le même que si vous utilisez des tons de vert. Il est donc très important d'user avec discernement de ces outils visuels.

Les SIG permettent-ils autre chose qu'une représentation graphique des données? Absolument! Un SIG est avant tout un système d'analyse spatiale. Celle-ci permet d'effectuer des recouvrements entre les données et de regrouper les entités spatiales présentant des caractéristiques communes. Par exemple, les informations émises en réseau peuvent être utilisées pour évaluer les distances et les données hydrologiques permettent de délimiter les bassins versants. D'autre part, le système permet une analyse intégrée de données provenant de disciplines différentes pouvant, par une approche globale, dégager de nouvelles relations et mécanismes de fonctionnement au sein des territoires. Par ailleurs, les SIG permettent un certain travail statistique ou de modélisation sur les données même si, il est vrai, les analyses vraiment poussées demandent généralement l'installation de programmes spécifiques. Mais il existe également des outils de modélisation qui s'emboîtent directement sur les SIG. L'Eawag travaille à des applications dans cette direction (cf. page 10).

Est-il pertinent, pour des professionnels de terrain, d'acquérir des compétences en matière de SIG ou leur conseillez-vous plutôt de faire appel à des spécialistes? Les connaissances nécessaires à une utilisation de base peuvent être acquises assez facilement. En revanche, les analyses complexes demandent une formation plus poussée. Etant donné que les cartes les plus simples peuvent être obtenues sans grande difficulté, la mise en place d'un SIG se justifie rapidement. Ces systèmes sont intéressants dès qu'un stockage prolongé des données est souhaité. Un certain nombre d'applications open source sont d'ailleurs disponibles gratuitement sur Internet: elles donnent des résultats tout à fait acceptables pour les représentations les plus simples.

Qu'en est-il de la compatibilité entre les différents logiciels et formats existants? Les standards sont définis par le fabricant américain de logiciels Environmental Systems Research Institute (Esri) qui fixe un certain format de données. Les programmes des autres fabricants proposent des interfaces permettant de travailler avec ce format. Mais les données peuvent tout aussi bien être sauvegardées sous format générique, c'est-à-dire sous la forme de fichiers texte, ce qui présente l'avantage de garantir leur lisibilité future, quelle que soit l'évolution des technologies de l'information.

Dans quels domaines les SIG sont-ils utilisés à l'Eawag? Ces systèmes sont surtout utilisés par les chercheurs dont les activités ont un rapport direct avec l'espace et le territoire. Les cartes

générées par les SIG sont alors souvent utilisées pour obtenir une vue d'ensemble des zones d'étude et de leurs particularités géologiques, hydrologiques et écopaysagères. A partir des modèles numériques d'altitude, il est ainsi possible pour une région donnée de délimiter les bassins versants des différents cours d'eau et d'en calculer les grandeurs de référence. Et l'un des aspects les plus intéressants des SIG réside dans la modélisation qu'ils permettent. Nous avons par exemple exploité ce potentiel en modélisant les processus d'écoulement impliqués dans le transfert des herbicides hors des terres agricoles (cf. page 14).

Où trouvez-vous les données nécessaires aux applications des SIG? Les chercheurs disposent tout d'abord de données spécifiques à leurs projets. Ensuite, les données de base peuvent être obtenues auprès l'Office fédéral de la topographie (swisstopo), qui est notre principale source de données spatiales, des Offices fédéraux de la statistique et de l'environnement et des services cantonaux de géoinformation.

Nous sommes liés à swisstopo par un contrat qui nous permet d'utiliser leurs géodonnées librement au sein de l'Eawag. De nombreux cantons offrent également un accès gratuit à leurs données. Dans d'autres cas, des accords de libre accès aux informations à des fins de recherche peuvent être signés pour la durée de projets spécifiques.

A l'Eawag, tu assures le service de coordination des systèmes d'information géographique et des géodonnées. En quoi ton travail consiste-t-il exactement? J'assure d'une part une fonction de conseil auprès des chercheurs. Je les aide par exemple à trouver le SIG qui convient le mieux à leur problématique de recherche et les assiste dans la collecte, le traitement et la gestion des données. Ensuite, je coordonne les projets d'information géographique de l'Eawag. Je connais les activités des différents groupes et peux facilement établir des contacts utiles à l'intérieur de l'institut. En complément de cette fonction interne, je suis aussi le contact extérieur de l'Eawag en matière de SIG et j'entretiens des échanges permanents avec les responsables de géoinformatique d'autres structures de recherche. D'autre part, je m'attache à suivre l'évolution des technologies dans ce domaine et me tiens informée des sorties d'outils, de logiciels ou de nouvelles versions sur le marché.

Quelles sont les nouvelles tendances? En ce moment l'innovation technologique s'intéresse beaucoup au Web et aux applications mobiles pour le grand public, à la possibilité par exemple de télécharger des cartes sur son smartphone. L'Eawag s'intéresse tout particulièrement aux possibilités de représentation sur Internet et plusieurs applications ont déjà été développées dans ce sens. Ainsi, nous avons récemment mis en ligne les cartes des débits résiduels de la Suisse qui peuvent être consultées sur www.eawag.ch/webkarte-restwasser. Une application web sera également très bientôt disponible sur l'état de contamination des eaux souterraines par l'arsenic et le fluor (cf. page 6). ○ ○ ○

Un SIG en ligne dédié aux pollutions d'origine géologique



Manouchehr Amini, spécialiste de modélisation des géodonnées au sein du département Analyse des systèmes, évaluation intégrée et modélisation, est responsable du développement d'applications SIG pour le Web.

La contamination naturelle des eaux souterraines par des éléments géogènes tels que le fluor et l'arsenic menace la santé de millions de personnes dans le monde. Une application SIG a été développée pour Internet pour sensibiliser les populations et aider les décideuses et décideurs à mieux localiser les zones à risque.

Assurer la pérennité de l'approvisionnement en eau potable dans le monde en termes quantitatifs et qualitatifs est l'un des enjeux majeurs de notre époque. Des moyens considérables lui sont d'ores et déjà consacrés. D'après les nouvelles estimations de l'Organisation mondiale de la santé, le manque d'eau potable cause davantage de décès dans le monde que toutes les formes de violence confondues [1]. L'approvisionnement en eau potable a d'autre part une influence sur la croissance économique des pays en développement : il coûte ainsi chaque année aux pays du Moyen-Orient et d'Afrique du Nord de 0,5 à 2,5 pour cent de leur produit intérieur brut [2]. L'un des objectifs du millénaire pour le développement fixés par les Nations Unies afin de combattre la pauvreté, encourager la paix dans le monde et sauvegarder l'environnement est ainsi de réduire de moitié d'ici à 2015 la part de la population mondiale n'ayant pas accès à l'eau potable ou à des services d'assainissement de base.

La pollution d'origine géologique est un problème de santé publique. Dans de nombreuses régions du monde, l'eau souterraine est une source indispensable d'eau potable étant donné que, contrairement aux eaux de surface, elle est généralement inaccessible aux germes pathogènes. En revanche, les aquifères peuvent être contaminés par des éléments toxiques en provenance des roches ou sédiments au contact de l'eau. Ces substances dites géogènes constituent un véritable problème de santé publique. On estime ainsi que près de 200 millions de personnes dans le monde sont exposées à des contaminations par le fluor ou l'arsenic. Le problème touche donc près de 5 pour cent de toutes les personnes puisant de l'eau dans les nappes.

L'absorption chronique d'une eau renfermant des quantités importantes d'arsenic peut provoquer l'apparition de symptômes divers pouvant aller de simples anomalies de pigmentation de la peau jusqu'au développement de cancers en passant par des hyperkératoses (augmentation de la couche cornée de l'épiderme) et des problèmes cardio-vasculaires. Des concentrations excessives de fluor dans l'eau consommée entraînent quant à elles des perturbations de la croissance, des affections dentaires

et des déformations osseuses. D'après l'Organisation mondiale de la santé (OMS), les teneurs en arsenic inférieures à 10 microgrammes par litre sont considérées comme inoffensives ; ce seuil est de 1,5 milligramme par litre pour le fluor.

Le problème de l'arsenic dans les eaux souterraines est mondial et si les premiers cas d'intoxication chronique ont été observés à Taiwan, au Chili, en Argentine et au Mexique, des pays comme la Chine, le Népal, le Cambodge, le Viêt Nam, le Myanmar ou l'île de Sumatra présentent également des zones de forte contamination. Les régions deltaïques du Bengale en Inde et du Bangladesh rassemblent la plus grande population exposée [3].

Le rift Est-Africain qui s'étend d'Erythrée au Malawi est connu pour ses eaux souterraines riches en fluor. Mais le problème est bien plus étendu et touche une multitude de pays comme l'Inde, la Chine, le Pakistan, le Sénégal, l'Afrique du Sud, l'Argentine ou le Mexique [4].

Dans un contexte prévisible d'augmentation de la demande en eau souterraine pour la production d'eau potable mais aussi pour

Au Cambodge, l'eau puisée dans la nappe phréatique renferme souvent des quantités importantes d'arsenic.



Mickey Sampson, Resource Development Int., Cambodge

l'irrigation, il apparaît primordial de pouvoir localiser avec fiabilité les nappes non contaminées. C'est à ce niveau qu'intervient le projet interdisciplinaire Water Resource Quality mis en place par l'Eawag. Son objectif est de développer des instruments et stratégies applicables à l'échelle régionale et locale pour permettre une utilisation sans danger de la ressource souterraine et donc atténuer les conséquences sanitaires des contaminations fluorées et arséniées (Fig. 1).

Au niveau régional et suprarégional, le projet établit pour les gouvernements et les organisations non gouvernementales impliquées internationalement une cartographie des risques de contamination des nappes par les éléments géogènes dans les pays et zones géographiques qui les intéressent et élabore ensuite des stratégies permettant d'éviter l'exposition des populations. A l'échelon local, le travail est mené directement avec les collectivités territoriales et les ONG intervenant à ce niveau pour tenter d'apporter des solutions aux problèmes spécifiques rencontrés sur place : comment, par exemple, faire face à une contamination du système d'approvisionnement en eau potable dans une ville ou un village donné ? Nous assistons les acteurs de terrain en leur apportant notre savoir-faire et les informations dont nous disposons afin de les aider à mettre en place des mesures simples, économiques et efficaces.

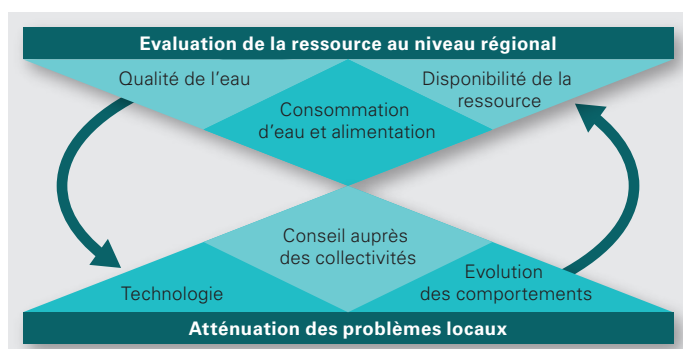
La modélisation permet de pallier le manque de données.

Une des branches du projet s'occupe du développement d'une application SIG pour le Net donnant accès à des cartes mondiales et régionales de répartition des risques. Grâce aux programmes d'envergure mis en place pour la surveillance de la qualité des eaux comme le National Water-Quality Assessment Program des Etats-Unis (<http://water.usgs.gov/nawqa>), le Geochemical Baseline Mapping Programme européen (www.gsf.fi/foregs/geochem) ou celui de l'International Groundwater Resources Assessment Center (www.igrac.nl), les eaux souterraines touchées par les pollutions d'origine géologique sont aujourd'hui en grande partie identifiées. Mais les données sont disponibles en qualité et en



L'ingestion chronique d'arsenic induit un épaissement anormal de la couche cornée de l'épiderme et peut aller jusqu'à provoquer des cancers.

Fig. 1 : Le projet de recherche « Water Resource Quality » intervient à la fois au niveau régional et au niveau local. Travaillant à l'échelle régionale à une évaluation qualitative et quantitative des ressources d'eau souterraine, il recherche localement des solutions concrètes permettant de remédier au problème de leur contamination par le fluor ou l'arsenic. Pour en savoir plus : www.wrq.eawag.ch



quantité inégales, les pays en développement, pourtant fortement concernés, ayant souvent des difficultés à effectuer des relevés systématiques faute de gouvernance et de moyens financiers.

L'abondance croissante d'informations géographiques disponibles sur la géologie, le climat, la pédologie et l'occupation du sol etc. et la puissance de calcul aujourd'hui utilisable pour exploiter et traiter ces informations ont révolutionné les sciences de l'environnement au cours des dernières années. Bien qu'ils ne puissent prétendre remplacer un monitoring détaillé, les systèmes d'analyse de ces géoinformations permettent généralement une estimation des conditions géochimiques prévalant dans une région et donc une identification grossière des aquifères présentant une forte probabilité d'être contaminés par des éléments géogènes. Ainsi, la solubilité de l'arsenic dans l'eau et donc son transfert des roches ou sédiments dans les eaux souterraines dépend des conditions d'oxydoréduction du milieu qui dépendent elles-mêmes de la géologie, du climat, de la perméabilité du sol et de la topographie. Les concentrations de fluorures dans l'eau souterraine sont en revanche corrélées aux teneurs des roches environnantes (granites, basaltes, syénites, schistes etc.) ou de leurs composants individuels (apatite, fluorite, biotite, topaze etc.).

Par un travail de modélisation s'appuyant sur ces informations, nous avons pu formuler des prédictions de contamination des eaux souterraines par le fluor et l'arsenic [3, 4]. D'autre part, en nous basant sur les dosages effectués dans les nappes et les géodonnées disponibles sur des paramètres tels que la géologie

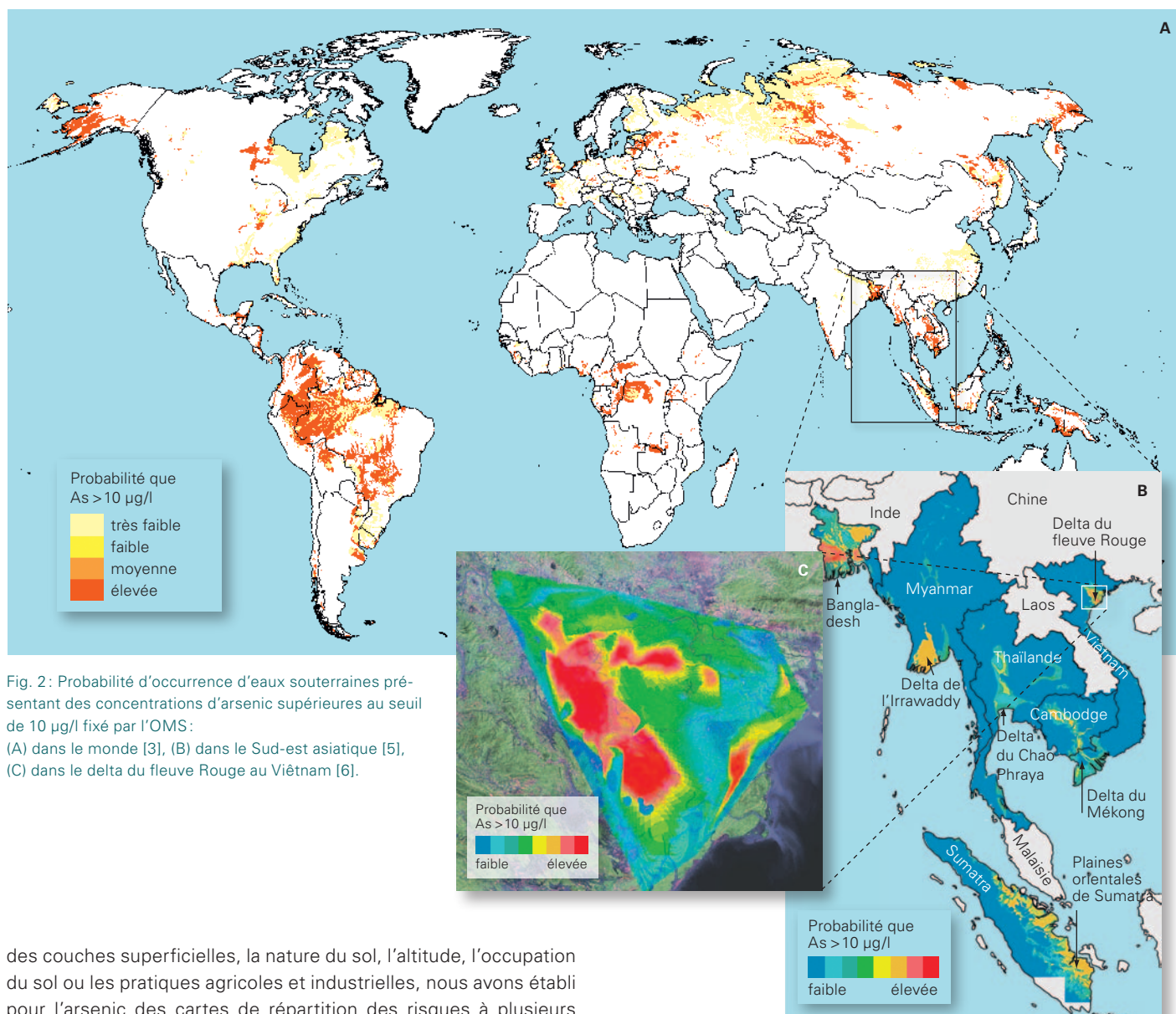


Fig. 2: Probabilité d'occurrence d'eaux souterraines présentant des concentrations d'arsenic supérieures au seuil de 10 µg/l fixé par l'OMS : (A) dans le monde [3], (B) dans le Sud-est asiatique [5], (C) dans le delta du fleuve Rouge au Viêt Nam [6].

des couches superficielles, la nature du sol, l'altitude, l'occupation du sol ou les pratiques agricoles et industrielles, nous avons établi pour l'arsenic des cartes de répartition des risques à plusieurs échelles : planétaire, continentale pour le Sud-est asiatique et régionale pour le delta du fleuve Rouge au Viêt Nam (Fig. 2).

Mettre les données à la disposition du public. Aujourd'hui, les systèmes d'information géographique sont non seulement des outils informatiques très performants largement utilisés pour le stockage, le traitement, l'analyse et la représentation graphique des données spatiales mais ils font aussi de plus en plus souvent l'objet d'applications web, généralement appelées applications Web SIG (cf. interview page 4). Ces nouvelles possibilités d'utilisation et de diffusion en ligne offrent également de nouvelles perspectives aux scientifiques en facilitant par exemple la recherche d'informations géographiques complémentaires. Mais l'un des aspects les plus positifs de ces applications web est qu'elles facilitent l'accès du public aux géodonnées et permettent leur diffusion dans toutes les couches de la société. Le développement actuel des solutions open source proposant

des logiciels généralement gratuits et d'utilisation libre favorise l'essor de ces applications web.

GeoServer (<http://geoserver.org>) est un exemple de serveur inscrit dans un système d'information géographique qui permet aux utilisateurs de mutualiser et de traiter librement des données géographiques. Ce programme open source permet de traiter des géoinformations de formats différents et propose divers services permettant aux utilisateurs d'accéder aux bases de géodonnées et de rechercher des informations géographiques. Open Layers (<http://openlayers.org>) est un autre exemple de service open source qui permet de développer des applications SIG.

Pour pouvoir mettre nos données sur la contamination des eaux souterraines par les éléments géogènes à la disposition du plus grand nombre et leur faire bénéficier de nos connaissances et de notre savoir-faire en matière de modélisation, nous avons

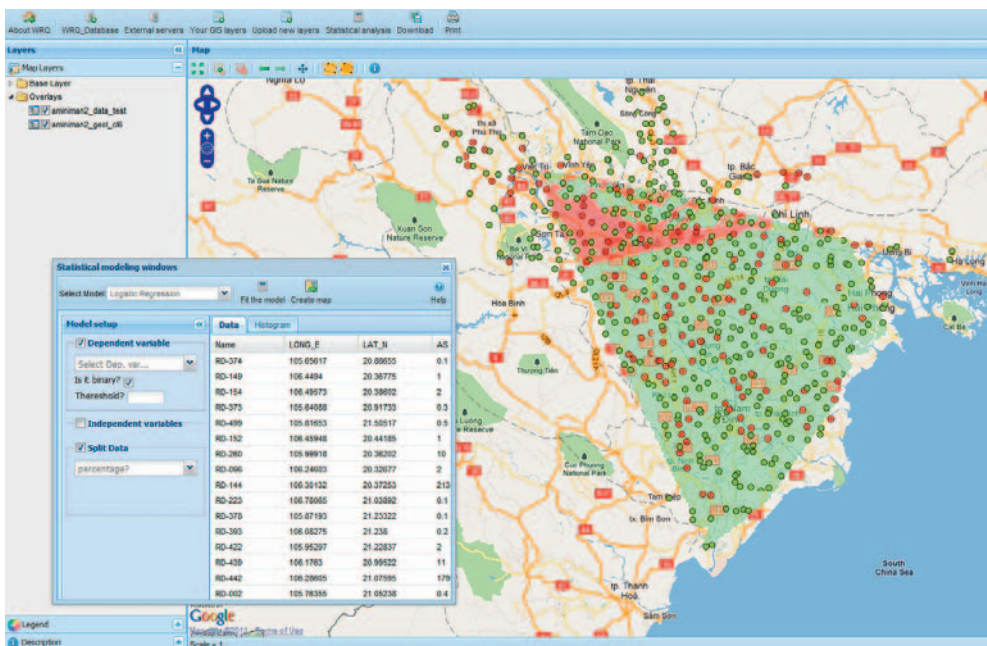


Fig. 3: L'interface utilisateur de l'application Web SIG dans une version préliminaire.

développé l'application Web SIG basée sur ces logiciels en utilisation libre (Fig. 3). Nous avons mis en place un serveur open source local donnant accès aux informations et modélisations correspondantes. Les personnes connectées peuvent y rechercher et visualiser les géoinformations dont ils ont besoin dans la mesure de leur disponibilité. Le système permet également d'obtenir des jeux de données provenant d'autres services d'information géographique comme par exemple le portail de géodonnées du programme des Nations Unies pour l'environnement (<http://geodata.grid.unep.ch/webservices>).

Notre ambition dans le cadre de cette application Web SIG est de mettre en place un système informatif et attrayant accessible à un large public qui permettra de sensibiliser le plus grand nombre au problème de la contamination des eaux souterraines par les éléments géogènes. Par ailleurs, le Web SIG pourra livrer des informations sur les régions ne disposant pas de réseaux de surveillance de la qualité des eaux souterraines et aidera donc les décideurs, organisations mondiales, gouvernements et ONG à localiser les aquifères exploitables avec ou sans risque.

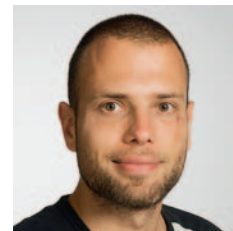
Des améliorations incessantes. L'application SIG sera mise en ligne sur <http://webgis.wrq.eawag.ch> en 2012 et sera dès lors accessible à tous. Dans un premier temps, toutefois, les cartes disponibles ne seront pas encore assez fines pour permettre des utilisations locales détaillées. En effet, leur précision dépend d'une part de l'abondance des données mesurées utilisables pour les établir et d'autre part de la résolution spatiale des données disponibles. Les modélisations générales peuvent cependant être affinées pour des besoins spécifiques comme le montrent les modélisations que nous avons déjà pu réaliser à l'échelle régionale [5, 6]. Les utilisatrices et utilisateurs ont donc la possibilité de fournir eux-mêmes des données au système afin de générer leurs

propres cartes régionales des risques au terme d'une analyse statistique réalisée avec notre assistance.

Les performances du Web SIG augmenteront rapidement au cours des prochaines années grâce au nombre croissant de données précises qui viendront l'alimenter. D'autre part, grâce à une meilleure connaissance des processus hydrogéochimiques et une optimisation du travail de modélisation, nous serons bientôt à même de localiser avec une plus grande précision les aquifères concernés par les pollutions d'origine géologique. ○ ○ ○

- [1] Organisation Mondiale de la Santé OMS (2002): World health report – Reducing risks, promoting healthy life. Genève, Suisse.
- [2] La Banque mondiale (2007): Making the most of scarcity: Accountability for better water management results in the Middle East and North Africa. Washington DC.
- [3] Amini M., Abbaspour K.C., Berg M., Winkel L., Hug S.J., Hoehn E., Yang H., Johnson C.A. (2008): Statistical modeling of global geogenic arsenic contamination in groundwater. *Environmental Science & Technology* 42, 3669–3675.
- [4] Amini M., Mueller K., Abbaspour K.C., Rosenberg T., Afyuni M., Moller K.N., Sarr M., Johnson C.A. (2008): Statistical modeling of global geogenic fluoride contamination in groundwater. *Environmental Science & Technology* 42, 3662–3668.
- [5] Winkel L., Berg M., Amini M., Hug S.J., Johnson C.A. (2008): Predicting groundwater arsenic contamination in Southeast Asia from surface parameters. *Nature Geoscience* 1, 536–542.
- [6] Winkel L., Trang P.T.K., Lan V.M., Stengel C., Amini M., Ha N.T., Viet P.H., Berg M. (2011): Arsenic pollution of groundwater in Vietnam exacerbated by deep aquifer exploitation for more than a century. *PNAS* 108, 1246–1251.

L'agriculture subsaharienne face au changement climatique



Christian Folberth est titulaire d'un master en génie de l'environnement et aménagement et effectue actuellement une thèse de doctorat au sein du département Analyse des systèmes, évaluation intégrée et modélisation de l'Eawag.

Les changements climatiques globaux auront très certainement des répercussions importantes sur l'agriculture et l'Afrique subsaharienne devrait connaître des pertes de rendement significatives alors que son système de production actuel est encore vacillant. Par une approche de modélisation basée sur l'information géographique, l'Eawag évalue les effets des dérèglements climatiques sur la production agricole de cette partie du monde et tente de proposer des solutions pour accroître la productivité aujourd'hui et dans les conditions climatiques à venir.

La productivité agricole de l'Afrique subsaharienne est l'une des plus faibles du monde, notamment pour les grandes cultures vivrières du maïs, du blé, du millet et du riz. L'agriculture y est rendue difficile non seulement par des événements climatiques paroxysmiques récurrents comme la sécheresse ou les pluies torrentielles et par les invasions d'insectes ravageurs mais encore et surtout par la faible fertilité des sols épuisés et lessivés. D'autre part, le choix de cultures mal adaptées aux conditions environnementales vient souvent aggraver la situation. Par ailleurs, beaucoup de petits paysans ne se contentent pas de récolter la partie de la plante faisant l'objet de la production mais l'arrachent entièrement et utilisent le rebut comme aliment pour le bétail, comme combustible ou comme matériel de construction. Ils privent ainsi les sols de matières nutritives d'autant plus précieuses que les

engrais chimiques ne sont en général pas à la portée du commun des agriculteurs. La consommation moyenne de fertilisants dans cette région représente moins de 5 pour cent de celle des pays industrialisés. L'irrigation est pratiquée sur moins de 4 pour cent des terres agricoles.

La recherche de solutions adaptées aux conditions locales.

Ces dernières années, plusieurs études se sont penchées sur l'influence des changements climatiques sur la productivité agricole de l'Afrique subsaharienne et les résultats livrés par leurs analyses statistiques ou leurs modèles de croissance végétale ne sont pas encourageants. Elles prévoient ainsi dans certaines zones des pertes de récolte de plus de 50 pour cent d'ici à la fin du siècle. Face à cette menace, certaines initiatives locales ont imaginé des méthodes efficaces pour augmenter la productivité agricole et ainsi contrecarrer les effets redoutables des dérèglements climatiques et de leur côté, les chercheurs tentent de dégager des solutions en multipliant les études de cas.

Dans le projet que nous menons actuellement, un modèle spatial de croissance des plantes est ainsi utilisé pour appréhender les effets potentiels du changement climatique sur l'agriculture subsaharienne et évaluer l'efficacité des différentes méthodes envisagées pour augmenter la productivité. L'objectif est moins de trouver une solution universelle pour l'ensemble du sous-continent que de déterminer par une approche de discrimination spatiale la meilleure correspondance possible entre les méthodes disponibles et les espaces géographiques de la zone et donc de dégager les solutions les mieux adaptées aux conditions locales.

Pour notre modélisation, nous avons utilisé le logiciel Epic (Environmental Policy Integrated Climate), l'un des meilleurs programmes de simulation agricole actuellement disponibles [1]. Pour rendre Epic compatible avec une représentation raster (l'espace étant assimilé à un réseau), le logiciel a été couplé à un système d'information géographique dans un autre projet

Travaux des champs en Erythrée. Beaucoup de sols agricoles d'Afrique subsaharienne sont épuisés mais les engrais chimiques ne sont à la portée que d'une minorité de paysans.



Stefan Boness/Ipcon

de l'Eawag pour former le modèle Gepic. Pour que les données d'entrée soient également disponibles dans ce format raster, nous avons subdivisé le secteur d'étude en mailles carrées de tailles égales. Chaque maille correspond à une unité spatiale agricole à laquelle correspond un jeu de données spécifiques: climat, type de sol, pente, pourcentage de terres irriguées, apport de fertilisants etc. Ce jeu de données peut être étendu à volonté. De même, la résolution spatiale peut être modifiée en fonction de l'exactitude des données; pour le moment, les mailles sont des carrés de 50 kilomètres de côté. Le modèle intègre d'autre part des informations concernant les modes de gestion adoptés pour les différents types de cultures [2].

A partir de ces données, le logiciel calcule la biomasse et le rendement de la culture, l'évapotranspiration totale, l'absorption de nutriments, l'érosion, la perte d'humidité des sols et divers autres paramètres. Ces informations peuvent alors être évaluées directement par le système d'information géographique ou être combinées avec d'autres jeux de données raster pouvant être d'ordre démographique comme par exemple la quantité de nourriture disponible par habitant.

Les facteurs socio-économiques jouent aussi un rôle important. L'avenir de l'agriculture dépend aussi de facteurs socio-économiques. L'état de santé de la population a ainsi une forte influence sur la force de travail dans ce secteur: en plus des drames humains qu'ils provoquent, le développement galopant du sida (taux d'infection par le virus de plus de 30 pour cent au Botswana) et les épidémies récurrentes de choléra et de malaria privent cette activité de très nombreux agriculteurs et ouvriers agricoles expérimentés. D'autre part, les petits paysans frappés par la maladie sont souvent contraints de vendre leurs moyens de production déjà limités (outils, bétail) pour pouvoir se procurer les médicaments et traitements dont ils ont besoin. En plus de ces calamités sanitaires, les conflits armés à répétition poussent souvent les populations rurales à l'exil.

Etant donné leur grande variabilité et le manque de données précises à leur sujet, ces facteurs souvent très localisés sont quasiment impossibles à prendre en compte dans les modélisations prévisionnelles. Leur influence ne doit cependant pas être sous-estimée: ils peuvent causer un décalage très important entre les modélisations et les statistiques officielles, une surestimation du rendement de l'ordre 20 à 40 pour cent n'ayant ainsi rien d'exceptionnel. Bien que nous ayons conscience de leur importance, ces facteurs socio-économiques ne sont pas pris en compte dans le modèle actuel qui se réfère uniquement aux paramètres environnementaux (sol, climat, topographie) et aux pratiques culturales (types de cultures, gestion des terres, fertilisation et irrigation) pour émettre ses prévisions.

Evaluation de la dégradation des sols. Les données pédologiques et climatiques utilisées dans notre modèle proviennent de jeux de données internationales mis à disposition par diverses institutions. Les paramètres de croissance végétale sont tirés des études de terrain effectuées par une autre équipe de l'Eawag pour la validation du modèle Epic [3, 4]. Pour les dates de semis, nous

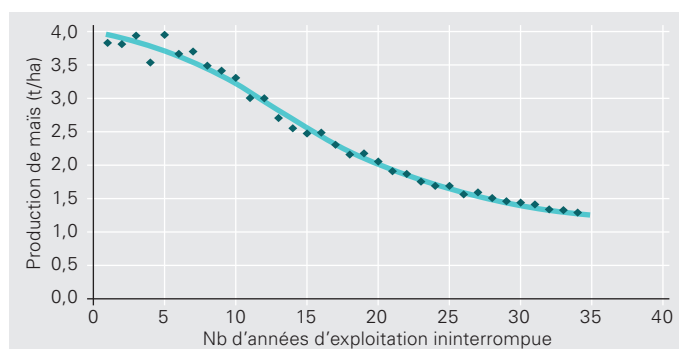


Fig. 1 : Comme l'illustre le cas du maïs, le rendement des cultures diminue avec le temps si les terres sont exploitées en continu et si la biomasse produite est enlevée après récolte sans compensation par des apports de fertilisants. La valeur prise en compte dans notre modélisation est le rendement au bout de 20 ans d'exploitation ininterrompue.

avons élaboré une méthode spéciale permettant de déterminer la date optimale pour chaque région et chaque année de la période d'étude.

Un facteur a souvent été négligé par le passé pour évaluer le rendement des cultures: l'état de dégradation des sols. Les données pédologiques généralement disponibles se réfèrent à des écosystèmes naturels et ne tiennent pas compte de l'épuisement des sols agricoles. Pour obtenir des données réalistes sur l'état de dégradation, nous avons simulé l'évolution du rendement des différentes cultures sur des terres exploitées en continu en considérant que 85 pour cent de la biomasse était prélevée chaque année (Fig. 1) et tenu compte du rendement obtenu au bout de 20 ans pour notre modèle.

Bien que ce scénario ne corresponde pas totalement à la réalité, nous avons obtenu une assez bonne concordance entre les rendements simulés et les statistiques officielles. Une validation réelle ne pourra cependant être effectuée que lorsque suffisamment de données spatialement localisables seront disponibles sur l'état de dégradation des sols. Différents projets internationaux comme le Service d'information sur les sols africains (ASIS) ont été lancés récemment pour rassembler les informations nécessaires.

Les changements climatiques auront une influence négative croissante. En partant de ces données et des modèles climatiques disponibles, le programme Gepic permet de simuler l'influence future des changements climatiques sur le rendement des cultures. Une telle estimation a déjà été effectuée pour le maïs pour la période 2000 à 2040 (Fig. 2).

D'après ces calculs, les pertes de rendement des décennies à venir seront particulièrement ressenties au sud du continent (Botswana, Namibie, Afrique du Sud) de même qu'en Ethiopie et dans les pays du Sahel. Mais d'autres régions verront au contraire leur production augmenter, notamment en Afrique de l'Ouest (Nigéria, Niger, Guinée) et de l'Est (Mozambique, Kenya, Somalie). Ce gain de productivité s'explique en grande partie par l'augmentation des apports de CO₂ par l'atmosphère et par une

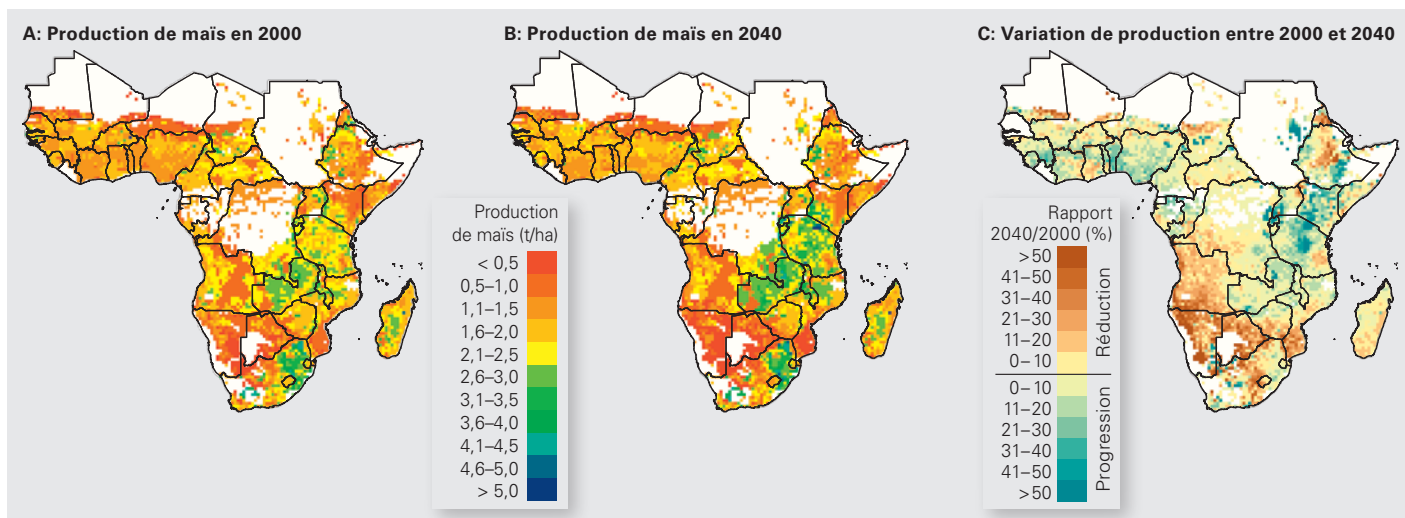


Fig. 2: Simulation du rendement de la culture du maïs en 2000 (A) et en 2040 (B) et calcul du pourcentage de variation pendant cette période (C).

augmentation locale des précipitations. Dans les régions d'altitude, l'augmentation prévue des températures devrait d'autre part avoir un effet bénéfique sur la croissance végétale.

Si l'on considère l'évolution probable des rendements agricoles jusqu'en 2080, on constate cependant qu'un maximum serait atteint vers le milieu du siècle, à une période où le réchauffement serait encore modéré et où les apports de CO₂ stimuleraient encore la production de biomasse. Après cette période faste, les effets négatifs de l'augmentation des températures devraient devenir dominants et faire rechuter la productivité agricole générale [6].

Aller vers l'innovation. Que peut faire la petite paysannerie subsaharienne pour adapter ses pratiques agricoles aux nouvelles conditions climatiques et préserver voire augmenter sa productivité ?

L'une des solutions le plus souvent avancées est celle d'une révolution verte comme celle qu'a connue l'agriculture européenne dans les années 1960 : généralisation de la fertilisation chimique, développement de l'irrigation et culture de variétés productives. C'est oublier que le prix des engrais chimique en Afrique subsaharienne est de 4 à 6 fois supérieur au cours mondial – situation en grande partie due aux difficultés de transport. D'autre part, la production locale est anecdotique et a peu de chances de se développer à moyen terme étant donné son caractère énergivore.

Mais en marge de ces solutions coûteuses, il existe une multitude d'approches innovantes et économiques. Plusieurs études voient ainsi dans la récupération in situ de l'eau de pluie (In situ Rain Water Harvesting – RWH) une approche très prometteuse. Par des techniques particulières de travail du sol, cette méthode permet d'améliorer l'infiltration de l'eau de pluie. C'est un avantage décisif dans les régions connaissant des précipitations fortes et irrégulières où l'eau peut alors être stockée dans le sol au lieu de ruisseler en surface et rester à disposition des cultures. Cette pratique permet de multiplier le rendement agricole par un

facteur de deux à quatre. Et surtout, elle permet de compenser l'irrégularité des pluies.

En ce qui concerne la fertilité des sols, des alternatives intéressantes à l'apport d'engrais chimiques existent également. Ainsi, la culture de légumineuses fixatrices d'azote, dont il existe beaucoup de variétés locales (*Sesbania sp.* ou *Vicia faba par ex.*), peut être pratiquée en alternance avec la culture principale ou en combinaison avec des cultures très gourmandes comme le maïs. Les approches agroforestières, associant par exemple une culture à un couvert d'acacias fixateurs d'azote (*Faidherbia albida*) qui lui procurerait ombrage et nutriments, ont également prouvé leur efficacité dans de nombreuses études de terrain.

Augmentation de productivité par l'apport d'engrais azotés.

A moyen terme, l'efficacité de la plupart de ces approches de gestion pourra être évaluée par le système Gepic. Dans un premier temps, nous avons cependant surtout étudié les effets des méthodes à forts apports d'intrants (fertilisants azotés et irrigation) pour obtenir une estimation de l'accroissement maximal de productivité pouvant être obtenu et disposer ainsi de valeurs de référence.

Dans une pré-étude, nous avons déjà testé différentes stratégies culturales dans le cas du maïs (Fig. 3). Si on compare entre eux les rendements calculés pour les différentes solutions à partir des données climatiques actuelles, on constate que la récupération in situ des eaux de pluie (in situ RWH) n'apporte pas aujourd'hui de gain significatif. De même, l'irrigation traditionnelle ne ferait augmenter la productivité que d'environ 10 pour cent. En revanche, des apports suffisants d'engrais azotés pourraient faire plus que doubler la production à l'hectare. Une combinaison de la fertilisation avec les mesures d'hydraulique agricole apporterait un gain supplémentaire dans le cas d'une irrigation traditionnelle mais resterait sans effet pour la gestion des eaux pluviales. Ainsi, si l'on parvenait à apporter suffisamment d'eau et d'engrais azotés aux sols de la région étudiée, on pourrait en moyenne

multiplier par plus de deux le rendement de cultures. Il ressort de notre étude que les mesures à prendre en priorité doivent viser à compenser les carences minérales et accroître la fertilité des terres agricoles.

L'absence d'effet observée dans notre simulation pour la méthode d'in situ RWH pourtant éprouvée sur le terrain peut avoir plusieurs explications. Premièrement, cette méthode est surtout efficace sur les terrains pentus sujets à de forts écoulements superficiels où l'eau nécessaire au développement des cultures serait perdue sans la mise en place de mesures spécifiques. Dans notre maillage assez grossier de 50 kilomètres sur 50, il arrive fréquemment que les variations de pente s'annulent et que ce facteur s'estompe. Deuxièmement, le moment d'exécution des travaux du sol joue un rôle décisif pour l'efficacité de cette approche. Cet aspect temporel – qui plus est, localement variable – est encore insuffisamment pris en compte dans notre modèle et demandera un certain nombre d'ajustements.

Si on considère l'évolution du rendement agricole indépendamment des pratiques culturales mises en place pour augmenter la productivité, les modifications des conditions climatiques attendues dans le cadre des changements globaux devraient entraîner une augmentation de la production à l'hectare d'ici à 2040. Son niveau redescendrait cependant par la suite pour revenir pratiquement à celui de l'année 2000 en 2080. La même évolution serait observée si des mesures de rétention des eaux pluviales ou d'irrigation traditionnelle étaient appliquées. En revanche, une baisse continue de productivité est prévue pour les trois scénarios mettant en œuvre une fertilisation azotée des cultures. Dans ces cas-là, toutefois, même les niveaux les plus faibles atteints en 2080 restent largement supérieurs à ceux calculés pour la période actuelle.

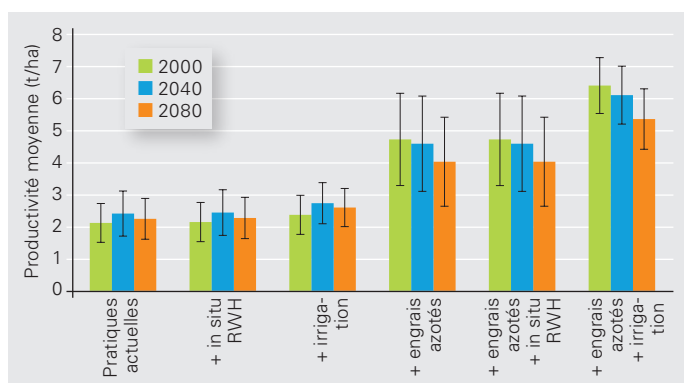
Notre simulation montre donc l'efficacité de l'agriculture à forts apports d'intrants aussi bien dans les conditions climatiques actuelles qu'à l'avenir. Il est cependant fort probable qu'une baisse de rentabilité se produise à moyen terme. De même, l'augmentation des besoins en eau pour l'irrigation des cultures prévue par ce scénario pourrait s'avérer problématique dans certaines

régions comme à Madagascar, dans la région du Libéria, dans le Golfe de Guinée et dans certaines parties du Centrafrique [7].

Compléter et affiner les modèles. Cette pré-étude livre une estimation assez grossière des effets probables des changements climatiques sur l'agriculture subsaharienne. Pour obtenir une représentation plus différenciée, nous prévoyons d'intégrer davantage de modèles climatiques et de scénarios d'émissions à nos calculs afin d'élargir le champ des évolutions possibles et de réduire l'incertitude de nos estimations. Par ailleurs, les calculs seront étendus à d'autres types de cultures comme le blé, le riz et le millet évoqués plus haut, mais aussi au manioc et au sorghum, ce qui nous permettra, en plus d'affiner notre analyse des impacts du changement climatique, de déterminer les plantes les plus à même de contribuer à la sécurité alimentaire de l'Afrique subsaharienne dans le futur.

Enfin, nous devons renforcer notre étude des alternatives de gestion des terres agricoles avantageuses d'un point de vue économique. Nous nous intéresserons alors tout particulièrement à la culture intermittente ou parallèle des légumineuses, aux mesures de conservation des sols et à l'agroforesterie dans un travail mené en coopération avec des organisations et structures de recherche présentes sur place. Etant donné que le choix des pratiques culturales se fait principalement sur des critères économiques, ces aspects doivent occuper une place importante dans les analyses futures. ○ ○ ○

Fig. 3: Rendement moyen de la culture du maïs en Afrique subsaharienne calculé pour différentes pratiques culturales et différents régimes climatiques. Les barres d'erreur correspondent à l'écart-type des calculs. In situ RWH = récupération in situ des eaux de pluie



- [1] Williams J.R., Jones C.A., Kiniry J.R., Spindel D.A. (1989): The EPIC crop growth model. *Transactions of the ASAE* 32, 497–511.
- [2] Liu J. (2009): A GIS-based tool for modelling large-scale crop-water relations. *Environmental Modelling & Software* 24, 411–422.
- [3] Adejuwon J. (2005): Assessing the suitability of the EPIC crop model for use in the study of impacts of climate variability climate change in West Africa. *Singapore Journal of Tropical Geography* 26, 44–60.
- [4] Gaiser T., de Barros I., Sereke F., Lange F.-M. (2010): Validation and reliability of the EPIC model to simulate maize production in small-holder farming systems in tropical sub-humid West Africa and semi-arid Brazil. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 135, 318–327.
- [5] Folberth C., Gaiser T., Abbaspour K., Schulin R., Yang H. (soumis): Regionalization of a large-scale crop growth model for sub-Saharan Africa – model setup, evaluation, and estimation of crop yields. *Agriculture, Ecosystems & Environment*.
- [6] Folberth C., Yang H., Abbaspour K., Schulin R. (2010): Modelling the impact of climate change on agricultural food production in sub-Saharan Africa and measures of mitigation. *Proceedings of the Tropentag Conference 2010, Zürich, Switzerland*.
- [7] Folberth C., Abbaspour K., Schulin R., Hong Y. (2011): Assessing the efficiency and sustainability of high- and low-cost fertilizer inputs for maize in sub-Saharan Africa by large-scale modeling. *17th International Sustainable Development Research Conference, Columbia University, New York*.

Quelles sont les zones à risque pour le désherbage chimique ?



Rosi Siber, spécialiste SIG du département Analyse des systèmes, évaluation intégrée et modélisation, dirige le service de coordination des systèmes d'information géographique et des géodonnées de l'Eawag.

De nos jours, la présence des produits phytosanitaires dans le milieu aquatique concerne toute la Suisse. Mais, si elles peuvent localement occuper des sites sensibles, les cultures demandant des apports importants d'herbicides se concentrent plus généralement sur les zones à faible risque de contamination des eaux. C'est ce qui ressort d'une étude des risques basée sur une modélisation sous SIG des flux hydriques du Plateau suisse.

La pollution des eaux de surface est-elle responsable de la mort des poissons dans certaines régions de Suisse? Pouvons-nous, malgré le réchauffement climatique et la croissance démographique, assurer la pérennité de l'approvisionnement en eau en termes aussi bien qualitatifs que quantitatifs? Pour pouvoir répondre à ce type préoccupations, la surveillance de la qualité des eaux reste une priorité majeure dans une région aussi densément peuplée que le Plateau suisse marqué par la concentration d'enjeux multiples sur un espace restreint: production hydroélectrique, agriculture, prévention des inondations, préservation des habitats faunistiques et floristiques etc.

L'évaluation de la qualité chimique des eaux nécessite une connaissance des sources de pollution et des processus participant au transfert des substances vers le milieu aquatique. Les applications de désherbants sur les terres agricoles sont ainsi

Sur le Plateau suisse, les applications agricoles d'herbicides se concentrent généralement sur les terres qui le permettent du point de vue de la protection des eaux.



agenda/Michael Kottmeier

une source importante de pollution des eaux. Les rejets qu'elles occasionnent sont principalement diffus, c'est-à-dire qu'ils ne s'effectuent pas en un point donné mais sont répartis dans l'espace autour des lacs et cours d'eau.

Peu de données pédologiques disponibles pour la Suisse.

Les scientifiques tentent par le biais d'études de terrain de quantifier les rejets d'herbicides dans les eaux de surface et de comprendre les processus impliqués [1, 2]. Ces recherches sont toutefois lourdes et onéreuses et, à partir d'une certaine échelle, les scientifiques et gestionnaires privilégient généralement les approches de modélisation pour estimer les rejets diffus. De nombreux modèles très complexes ont ainsi été élaborés pour les pesticides au cours des 20 dernières années [3]. Leurs possibilités d'application en Suisse sont toutefois limitées du fait d'un manque de données adéquates sur les propriétés des sols et la capacité de drainage des terres agricoles.

Face à ces difficultés, Christian Stamm du département de Chimie de l'environnement de l'Eawag ainsi que Peter Reichert et moi-même du département Analyse des systèmes, évaluation intégrée et modélisation avons mis au point un modèle plus simple capable de livrer des résultats à partir des données disponibles tout en tenant compte des principaux processus de transfert des herbicides dans le milieu aquatique [4]. Moins ambitieux que les modèles complexes, son objectif n'est pas de prédire les concentrations de pesticides susceptibles d'atteindre les lacs et cours d'eau mais d'évaluer le potentiel d'entraînement des herbicides éventuellement appliqués, c'est-à-dire d'identifier les zones présentant des caractéristiques pédologiques favorables à un transfert de ces substances vers les eaux de surface. Les quantités rejetées peuvent ensuite être évaluées en superposant les résultats de la modélisation hydrologique et la distribution spatiale des apports de désherbants estimés pour les zones correspondantes. Notre étude se limite dans un premier temps au Plateau suisse puisque c'est dans cette région que se concentrent

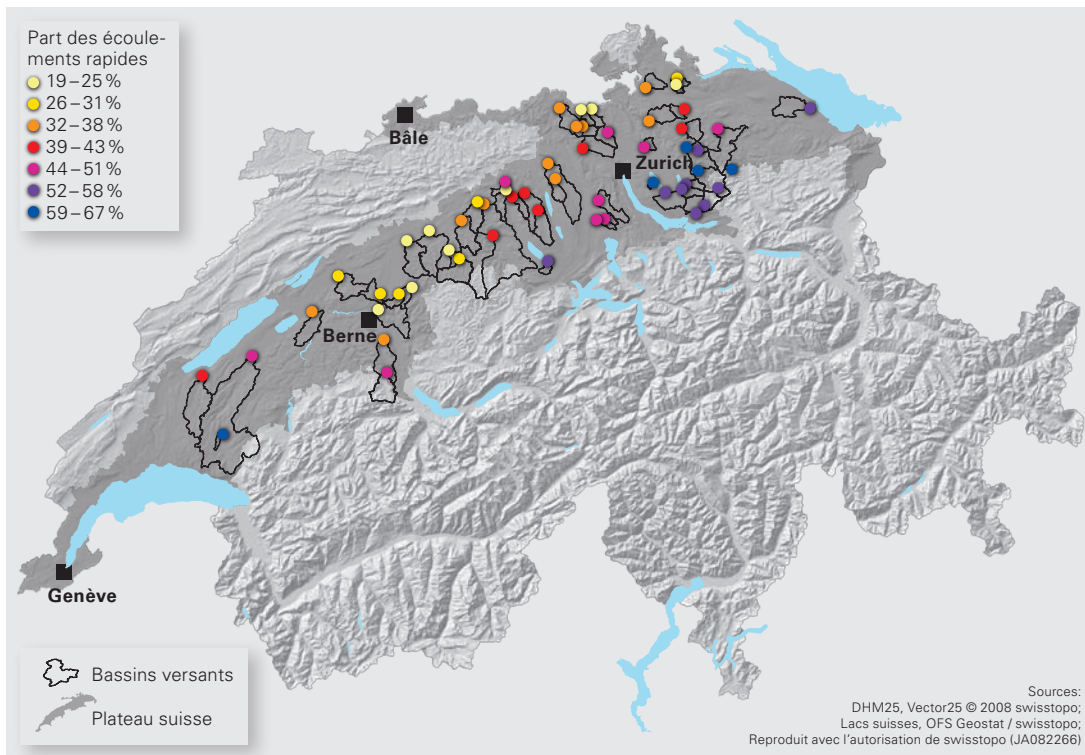


Fig. 1 : Stations hydrométriques fédérales du Plateau suisse et leurs bassins versants. Les différentes couleurs correspondent à l'importance des flux rapides dans les écoulements du bassin. Plus leur contribution est élevée, plus les exportations d'herbicides risquent d'être importantes.

les activités d'agriculture intensive et donc les applications de produits phytosanitaires du pays.

Bien que les processus conduisant à l'exportation des herbicides hors des sols soient très complexes, leur dynamique de rejet dans le milieu aquatique suit un modèle assez simple : la majeure partie du transfert s'effectue en effet sans transition pendant ou immédiatement après la période d'application suite à l'entraînement des produits par la pluie ou l'irrigation. Le transport des herbicides des champs vers les cours d'eau emprunte alors majoritairement des voies d'écoulement rapide comme le ruissellement ou le drainage [5]. L'importance de ces flux rapides dans les écoulements d'eau d'un bassin versant donné est donc décisive pour les potentialités de transfert des pesticides vers les eaux superficielles de la zone.

Un potentiel de transfert plus élevé à l'est et au pied des Alpes. Nous avons donc basé notre travail de modélisation sur une estimation des processus d'écoulement rapide [6], considérant qu'ils étaient globalement représentatifs du transport des herbicides vers le milieu aquatique superficiel [7]. Les informations concernant leur importance dans les écoulements totaux des bassins hydrographiques ont été tirées des séries de mesure des stations hydrométriques de l'Office fédéral de l'environnement (Fig. 1). En utilisant un système d'information géographique, nous avons délimité les différents bassins versants du Plateau à partir des données du modèle numérique d'altitude et du réseau hydrographique suisse. Nous avons ensuite déterminé pour chacun d'eux les attributs correspondant aux paramètres d'ordre

topographique, climatique, pédologique et cultural déterminants pour les écoulements (Tableau).

Pour pouvoir réaliser une analyse territoriale continue malgré la présence de nombreuses zones sans mesures de débit, nous avons estimé les données manquantes à partir des données climatiques, topographiques et pédologiques disponibles en utilisant un modèle prévisionnel. Pour identifier les facteurs ayant une

GEWISS – Système d'information géographique sur les eaux en Suisse

L'Office fédéral de l'environnement a créé sur Internet une plateforme SIG appelée GEWISS (GEWässerInformations-System Schweiz) dont la fonction première est de livrer aux utilisateurs des informations et analyses interdisciplinaires sur tout ce qui concerne les eaux suisses. Ce portail vise à faciliter la mise en réseau et l'analyse des informations, la transmission des données aux organisations et services nationaux et internationaux, la mise en œuvre de la législation sur les eaux au niveau national et l'information du public. Ce système s'appuie sur des données vérifiées, publiées et statistiquement représentatives relevées sur toute la Suisse et offre diverses fonctions permettant la visualisation, l'extraction et la recherche d'objets. (aj)

www.gewiss.ch

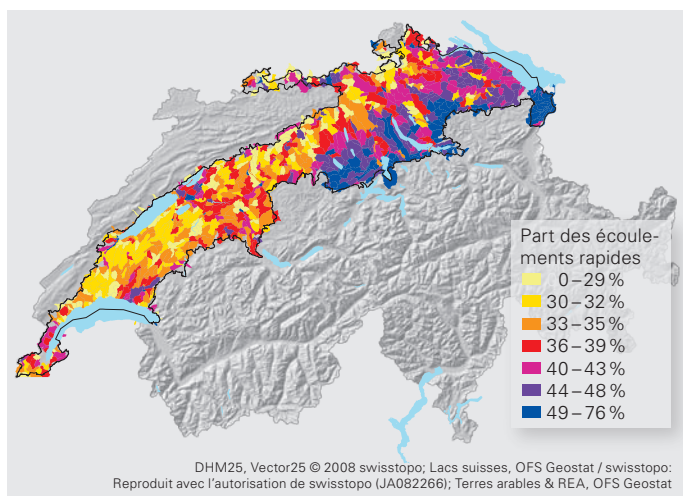


Fig. 2 : Potentiel d'entraînement des herbicides dans les eaux de surface représenté par l'importance des flux rapides dans les mouvements d'eau des bassins versants. Un pourcentage élevé correspond à un fort potentiel.

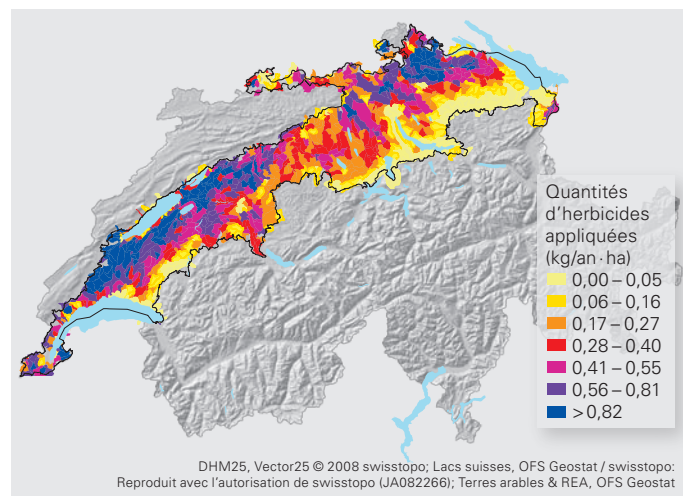


Fig. 3 : Apports d'herbicides estimés. La quantité de pesticides employée dans un bassin versant dépend des types de cultures pratiqués en son sein.

influence déterminante sur l'importance des flux rapides dans les écoulements, nous avons effectué une analyse statistique, dite de régression, confrontant les données des stations hydrométriques et les différents paramètres. Les résultats montrent que la perméabilité du sol, la densité du réseau hydrographique (rapport

Paramètres et caractéristiques ayant une influence déterminante sur les transferts hydriques dans les bassins versants.

| | | Source |
|---------------------|--|--|
| Relief | Pente | swisstopo : DHM25 © 2004-8, reproduit avec l'autorisation de swisstopo (JA082266) |
| | Altitude minimale | |
| | Altitude maximale | |
| | Altitude moyenne | |
| | Densité du réseau hydrographique | swisstopo : DHM25 © 2004-8, reproduit avec l'autorisation de swisstopo (JA082266) |
| Climat | Précipitations annuelles moyennes | HADES (2008): www.hades.unibe.ch |
| | Fréquence des précipitations | Wüest M., Frei C., Altenhoff A., Hagen M., Litschi M., Schär C. (2008): A gridded hourly precipitation dataset for Switzerland using rain-gauge analysis and radar-based disaggregation. Intern. J. of Climatology |
| Sol | Perméabilité | Carte des aptitudes des sols (BEK200, OFS Geostat) |
| | Saturation en eau | |
| Agri-culture | Apports d'herbicides par type de culture | Keller L., Amaundruz M. (2004): Pflanzenschutzmittelverbrauchserhebung der Jahre 1997-2003 in den Einzugsgebieten Greifensee, Murtensee, Baldeggensee. LBL, Lindau, SRVA, Lausanne |
| | Terres arables | Office fédéral de la statistique (2004): Terres arables, sols cultivables, Documentation. OFS, Geostat, Neuchâtel |
| | Types de cultures | Office fédéral de la statistique (2002): Recensement fédéral des entreprises agricoles / REA. OFS Geostat, Neuchâtel |

de la longueur totale de linéaire sur la surface du bassin versant) et la quantité de précipitations jouent un rôle prédominant. Il s'est ainsi avéré que l'importance des écoulements rapides pouvait être expliquée à 62 pour cent par un modèle reposant uniquement sur la perméabilité du sol et la densité du réseau.

Ce modèle a donc pu être utilisé pour estimer le type d'écoulement prédominant dans les bassins versants sans données hydrométriques, ce qui a permis de les combiner aux zones bien documentées pour visualiser l'ensemble des bassins versants du Plateau suisse avec le SIG. La vision d'ensemble montre ainsi pour toutes ces surfaces la part des flux rapides dans les écoulements totaux et donc le risque de contamination du milieu aquatique suite aux applications d'herbicides. La carte révèle un gradient de vulnérabilité de l'ouest vers l'est et des plaines vers les zones alpines et préalpines (Fig. 2).

Importance des apports d'herbicides au nord-est du pays.

L'importance des apports de désherbants en agriculture varie fortement selon les types de culture [8]. Or la Suisse ne dispose pas de données actuelles sur la répartition des cultures à l'échelle de la parcelle. Nous nous sommes appuyés sur un set de données raster sur les sols cultivables et sur les nouvelles statistiques agricoles de l'Office fédéral de la statistique pour estimer l'importance des apports d'herbicides dans les différents bassins versants du Plateau et en avons tiré une représentation visuelle par SIG.

La distribution spatiale des cultures sur le Plateau varie fortement d'un type à l'autre. Tandis que les céréales et le maïs sont cultivés assez uniformément sur toute la région où ils occupent tous les types de terrains cultivables, la pomme de terre, la betterave sucrière et les cultures maraîchères ont une répartition plus spécifique. La localisation de ces cultures particulièrement gourmandes en produits phytosanitaires est visible sur la carte des applications d'herbicides, le nord-est de la Suisse, avec le

vignoble zurichois et la vallée de la Thur, et la région des trois lacs étant particulièrement concernés (Fig. 3).

Si l'on superpose les deux cartes de répartition des zones sensibles et des applications d'herbicides, on constate que les utilisations les plus fortes se concentrent généralement sur les bassins versants à faible risque de contamination des eaux comme ceux du nord-est et de l'ouest du pays. Autrement dit, l'agriculture intensive du Plateau suisse est en général pratiquée sur les terres capables, du point de vue hydrologique, de supporter de fortes applications d'herbicides.

Forte vulnérabilité des vallées fluviales. Mais cette concordance n'est pas générale: notre étude fait également ressortir l'existence de points sensibles, c'est-à-dire de zones particulièrement favorables au transfert des pesticides recevant néanmoins de fortes quantités de désherbants à leur surface. Il s'agit donc de zones vulnérables pouvant nécessiter des mesures de protection particulières. Une analyse à plus forte résolution a permis de localiser ces points de discordance avec plus de précision: c'est le plus souvent au fond des vallées fluviales qu'ils se situent.

Même si notre analyse doit être confirmée localement par des études plus poussées, la modélisation basée sur les seuls processus d'écoulement rapide s'est avérée efficace pour identifier les zones critiques sur lesquelles une forme d'agriculture moins intensive devrait être envisagée. Ce genre de modèles constitue donc un bon outil de monitoring dans une perspective d'amélioration de la qualité des eaux et des habitats floristiques et faunistiques aquatiques.

Toutefois, seule une meilleure qualité de données permettrait d'obtenir une évaluation plus précise. Les travaux effectués sur les voies de rejet des herbicides dans le milieu aquatique montrent clairement l'importance décisive des propriétés du sol pour les mécanismes de transfert [9]. Or nous ne disposons pas encore en Suisse de données pédologiques détaillées pour l'ensemble du territoire. Etant donné, par ailleurs, que très peu d'études prolongées ont été menées sur l'application et le devenir des herbicides dans les champs, il nous a été difficile de vérifier la validité du modèle avec des données réelles. Nous ne disposons ainsi que de trois séries de données sur l'atrazine. Toutefois l'excellente concordance qu'elles présentaient avec notre modèle nous a permis de confirmer la pertinence du choix des écoulements rapides pour représenter les rejets diffus dans le milieu aquatique. Bien que la méthode utilisée ne soit pas directement transposable à d'autres territoires, notre expérience montre qu'il est possible, avec assez peu de moyens, de créer des modèles simples et pratiques pour la représentation de problématiques spécifiques et encourage à étendre ce type d'approche à d'autres régions. ○ ○ ○

Kartenportal.CH

Kartenportal.CH offre depuis début 2011 une plateforme centralisée pour la recherche de cartes imprimées ou numérisées et de géodonnées dans les collections cartographiques, les archives et les bases de données des bibliothèques suisses. Ce portail accessible à tous rassemble toutes les informations nécessaires à la recherche de matériel cartographique et dispose d'un système novateur et particulièrement efficace de recherche de cartes qui en fait une plate-forme unique en son genre. En partant de Google Maps, ce système permet de trouver en très peu de temps toutes les cartes disponibles sur une région donnée ainsi que leur localisation dans les différentes bibliothèques. Kartenportal.CH a été créé par Lib4RI, la bibliothèque commune des instituts de recherche fédéraux Eawag, Empa, PSI et WSL, et diverses bibliothèques universitaires suisses avec lesquelles elle en assure aujourd'hui la gestion. (aj)

www.kartenportal.ch

- [1] Schmocker-Fackel P., Näf F., Scherrer S. (2007): Identifying runoff processes on the plot and catchment scale. *Hydrology and Earth System Sciences* 11 (2), 891–906.
- [2] Gomides Freitas L., Singer H., Müller S.R., Schwarzenbach R., Stamm C. (2008): Source area effects on herbicide losses to surface waters – a case study in the Swiss Plateau. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 128, 177–184.
- [3] Bach M., Huber A., Frede H.G. (2001): Input pathways and river load of pesticides in Germany – a national scale modelling assessment. *Water Sciences and Technology* 43 (5), 261–268.
- [4] Siber R., Stamm C., Reichert P. (2009): Modelling potential herbicide loss to surface waters on the Swiss plateau. *Journal of Environmental Management* 91, 290–302.
- [5] Leu C., Singer H., Müller S.R., Schwarzenbach R., Stamm C. (2005): Comparison of atrazine losses in three small headwater catchments. *Journal of Environmental Quality* 34, 1873–1882.
- [6] Arnold J.G., Allen P.M., Muttiah R., Bernhardt G. (1995): Automated base-flow separation and recession analysis techniques. *Ground Water* 33 (6), 1010–1018.
- [7] Müller K., Deurer M., Hartmann H., Bach M., Spiteller M., Frede H.G. (2003): Hydrological characterisation of pesticide loads using hydrograph separation at different scales in a German catchment. *Journal of Hydrology* 273 (1–4), 1–17.
- [8] Stamm C., Siber R., Fenner K., Singer H. (2006): Monitoring von Pestizidbelastungen in Schweizer Oberflächengewässern. *GWA* 8, 629–636.
- [9] Frey M., Dietzel A., Schneider M., Reichert P., Stamm C. (2009): Predicting critical source areas for diffuse herbicide losses to surface waters: role of connectivity and boundary conditions. *Journal of Hydrology* 365, 23–36.

Les cours d'eau sous tension

La Suisse a décidé de sortir du nucléaire. A côté des énergies renouvelables comme le photovoltaïque, le gouvernement mise sur un développement de l'hydraulique. Or son estimation du potentiel de la Suisse dans ce domaine est jugé trop optimiste par les spécialistes qui considèrent notamment que les apports de la petite hydraulique sont sans commune mesure avec les impacts environnementaux. L'extension du parc de centrales à pompage-turbinage semble toutefois incontournable.

Texte : Andres Jordi

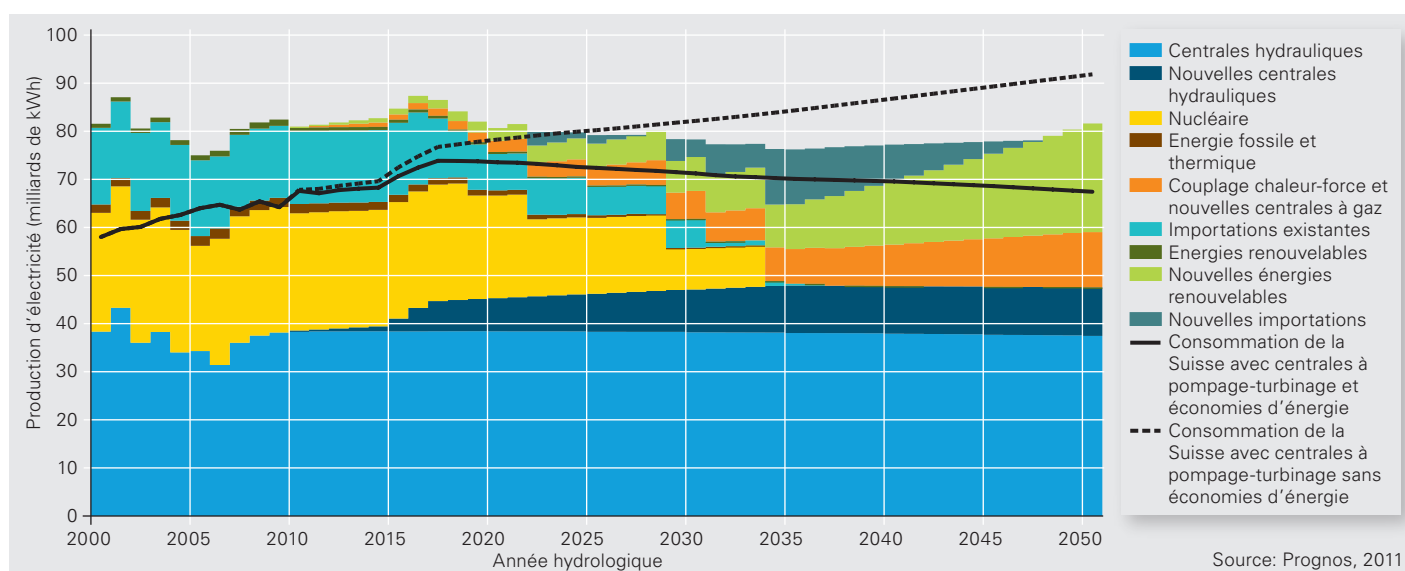
Pour une décision de cette portée, l'appareil politique suisse a été particulièrement rapide: quelques semaines seulement après la catastrophe de Fukushima, le Conseil fédéral décidait de renoncer à moyen terme à la solution nucléaire pour sa production d'électricité, suivi peu de temps après par le Conseil national et le Conseil des Etats. Etant donné qu'il est prévu d'exploiter les centrales nucléaires tant que leur sécurité est garantie, c'est-à-dire jusqu'au terme d'une durée de fonctionnement d'environ 50 ans, le démantèlement du parc nucléaire suisse devrait se faire progressivement à commencer par Beznau I en 2019, puis Beznau II et Mühleberg en 2022, Gösgen en 2029 et finalement Leibstadt en 2034.

A l'heure actuelle, le nucléaire suisse assure près de 40 pour cent de la production annuelle d'électricité de la Suisse, soit 25 milliards de kWh [1]. Cette production va devoir peu à peu être remplacée par d'autres sources d'énergie. L'Office fédéral de l'énergie (OFEN) propose des pistes à ce sujet dans les perspectives énergétiques 2050 formulées au vu des nouveaux enjeux

en actualisant les modèles et scénarios d'une version précédemment élaborée pour 2035 en fonction de l'évolution prévisible ou possible de paramètres tels que la croissance démographique, les transports, la politique énergétique ou les conditions climatiques. « En préparation de la procédure de consultation sur la stratégie énergétique à venir, les services fédéraux travaillent actuellement à une nouvelle version des perspectives énergétiques pour 2050 basée sur des scénarios plus précis », explique Philipp Schwander de l'OFEN. Elle devrait être prête d'ici de milieu de l'année 2012.

Développement de l'hydraulique. D'après les perspectives énergétiques 2050, l'arrêt de la production nucléaire doit être principalement compensé par un développement des nouvelles énergies renouvelables (solaire, éolien, géothermie) et de l'exploitation de la force hydraulique complété, au besoin, par une production à base de combustibles fossiles (couplage chaleur-force, centrales à gaz à cycle combiné) et par des importations (Fig. 1). Le gouvernement mise d'autre part sur

Fig. 1 : La production électrique du futur sera principalement assurée par l'hydraulique et les autres énergies renouvelables. D'après la stratégie du gouvernement, des mesures devront être mises en place en parallèle pour accroître l'efficacité énergétique afin de stabiliser les besoins. Dans le graphique, le développement des centrales à pompage-turbinage est pris en compte dans le développement de l'énergie hydraulique bien que, sur l'année, elles n'assurent pas de production supplémentaire d'électricité.



Source: Prognos, 2011



www.michael-peuckert.com

Le secteur hydroélectrique est déjà fortement développé en Suisse.
Photo: la centrale de Birsfelden (BL) sur le Haut Rhin.

l'efficacité énergétique pour limiter les besoins. La mise en place de nouveaux instruments incitatifs devrait ainsi permettre de maintenir la consommation d'électricité en 2050 en dessous de 70 milliards de kWh. Le caractère ambitieux de cet objectif apparaît nettement si on le confronte à la situation actuelle: la consommation de la Suisse en électricité avoisinait 60 milliards de kWh en 2010; selon les calculs de l'OFEN, cette consommation pourrait dépasser 90 milliards de kWh en 2050 si la politique énergétique actuelle était poursuivie [2].

Une étude de l'Energy Science Center de l'EPF de Zurich aboutit à peu près aux mêmes conclusions que les perspectives énergétiques 2050 en accordant toutefois un rôle plus important à la production d'électricité à partir de la biomasse [3].

L'arrêt des centrales nucléaires entraîne à l'horizon 2050 un déficit de production de 30 milliards de kWh qu'il s'agit de compenser et l'alternative privilégiée reste l'hydraulique. Les centrales hydroélectriques assurent déjà 56 pour cent de la production d'électricité de la Suisse, soit en moyenne 36 milliards de kWh par an (Fig. 2), et le gouvernement mise sur un accroissement de 4 milliards de cette capacité, soit à peu près à la moitié de la production annuelle de la centrale nucléaire de Gösgen.

Les solutions envisagées pour assurer ce surcroît sont en premier lieu la modernisation et l'agrandissement des aménagements existants et la construction de nouvelles centrales (cf. Tableau). « A mon sens, la construction d'une nouvelle grande unité, peut-être deux, pourrait en principe être envisageable », commente Alfred Wüest du département Eaux superficielles de l'Eawag. A condition cependant, de choisir des sites de faible impact environnemental et paysager et de réaliser les travaux en respectant l'environnement au terme d'études d'impact en bonne et due forme.

La petite hydraulique apporte peu. Les pouvoirs publics prévoient d'autre part un apport de 1,9 milliards de kWh suite à un développement des petites centrales hydrauliques favorisé par la rétribution à prix coûtant du courant injecté (RPC). Cette mesure incitative a été mise en place en 2009 par la Confédération pour promouvoir les énergies renouvelables et notamment

les installations hydroélectriques d'une puissance inférieure à 10 mégawatts. D'après Hans-Heiri Frei de Swissgrid, l'organisme chargé par le gouvernement de gérer la RPC, les projets soumis à ce jour totalisent déjà plus de 2 milliards de kWh.

Mais étant donné que les critères écologiques ne sont pas pris en compte pour l'évaluation des demandes de RPC, de nombreux projets risqués pour la biodiversité et la protection des milieux aquatiques – notamment ceux portant sur des cours d'eau encore inexploités – peuvent être retenus. Les autorités fédérales ont pris conscience de cette lacune et élaboré à l'adresse des cantons des recommandations non contractuelles pour l'identification des cours d'eau dignes de protection ou ne devant faire l'objet que d'une exploitation modérée [4]. « La sélection des projets pouvant bénéficier de la RPC reste cependant l'affaire des cantons », souligne Philipp Schwander de l'OFEN.

Si, dans une optique de politique énergétique durable, les considérations écologiques sont prises en compte, de nombreux sites potentiels d'installation de petites centrales hydrauliques doivent être écartés. D'après une étude du WWF, seule une augmentation de 1 milliard de kWh du potentiel de production de la petite hydraulique serait écologiquement supportable [5]. Pour Alfred Wüest, le développement de la petite hydraulique serait même un mauvais investissement: « Elle contribue à peine à combler les déficits d'approvisionnement énergétique et demande pour cela un lourd tribut paysager et environnemental ».

L'exploitation de la force hydraulique a un coût environnemental élevé. La liste des impacts de la production hydroélectrique sur l'environnement aquatique est longue. C'est ce que montrent entre autres de nombreux projets de l'Eawag. Ainsi, les seuils et barrages fragmentent le paysage fluvial et posent notamment un grave problème aux espèces migratrices comme le saumon ou le nase. « Les obstacles artificiels perturbent d'autre part le transport de la charge sédimentaire dans les cours d'eau », indique Armin Peter du département Ecologie et évolution des poissons de l'Eawag. « En bloquant les alluvions, ils empêchent le renouvellement des bancs de gravier sur lesquels fraient certains poissons comme la truite. Ils se détériorent et n'offrent plus de

Tableau: Potentialités d'accroissement de la production hydroélectrique d'après les estimations de la Confédération.

| | Mds de kWh |
|---|-------------|
| Modernisation, agrandissement des centrales existantes | +2,4 |
| Construction de nouvelles centrales, grandes unités (> 10 MW) | +2,0 |
| Construction de nouvelles centrales, petites unités (< 10 MW) | +1,9 |
| Exploitation des zones OCFH* | +0,4 |
| Gain de production total | +6,7 |
| Limitations pour le maintien de débits réservés | -0,7 |
| Limitations causées par les changements climatiques | -2,0 |
| Gain de production net | +4,0 |

* Zones de grande valeur paysagère protégées contre l'exploitation hydroélectrique par l'ordonnance sur la compensation des pertes subies dans l'utilisation de la force hydraulique (OCFH)

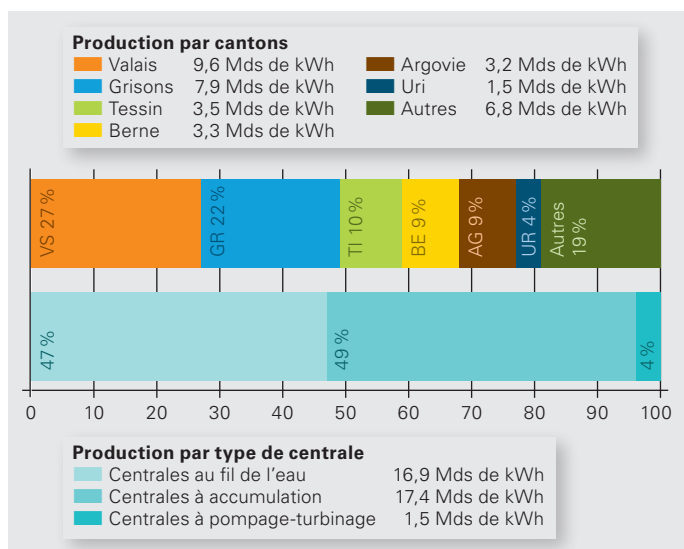


Fig. 2: L'hydraulique suisse en chiffres. La Suisse dispose de plus de 1300 centrales hydroélectriques dont 185 de plus de 10 mégawatts produisent à elles seules 90 pour cent de l'électricité du secteur. Les centrales au fil de l'eau produisent l'électricité en ruban tandis que les centrales à accumulation ou à pompage-turbinage assurent principalement la production de pointe.

conditions adéquates à la reproduction», explique le chercheur. La régulation des rivières et le prélèvement d'une partie très importante de leur écoulement pour alimenter les centrales peuvent par ailleurs modifier en profondeur la composition de leurs communautés biotiques – des algues jusqu'aux poissons – et perturber l'ensemble de la chaîne alimentaire.

L'exploitation par éclusées des centrales à accumulation entraîne des variations subites et brutales de débit dans les tronçons influencés. Les crues artificiellement provoquées par le turbinage des eaux pendant les périodes de forte demande électrique entraînent la dérive de nombreux animaux et végétaux aquatiques. Pendant les périodes quotidiennes de faible consommation où les eaux sont presque totalement retenues, de nombreux habitats s'assèchent et les organismes entraînés s'échouent. « La réduction brutale de l'écoulement entraîne souvent la mort des alevins ou des juvéniles qui se retrouvent à sec », explique Armin Peter. « La pratique des éclusées dans le Rhin alpin perturbe ainsi la reproduction naturelle de la truite fario et de l'ombre. »

De même, l'insuffisance des débits maintenus en aval des barrages ou dans les tronçons court-circuités pour l'alimentation des centrales à dérivation a des conséquences multiples sur les écosystèmes fluviaux: elle compromet la continuité physique et écologique du milieu et la connectivité des habitats, altère la capacité de régulation thermique du système, induit une réduction des hauteurs d'eau et des vitesses d'écoulement et, de ce fait, une accumulation des sédiments fins dans le lit qui compromet sévèrement la perméabilité du substrat.

La protection des eaux remise en question? Pour limiter l'impact environnemental de l'exploitation hydroélectrique des cours d'eau, la Suisse actualise régulièrement sa législation sur

Force hydraulique : un immense potentiel dans le monde

L'exploitation de la force hydraulique produit aujourd'hui environ 20 pour cent de l'électricité consommée dans le monde soit 3,4 billions de kWh. Dans un tiers des pays de la planète, elle assure plus de 50 pour cent de la production électrique nationale (56 pour cent en Suisse). De nombreux pays, notamment émergents et en développement, sont encore loin d'avoir exploité tout leur potentiel dans ce domaine. La Banque mondiale estime ainsi que ces pays n'exploitent que 23 pour cent des capacités potentiellement utilisables d'un point de vue économique et technique [7]. Selon ces critères, la Chine disposerait encore d'un potentiel de près de 1,4 billion de kWh, l'Amérique latine de 1,2 billions de kWh et l'Afrique d'environ 1 billion de kWh.

« Le secteur hydroélectrique mondial croît d'année en année », déclare Anton Schleiss de l'EPF de Lausanne. C'est aussi ce que montre l'évolution des investissements de la Banque mondiale dans les projets d'aménagement hydroélectrique. Ils sont ainsi passés de 250 millions de dollars en 2002 à plus d'un milliard de dollars en 2008. Deux milliards supplémentaires sont prévus pour les années qui viennent. « La Chine, en particulier, investit fortement dans le développement de son parc hydroélectrique », souligne Anton Schleiss.

Il est important que le développement de ce secteur énergétique se fasse dans des conditions socialement et écologiquement acceptables. L'Eawag réalise ainsi des études en Zambie pour évaluer les effets biogéochimiques du barrage d'Itezhi-Tezhi sur les zones humides situées en aval et pour optimiser la gestion de la centrale et des installations futures afin de minimiser les impacts environnementaux. Les chercheurs s'intéressent également de très près aux émissions de méthane dans les réservoirs de barrage en zone tropicale.

www.eawag.ch/forschung/surf/schwerpunkte/project/adapt
www.eawag.ch/forschung/surf/gruppen/methane

la protection des eaux. La loi fédérale de 1992 exige ainsi des cantons qu'ils assurent d'ici 2012 le maintien de débits résiduels suffisants dans les cours d'eau exploités. « Mais la loi est encore mal suivie et certains cantons sont très en retard dans son application », déplore Armin Peter. Depuis la dernière révision de 2010, de nouveaux moyens fédéraux ont été mis à disposition pour réduire les effets négatifs de l'exploitation par éclusées des centrales hydroélectriques et de la fragmentation du paysage fluvial. La continuité physique et écologique des cours d'eau doit ainsi être améliorée par des mesures de revitalisation. Cette approche suscite de grands espoirs chez les spécialistes et beaucoup y voient une réconciliation entre aménagement hydraulique et écologie.

Ces progrès sont-ils maintenant remis en cause par la nouvelle perspective de développement de l'hydraulique? Pour Armin Peter, « si le développement du secteur hydraulique s'effectue

selon le modèle proposé par le gouvernement, nous risquons fort de régresser sur le plan écologique suite, en particulier, à la multiplication des petites centrales hydrauliques. » Il considère en effet que le morcellement du milieu fluvial a déjà atteint de telles proportions en Suisse que toute fragmentation supplémentaire est à proscrire. La construction de nouvelles petites centrales hydrauliques annulerait totalement les progrès réalisés par ailleurs grâce aux revitalisations.

Jusqu'à présent, les sites dignes de protection d'un point de vue paysager étaient protégés de toute exploitation hydroélectrique par l'Ordonnance sur la compensation des pertes subies dans l'utilisation de la force hydraulique (OCFH). L'OFEN n'exclut plus une certaine exploitation de ces sites. « Il ne s'agit que d'une première estimation », tempère Philipp Schwander de l'Office de l'énergie. « Nous sommes encore en train d'évaluer les potentialités réelles avec les cantons. » Pour la plupart des spécialistes, une extension des exploitations à ces sites sensibles reste hors de question. « A mon avis, l'exploitation de zones protégées comme le plateau de la Greina est totalement exclue », estime également Anton Schleiss du Laboratoire de Construction Hydraulique de l'EPF de Lausanne.

Des prévisions irréalistes. Anton Schleiss commente par ailleurs l'augmentation de 4 milliards de kWh prévue par les autorités fédérales: « Ce chiffre correspond à l'augmentation nette. En réalité, la production hydroélectrique doit être augmentée de 6,7 milliards de kWh. » Le spécialiste estime d'autre part que les pertes liées à l'augmentation des débits résiduels sont sous-estimées. L'application des débits réservés prévus par la loi entraînerait une perte de production de 1,4 milliards de kWh. En revanche, l'impact des changements climatiques serait surestimé. C'est ce que confirme une étude récemment publiée par la Société suisse d'hydrologie et de limnologie et la Commission d'hydrologie selon laquelle les perturbations devraient rester modérées jusqu'en 2035 [6].

Mais la majorité des experts estiment de toute façon que le scénario envisagé par le gouvernement est irréalisable. L'Association des entreprises électriques suisses considère que les possibilités de production hydroélectrique du pays sont déjà presque totalement exploitées. Même si elle se dit favorable à un accroissement des capacités dans ce domaine, elle juge le projet irréaliste dans le contexte législatif actuel. Elle plaide donc pour une meilleure prise en compte des objectifs de production dans l'arbitrage entre les impératifs de protection et d'utilisation des eaux.

Anton Schleiss se joint lui aussi à la critique. D'après lui, l'augmentation réalisable n'excéderait pas 2 milliards de kWh. « Et encore, ce chiffre est déjà optimiste », ajoute-t-il. Il impliquerait en effet la construction d'au moins un grand barrage supplémentaire.

« Au lieu de pousser l'exploitation des cours d'eau à l'extrême, il vaudrait mieux développer la filière photovoltaïque », estime Alfred Wüest de l'Eawag. Les potentialités dans ce domaine seraient en effet nettement plus élevées. Le secteur hydraulique pourrait par contre contribuer à son succès en assurant un stockage de l'énergie dans les systèmes de pompage-turbinage. Etant donné qu'une part croissante de l'électricité proviendra

d'énergies renouvelables comme le solaire et l'éolien et ne sera donc pas produite en continu, les capacités de stockage devront être augmentées. Les centrales à pompage-turbinage n'assurent cependant pas de production électrique supplémentaire.

La Suisse pourrait servir de batterie dans le réseau européen.

« La Suisse a encore un fort potentiel en matière de pompage-turbinage », explique Anton Schleiss. Cet atout est particulièrement intéressant dans un contexte européen. La Suisse pourrait en effet jouer un rôle croissant de batterie dans le réseau européen et alimenter ses voisins en énergie stockée par pompage. « De notre côté, nous serons de plus en plus dépendants de la production photovoltaïque et éolienne des autres pays européens. »

Les autorités fédérales prévoient une augmentation des capacités de pompage-turbinage d'environ 5 milliards de kWh dans les années qui viennent. Certains chantiers sont déjà lancés, comme celui de Nant de Drance dans le Valais ou le projet Linth-Limmat dans le canton de Glaris.

Bien entendu, les centrales à pompage-turbinage ne sont pas non plus sans impact environnemental. Des chercheurs de l'Eawag ont ainsi montré dans le cadre d'une étude d'impact pour le projet Lagobianco dans la vallée de Poschiavo que les lacs raccordés rencontraient des problèmes de régulation thermique et de turbidité des eaux. D'un autre côté, le projet apporterait également des améliorations écologiques telles qu'un abandon du régime d'éclusées, une augmentation et une dynamisation des débits résiduels et la revitalisation de divers tronçons.

Anton Schleiss considère qu'un développement modéré de la filière hydroélectrique suisse peut être réalisé sans trop de concessions sur le plan environnemental. La recherche de solutions doit cependant se faire dans la concertation avec la participation de tous les acteurs concernés. Seule garante de solutions durables, une telle approche exige toutefois de chacun un certain sens du compromis. ○ ○ ○

- [1] Office fédéral de l'énergie (2011): Statistique suisse de l'électricité 2010.
- [2] Bundesamt für Energie (2011): Grundlagen für die Energiestrategie des Bundesrates – Aktualisierung der Energieperspektiven 2035.
- [3] Andersson G., Boes R., Boulouchos K., Bretschger L., Brüttsch F., Filippini M., Leibundgut H., Mazzotti M., Noembrini F. (2011): Energiegespräch vom 2. September 2011 an der ETH Zürich – Hintergrundinformation.
- [4] OFEV, OFEN, ARE (2011): Recommandation relative à l'élaboration de stratégies cantonales de protection et d'utilisation dans le domaine des petites centrales hydroélectriques.
- [5] WWF Schweiz (2010): Kleinwasserkraft – zusätzliches Potenzial an ökologisch geeigneten KEV-Standorten.
- [6] Schweizerische Gesellschaft für Hydrologie und Limnologie und Hydrologische Kommission (2011): Auswirkungen der Klimaänderung auf die Wasserkraftnutzung – Synthesebericht. Beiträge zur Hydrologie der Schweiz 38.
- [7] Weltbank (2010): Directions in hydropower – scaling up for development. Water P-Notes 47.

L'importance de l'espace et des bois morts pour les crapauds



Lukas Indermaur, biologiste, a effectué un doctorat au département d'Ecologie aquatique de l'Eawag avant d'intégrer le WWF où il est aujourd'hui responsable du projet Lebendiger Alpenrhein.

Les populations de Crapaud commun et de Crapaud vert nécessitent pour leurs habitats terrestres des espaces de plusieurs hectares riches en microstructures telles que les bois morts à terre. Malheureusement, ces conditions sont rarement remplies, même dans les zones protégées. Pour améliorer la qualité des habitats pour les amphibiens, il suffirait de disposer des tas de bois en nombre suffisant sur leur territoire. Une solution simple, efficace et économique.

De nombreux batraciens ne passent qu'une petite partie de l'année – et donc de leur vie – en milieu aquatique. La majeure partie de leur existence se déroule sur la terre ferme : forêts, gravières, terrains cultivés sont alors occupés. D'où l'importance, confirmée par de nouvelles études, des habitats terrestres pour la pérennité des populations d'amphibiens [1]. Les deux paramètres déterminants pour l'aménagement de zones protégées favorables aux

batraciens sont la taille des habitats et leur richesse en éléments structurants.

Pour la gestion des populations de batraciens au quotidien, la prise en compte de ces paramètres reste toutefois purement théorique tant que les travaux scientifiques, notamment sur la taille minimale du domaine vital terrestre, portent davantage sur les individus isolés que sur les populations. Des études ont été

Un seigneur des Alpes : Le Tagliamento dans le Frioul italien est le dernier grand fleuve encore sauvage de l'Arc alpin.





Le Crapaud vert se réfugie dans les tas de bois pour se protéger du chaud.

menées par une équipe de l'Eawag et Benedikt Schmidt de l'Université de Zurich pour remédier à cette situation.

Etudier le comportement naturel des batraciens. Sur une durée de deux ans, nous avons étudié les exigences des populations de Crapaud commun et de Crapaud vert quant à la qualité et la taille des habitats dans le lit particulièrement large (800 m) et diversifié du Tagliamento. Ce fleuve du Frioul italien est le dernier grand fleuve alpin d'Europe centrale à n'avoir pas encore subi d'aménagement hydraulique et constitue de ce fait un site d'expérimentation d'une valeur inestimable pour les naturalistes. Ainsi, il est l'un des rares sites européens dans lequel une étude du comportement et des exigences des amphibiens dans un environnement naturel et préservé est encore possible.

Dans les milieux cultivés et occupés par l'homme fortement modifiés et banalisés par et pour les activités anthropiques, les amphibiens sont au contraire généralement contraints de s'accommoder d'habitats mal adaptés. Ainsi, les tronçons de rivière influencés par les variations subites de débit dues à l'exploitation par éclusée de certaines centrales hydroélectriques sont loin de présenter des conditions idéales pour la reproduction et le grossissement des batraciens (comme des poissons d'ailleurs). Le non respect des exigences élémentaires d'une espèce vis-à-vis de la taille et de la structure des habitats se traduit par une baisse de la densité de population. Mais quelles sont les valeurs

minimales à respecter pour les populations d'amphibiens ? Et est-ce que les zones protégées délimitées en Suisse répondent à ces exigences de base ?

Nous avons concentré nos études au Tagliamento sur deux espèces présentant des exigences écologiques très différentes de manière à pouvoir formuler des recommandations largement étayées pour la gestion des batraciens en Suisse. Tandis que le Crapaud commun (*Bufo bufo*) est très répandu sur le territoire helvétique, le Crapaud vert (*Bufo viridis*) vient de régions limitrophes mais présente des exigences écologiques très proches de celles d'une espèce indigène, le Crapaud calamite (*Bufo calamita*). D'après la littérature, le Crapaud commun est considéré comme une espèce fortement migratrice et peu exigeante quant à la qualité des habitats. A l'inverse, le Crapaud vert comme le calamite sont des espèces pionnières typiques, c'est-à-dire qu'elles sont inféodées aux milieux ouverts qu'elles sont en mesure de coloniser avec une grande rapidité. Les espèces choisies pour l'étude couvrent donc un large spectre écologique. Pour notre étude, 56 Crapauds communs et 59 Crapauds verts ont été équipés de mini-émetteurs et leurs déplacements ont été suivis de jour comme de nuit pendant deux étés de suite par radiotracking.

Des zones protégées souvent trop petites. Nos observations montrent que les deux espèces de crapaud présentent une préférence marquée pour les amas de bois flottés mais qu'ils utilisent

| Surface nécessaire à 100 individus | Crapaud commun | | | Crapaud vert | | |
|---|----------------|--------------|---------------|----------------|----------------|----------------|
| | Moyenne | Minimum | Maximum | Moyenne | Minimum | Maximum |
| Domaine vital terrestre* (ha) (nombre de terrains de foot) | 6,0 (8,1) | 4,3 (5,8) | 7,7 (10,5) | 24,8 (33,7) | 17,9 (24,4) | 32,7 (44,5) |
| Bois morts ou flottés** (m ² /ha) | 756,9 | 214,5 | 1983,5 | 233,2 | 85,5 | 534,4 |

* Le degré moyen de chevauchement des domaines occupés par les deux espèces (2,6 %) et les individus d'une même espèce (2,7 % chez le Crapaud commun et 11,2 % chez le Crapaud vert) n'est pas pris en compte.

** Le degré moyen de chevauchement des domaines occupés par les espèces et les individus est pris en compte.

Exigences des populations de Crapaud commun et de Crapaud vert en matière d'espace et d'abondance de bois morts.

Minimum = limite inférieure de l'intervalle de confiance à 95 % ; Maximum = limite supérieure de l'intervalle de confiance à 95 %

ces abris de façon différente. Alors que le Crapaud vert se réfugie dans les tas de bois pour réguler sa température en cas de chaud, le Crapaud commun s'en sert principalement pour chasser [2].

La quantité d'amas de bois disponibles est également déterminante pour la taille des habitats estivaux des deux espèces. Dans les zones qui en sont pauvres, le domaine vital couvre des surfaces très importantes alors que ses dimensions sont beaucoup plus modestes dans les zones riches en bois flottés [3]. Les animaux étendent ainsi leur territoire jusqu'à bénéficier d'une quantité de tas de bois suffisante. A partir de nos données, nous avons calculé la surface minimale et la quantité minimale de bois morts nécessaires à un individu de chacune des deux espèces. Ces valeurs ont ensuite été extrapolées grâce à un modèle mathématique pour obtenir les exigences minimales d'une population de 100 individus [4], cet effectif correspondant à la taille minimale à partir de laquelle une population ne présente plus qu'un risque infime d'être anéantie localement suite à des événements imprévisibles.

D'après nos résultats, une population de Crapaud commun du Tagliamento occupe une surface minimale de 4,3 hectares lorsque le terrain est riche en bois morts ; cet espace minimal atteint 17,9 hectares chez le Crapaud vert. En d'autres termes, la surface nécessaire à la vie terrestre d'une population de crapaud est de l'ordre de 6 terrains de football chez le Crapaud commun et dépasse même 24 terrains de foot chez le Crapaud vert (cf. Tableau).

En Suisse, de tels espaces sont rarement disponibles pour les amphibiens. Ainsi, les zones délimitées dans l'inventaire des sites de reproduction de batraciens d'importance nationale (IBN) présentent généralement une superficie largement inférieure [5]. De même, nos analyses révèlent que les zones protégées définies au niveau cantonal sont souvent trop petites : Nous avons calculé pour les cantons de Thurgovie, de Berne et des Grisons, la surface moyenne de 77 zones protégées délimitées en milieu humanisé comportant des espaces forestiers. 52 pour cent d'entre elles étaient d'une taille inférieure au minimum nécessaire au Crapaud commun et 75 pour cent ne répondaient pas aux exigences du Crapaud vert ou de son homologue indigène, le Crapaud calamite.

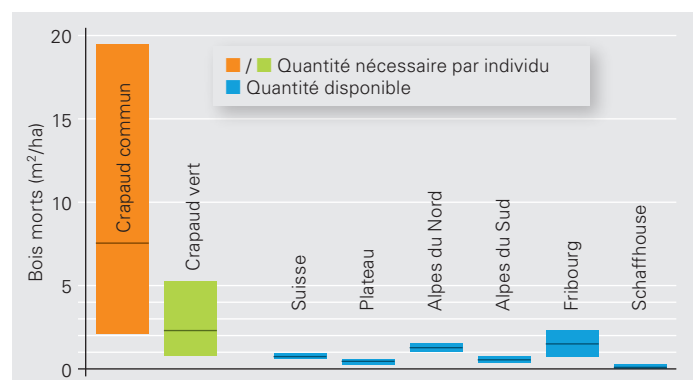
Une quantité de bois morts insuffisante. Les besoins minimums en bois flottés des populations étudiées au Tagliamento étaient de 214,5 mètres carrés par hectare (m²/ha) pour le Crapaud commun et de 85,5 m²/ha pour le Crapaud vert. Si on compare ces chiffres à la situation en Suisse, on constate que les quantités de bois morts et amas de branchages disponibles

sont bien souvent insuffisantes au bon développement des populations de crapauds indigènes. En effet, les bois morts sont pratiquement absents des milieux cultivés et même les zones forestières en sont généralement trop pauvres : d'après le dernier inventaire forestier national, les bois morts à terre ne couvrent en moyenne que 0,77 m²/ha de surface dans les forêts suisses, les valeurs étant particulièrement faibles sur le Plateau (0,43 m²/ha) et dans le canton de Schaffhouse (0,06 m²/ha) [6]. Même en ne considérant que les besoins d'un seul individu, ces valeurs seraient encore trop faibles.

Les seules régions forestières à offrir des conditions satisfaisantes pour les individus isolés sont les Alpes du Nord (1,29 m²/ha) et le canton de Fribourg (1,5 m²/ha) dans le cas du Crapaud vert ou du Crapaud calamite. Aucune région de Suisse n'est par contre en mesure de satisfaire aux exigences du Crapaud commun en matière de bois morts (cf. Figure). La situation au Tagliamento est tout autre : son lit est parsemé de tas de bois flotté couvrant un total d'environ 115 mètres carrés par hectare et formant une sorte de mosaïque de micro-habitats sur les bancs de galets découverts et tout porte à croire que l'abondance de bois morts est au moins équivalente dans les forêts alluviales adjacentes.

Etant donné qu'en Suisse, les batraciens occupent principalement les milieux cultivés et forestiers, le manque de bois morts et autres abris devrait avoir une influence extrêmement limitative sur leur expansion dans les zones fortement sollicitées par l'homme et se ressentir sur leurs effectifs.

Quantité de bois morts nécessaire et quantité disponible par individu dans les forêts suisses. Les colonnes indiquent les valeurs minimales (limite inférieure de l'intervalle de confiance à 95 %), moyennes et maximales (limite supérieure de l'intervalle de confiance à 95 %) des paramètres.





Le lit du Tagliamento totalise près de 115 mètres carrés de bois morts à l'hectare – le Plateau atteint péniblement 0,43 mètres carrés par hectare.

Une solution particulièrement économique. La disposition d'amas de branchages dans le paysage constituerait une manière à la fois simple et économique de recréer des structures favorables aux batraciens dans les paysages agraires dénudés et banalisés. Particulièrement simple à mettre en œuvre étant donné que les travaux d'entretien génèrent automatiquement des branchages qu'il suffirait d'amasser et de laisser sur place, une telle initiative permettrait d'améliorer la qualité des habitats terrestres non seulement pour les amphibiens mais aussi pour de nombreux autres animaux.

Pour que la démarche soit profitable à plusieurs espèces différentes, elle doit prévoir la création de tas de différentes tailles. Notre étude a en effet révélé que les crapauds fréquentaient des amas occupant une surface allant de 1 à 60 m² mais que le Crapaud commun semblait indifférent à la taille des tas tandis que le

La mise en place de tas de bois dans le paysage est une manière efficace et économique de recréer des microstructures dans les milieux cultivés appauvris et de relier entre eux les habitats favorables aux amphibiens. Photo prise sur les bords de l'Aar à Rubigen dans le canton de Berne.



A. Meyer

Crapaud vert (ou calamite) privilégiait les amas isolés de moins de 5 m². Etant donné que malgré la progression de la forêt en Suisse, les bois morts continuent d'y occuper des surfaces insignifiantes, il suffirait déjà dans ces milieux de laisser davantage de troncs et branches sur place pour favoriser les populations de batraciens.

Le positionnement ciblé d'amas de bois morts permettrait également de créer des corridors entre les habitats existants, ce qui aurait par exemple pour effet d'élargir les zones protégées trop petites. Ainsi, l'alignement de tas de branchages placés à intervalles réguliers entre les habitats isolés de faible taille produit un agrandissement de l'espace utilisable par les amphibiens. Une telle solution peut ainsi être adoptée lorsqu'un agrandissement des zones protégées elles-mêmes ne peut être envisagé.

Mais bien entendu, l'amélioration des habitats terrestres ne peut être utile à long terme que si les batraciens disposent de sites de reproduction adéquats et accessibles. Il peut être nécessaire d'en créer de nouveaux dans les zones qui en sont dépourvues. Les plans d'eau temporaires se sont avérés particulièrement bien adaptés [7] car du fait de leur assèchement récurrent, ces milieux abritent moins de prédateurs susceptibles de compromettre la survie des têtards. Ces mares temporaires se rencontrent de manière caractéristique dans le lit des cours d'eau ramifiés où elles apparaissent souvent suite à des dépôts de bois flottés.

Au vu des résultats obtenus au Tagliamento, la solution qui nous semble la plus efficace pour favoriser les populations de batraciens dans les milieux cultivés et forestiers banalisés par l'homme est la mise en place de tas de bois et branchages dans le paysage couplée à celle de mares temporaires pour la reproduction. ○ ○ ○

- [1] Trenham P.C., Shaffer H.B. (2005): Amphibian upland habitat use and its consequences for population viability. *Ecological Applications* 15, 1158–1168.
- [2] Indermaur L., Winzeler T., Schmidt B.R., Tockner K., Schaub M. (2009): Differential resource selection within shared habitat types across spatial scales in sympatric toads. *Ecology* 90, 3430–3444.
- [3] Indermaur L., Gehring M., Wehrle W., Tockner K., Näf-Dänzer B. (2009): Behavior-based scale definitions for determining individual space use: requirements of two amphibians. *American Naturalist* 173, 60–71.
- [4] Indermaur L., Schmidt B.R. (2011): Quantitative recommendations for amphibian terrestrial habitat conservation derived from habitat selection behavior. *Ecological Applications*, doi: 10.1890/10-2047.1, sous presse.
- [5] Borgula A., Fallot P., Ryser J. (1994): Inventar der Amphibienlaichgebiete von nationaler Bedeutung – Schlussbericht. Schriftenreihe Umwelt Nr. 233. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft.
- [6] Speich S., Abegg M., Brändli U.-B., Cioldi F., Duc P., Keller M., Meile R., Rösler E., Schwyzer A., Ulmer U., Zandt H. (2010): Drittes Schweizerisches Landesforstinventar. Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft.
- [7] Schmidt B.R., Zumbach S. (2010): Neue Herausforderungen und Wege im Amphibienschutz. *Wildbiologie* 4/37.

L'activité solaire enregistrée dans les glaces terrestres

Le soleil est notre principale source d'énergie, il est le moteur du climat terrestre et du cycle de l'eau. Mais dans notre monde dominé par la technique, il représente aussi une source croissante de risques. Une bonne compréhension du soleil et de son comportement au cours des âges est donc indispensable à la pérennité de nos sociétés. Le carottage des glaces polaires permet d'étudier l'évolution des 10 000 dernières années et d'entrevoir l'avenir.

Les hommes ont toujours eu une conscience intuitive de l'importance du soleil pour la vie sur Terre et nombre de sociétés anciennes lui vouaient un véritable culte. La volonté de connaissance scientifique de l'astre solaire est plus ou moins apparue avec le siècle des Lumières. La recherche se développa alors à grands pas jusqu'à ce qu'une controverse vienne agiter la communauté scientifique au XIX^e siècle. William Thomson, le futur Lord Kelvin et l'un des physiciens les plus réputés de son époque, parvint à la conclusion que les réserves d'énergie du soleil ne lui permettaient de vivre qu'environ 30 millions d'années. Ces résultats étaient en totale contradiction avec les calculs d'un autre

scientifique célèbre : en considérant le taux d'érosion des matériaux géologiques et le rythme d'évolution des organismes biologiques, Charles Darwin estimait en effet l'âge de la Terre à plus de 300 millions d'années. Comment est-il possible que deux chercheurs aussi brillants aient pu parvenir à des conclusions aussi éloignées l'une de l'autre ? La réponse est simple : le soleil dispose d'une source d'énergie dont l'existence était alors inconnue.

Une température de 16 millions de degrés. Le soleil est le lieu de réactions nucléaires. En son cœur règne une température de 16 millions de degrés Celsius à laquelle se produit une fusion sys-



Jürg Beer, physicien, étudie l'influence de l'activité solaire sur le climat au sein du département Eaux superficielles de l'Eawag.

Une carotte de glace du Groenland. La glace renferme des informations précieuses sur l'activité du soleil au cours des âges.



Marc Steinmetz, Visum

tématique de l'hydrogène en hélium. Selon la célèbre loi $E=mc^2$, cette fusion s'accompagne d'une conversion de 0,73 pour cent de la masse en énergie. Cette énergie est transportée à la surface de l'astre à partir de laquelle elle est diffusée dans l'espace. Etant donné que le rayonnement solaire a une puissance totale de 4×10^{26} watts, la quantité de matière convertie en énergie doit être de 4,4 millions de tonnes par seconde. Ce processus est d'une efficacité telle qu'avec une masse de 2×10^{30} kilogrammes, le soleil peut briller pendant 10 milliards d'années en ne perdant que 0,5 pour mille de sa masse.

Environ 30 pour cent du rayonnement solaire atteignant la Terre est renvoyé dans l'espace en se réfléchissant sur les nuages, la neige ou la glace. La partie absorbée restante correspond à $8,4 \times 10^{16}$ W soit la production d'énergie de 100 millions de centrales nucléaires. C'est 6000 fois la quantité d'énergie actuellement nécessaire à l'humanité. Près de la moitié de cette énergie solaire est absorbée pour l'évaporation de l'eau et sert donc de moteur au cycle de l'eau sur Terre. Le rayonnement solaire incident n'est pas réparti de façon uniforme à la surface de la Terre mais se concentre sur la ceinture équatoriale. Le système climatique redistribue cette énergie en direction des pôles par la circulation globale des eaux (courants marins, vapeur d'eau) et des vents.

Le moteur du cycle de l'eau. Il nous paraît tout naturel de n'avoir qu'à ouvrir le robinet pour disposer d'une quantité quasiment illimitée d'eau potable. Mis à part le fait que c'est malheureusement loin d'être le cas pour une grande partie de la population mondiale, nous oublions souvent que c'est principalement grâce au soleil que cette précieuse ressource existe. Etant donné que près du tiers de la surface terrestre est occupée par les océans, une part équivalente du rayonnement solaire incident (4×10^{16} W) atteint les masses d'eau dont elle provoque l'évaporation de quelque 430 000 km³ par an. 90 pour cent de cette eau évaporée retombe toutefois directement sur les mers du monde sous forme de pluie. La quantité de précipitations se déversant sur les continents ne se limite cependant pas aux 10 pour cent restants, soit 43 000 km³, mais s'élève à environ 100 000 km³ étant donné qu'une évaporation se produit également sur les terres émergées.

L'évaporation est un système de refroidissement très efficace du fait de la forte consommation d'énergie qui accompagne le passage de l'eau à la phase gazeuse. C'est ce phénomène que notre corps utilise pour réguler sa température en transpirant lors d'un effort physique. Et si la canicule de 2003 a battu des records de température, c'est en grande partie parce qu'il n'avait pas plu depuis longtemps et que les sols étaient desséchés et ne pouvaient donc plus jouer leur rôle de régulateur thermique.

Les processus de transport de l'eau et de l'air dans l'atmosphère sont marqués par des variations à court terme qui définissent les conditions météorologiques. Si ces changements s'effectuent à long terme et se maintiennent sur des décennies, on parle de changements climatiques. Ce terme évoque immédiatement le problème du réchauffement mais les effets sur le cycle de l'eau, qui sont bien entendu aussi en relation avec les effets thermiques, sont autrement plus importants. A ce niveau,

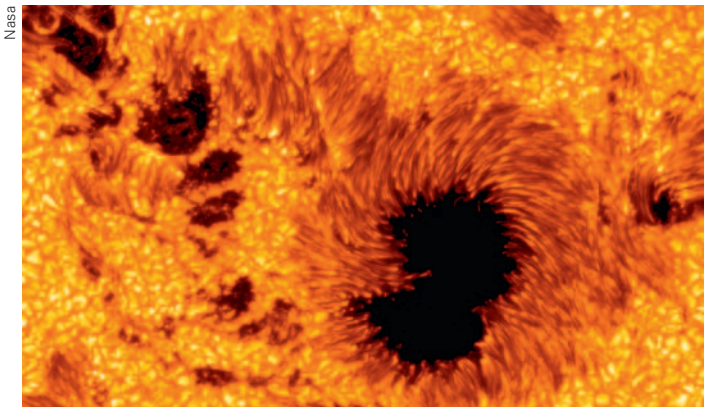


Fig. 1 : Taches solaires à la surface du soleil.

des modifications apparemment infimes peuvent avoir des conséquences de grande ampleur. Ainsi par exemple, si pour quelque raison que ce soit, les précipitations sur les mers du monde diminuaient de 1 pour cent à évaporation équivalente, la part qui se déverserait sur les continents passerait de 10 à 11 pour cent, ce qui correspondrait à une augmentation de 10 pour cent.

Etant donné son rôle de moteur climatique, la question se pose donc de savoir dans un tel contexte si le soleil contribue également aux changements climatiques.

L'apparition périodique de taches solaires. Si on observe le soleil en lumière visible, il apparaît comme un disque flamboyant homogène. Il n'est donc pas surprenant que, dans leur majorité, les scientifiques aient supposé jusqu'à récemment que l'intensité du rayonnement solaire atteignant la Terre dépendait uniquement de sa distance par rapport au soleil. Cette conviction se traduit par exemple par le nom de « constante solaire » donné à la quantité d'énergie reçue par unité de surface terrestre qui est d'environ 1360 W/m². Mais on sait aussi depuis longtemps que le soleil n'est pas totalement uniforme. Au cours des siècles, les astronomes ont régulièrement observé l'apparition de taches sombres qui furent souvent interprétées comme de mauvais présages et dont l'existence fut donc souvent passée sous silence (Fig. 1).

L'invention du télescope en 1610 permit pour la première fois d'observer la présence de taches plus petites. Lorsqu'en 1843, l'apothicaire Heinrich Schwabe publia les résultats de 18 ans d'observation du soleil en postulant l'existence d'un cycle de 11 ans, il suscita un grand intérêt dans les cercles scientifiques. Rudolf Wolf, qui fut en 1855 le premier professeur d'astronomie nommé à l'EPF de Zurich, était passionné par cette découverte et fit de l'étude du soleil le fer de lance de sa recherche. C'est alors que commencèrent les comptages systématiques des taches solaires à l'observatoire de Zurich (Semper-Sternwarte) (Fig. 2).

En dehors du rythme d'apparition massive des taches solaires de 11 ans – fluctuant en réalité entre 8 et 15 ans –, l'observation révèle une tendance générale à l'augmentation du nombre de taches ainsi que l'existence de périodes transitoires de raréfaction. Ainsi, le minimum de Maunder, situé entre 1645 et 1715, a été marqué par une absence presque totale de taches et des

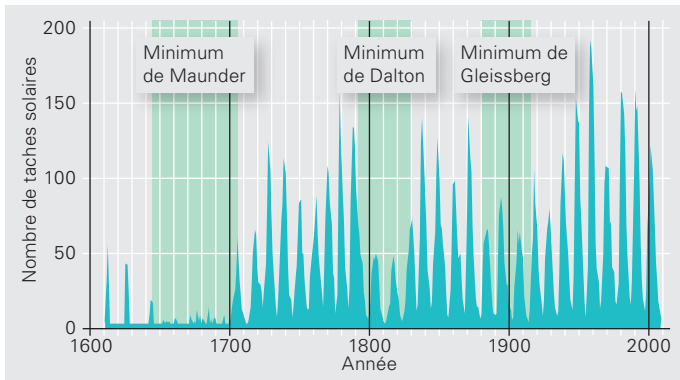


Fig. 2 : Evolution du nombre de taches solaires observées directement depuis 1609, notamment à l'observatoire de Zurich. Le nombre de taches évolue de façon cyclique et atteint un maximum à peu près tous les 11 ans.

minima de moindre importance ont été observés aux alentours de 1800 et de 1900.

Les observations ont montré que les taches solaires correspondaient à des zones de la taille de la Terre dans lesquelles la surface du soleil était traversée par de puissants faisceaux de champ magnétique qui empêchaient la remontée des gaz solaires à 6000 degrés. Ce phénomène produit un refroidissement de l'ordre de 1500 degrés apparaissant sous la forme de taches sombres. Le cycle de 11 ans découvert par Heinrich Schwabe est donc le résultat de fluctuations de l'activité magnétique à la surface du soleil.

Des archives conservées dans la glace. Les 400 dernières années de l'histoire de l'activité solaire retracées à la figure 2 sont certes intéressantes mais elles ne représentent qu'un bref instant dans la vie du soleil qui en compte déjà 4,5 milliards d'années. Mais comment explorer un passé encore plus lointain, bien antérieur à l'ère du télescope, alors qu'aucune observation n'était possible ? Eh bien, grâce aux informations accumulées dans les glaces terrestres.

Le soleil projette en effet en permanence un flux très rapide de gaz ionisés dans l'espace. Ce vent solaire qui provoque une perte de masse supplémentaire d'environ quatre millions de tonnes par seconde crée autour du système solaire une énorme bulle d'un diamètre équivalent à 100 fois la distance de la Terre au soleil. Cette bulle agit comme un gigantesque bouclier contre le rayonnement cosmique, un bombardement de particules hautement énergétiques qui parcourent notre galaxie. La force du vent solaire dépend de l'activité du soleil. Plus elle est forte, plus l'astre produit de vent et plus le nombre de particules cosmiques pénétrant dans le système solaire est faible et inversement.

Lorsque des particules cosmiques pénètrent dans l'atmosphère terrestre, elles peuvent entrer en collision avec des atomes et les désintégrer. Ce phénomène donne naissance à une grande diversité de radio-isotopes comme le béryllium 10 qui se désintègre en bore 10 avec une demi-vie d'environ 1,4 millions d'années [1]. Après leur formation, les isotopes de béryllium se fixent sur des particules d'aérosol et restent dans l'atmosphère pendant

environ deux ans avant de se déposer à la surface de la Terre, en général avec les précipitations. Au niveau des pôles, ils se trouvent ainsi intégrés aux calottes glaciaires.

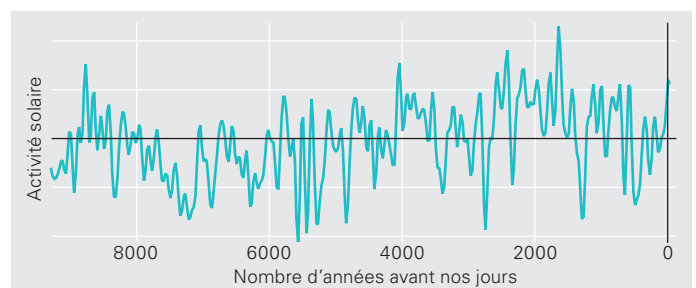
Grâce à ce phénomène, les glaces polaires ont constitué au cours des millénaires des archives qui peuvent être utilisées pour reconstituer les derniers 10 000 ans de l'histoire du soleil à partir de l'évolution des concentrations de béryllium [2, 3].

Un léger refroidissement de la Terre. L'analyse de milliers de dosages de béryllium effectués dans des carottes prélevées dans les glaces du centre du Groenland a permis de retracer cette histoire (Fig. 3). Il est ainsi apparu que les observations très minutieuses des dernières décennies avaient en fait porté sur une période assez atypique de la vie du soleil, marquée par une activité beaucoup plus élevée que la moyenne des dix derniers millénaires. Les grands minima comme celui de Maunder, caractérisé par une absence quasi-totale de taches, sont bien visibles dans la courbe d'activité retracée à partir des archives glaciaires. Celle-ci révèle d'autre part, en plus du célèbre cycle de 11 ans, l'existence d'une périodicité de l'activité solaire à un rythme de 87, 104, 208, 350, 500, 1000 et 2200 ans.

Ces résultats montrent de façon édifiante que, quelles que soient les prouesses techniques réalisées, l'observation directe du soleil ne permettra jamais à elle seule de répondre à toutes les questions qui se posent notamment sur son évolution à long terme. En revanche, l'utilisation combinée des observations détaillées mais de court terme effectuées à partir de la Terre et des satellites et des données stockées au cours des âges dans les glaces polaires livre une vision globale et contrastée de la vie de cet astre indispensable à la vie sur notre planète.

Si nous parvenons à combiner ces deux types d'approches – et c'est ce à quoi nous travaillons activement en ce moment –, nous accéderons non seulement à une meilleure compréhension du soleil en lui-même mais serons bientôt capables d'émettre des prévisions prudentes sur l'évolution future de l'activité solaire et sur ses effets possibles sur le climat terrestre. Les premiers résultats montrent ainsi que l'activité du soleil aura tendance à diminuer dans les prochaines années et décennies [5]. En effet, le maximum atteint lors du dernier cycle de 11 ans a été particulièrement élevé et prolongé, ce qui laisse présager d'une baisse consécutive.

Fig. 3 : Evolution de l'activité solaire au cours des derniers 10 000 ans retracée à partir des concentrations de béryllium 10 mesurées dans les glaces continentales du Groenland [4].



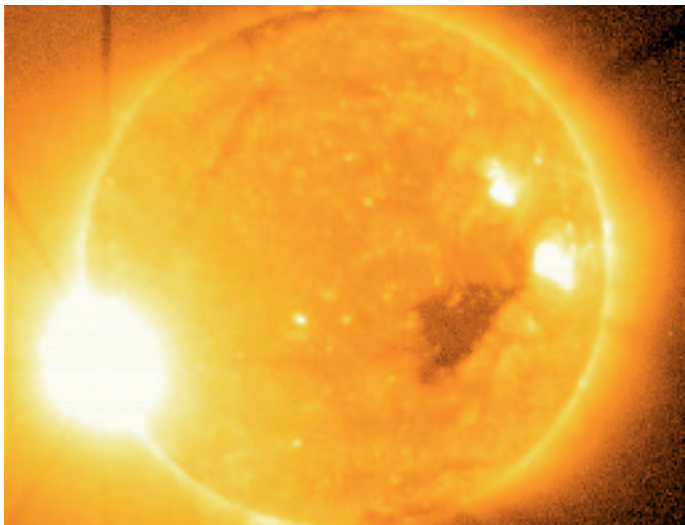


Fig. 4: Éruption solaire du 5 décembre 2006. Son intensité a été telle qu'elle a fortement endommagé l'appareil qui a effectué cette prise de vue à partir du satellite GOES 13.

Étant donné que le rayonnement solaire atteignant la Terre dépend de l'activité du soleil, un refroidissement devrait se produire prochainement sur notre planète. Cette baisse de température devrait toutefois rester très faible et ne saurait compenser le réchauffement dû aux gaz à effet de serre. Le phénomène ne devrait d'autre part durer que quelques dizaines d'années et être bientôt suivi d'un nouveau regain d'activité solaire.

Les dangers du vent solaire. Le matin du 1^{er} septembre 1859, le jeune Richard Carrington était installé dans son observatoire privé et travaillait à la transcription des taches solaires que son télescope projetait sur un écran lorsque deux points intensément lumineux et blancs apparurent subitement pour disparaître une minute plus tard. Dans la nuit qui suivit, l'aube fut précédée par l'apparition d'aurores boréales qui éclairèrent le ciel de l'Europe d'une lumière rouge, verte et pourpre si intense qu'il était possible de lire le journal comme en plein jour. Au même moment, les télégraphes furent fortement perturbés et se mirent à lancer des étincelles qui, par endroits, mirent le feu aux papiers alentours.

Le phénomène dont Carrington a été le premier témoin est appelé éruption ou *flare* solaire par les astronomes. Résultant de reconnections spontanées entre les lignes de champ magnétique à la surface du soleil (Fig. 4), ces éruptions libèrent des quantités d'énergie colossales, équivalentes à l'explosion de 100 millions de bombes à hydrogène.

Tandis que l'éruption exceptionnelle de 1859, qui porte depuis le nom de Carrington, a laissé une trace positive dans les mémoires grâce aux magnifiques aurores boréales qu'elle a offertes à l'Europe, un phénomène d'une telle ampleur aurait aujourd'hui un effet dévastateur entraînant près de mille milliards de dollars de dommages dans le monde entier. En effet, notre civilisation hyper-technique est de plus en plus sensible aux perturbations électromagnétiques. En 1989, 6 millions de personnes ont ainsi été privées d'électricité pendant 9 heures au Canada suite à la

détérioration du système de distribution par un orage magnétique. Aujourd'hui, les dégâts ne se limiteraient pas au réseau électrique mais paralyseraient les réseaux de communication, les GPS et toute une série d'outils technologiques devenus indispensables.

Pour pouvoir mieux se prémunir de ce danger encore difficile à cerner et le prévoir de façon à peu près fiable – on parle même déjà à ce propos de météorologie ou de climatologie de l'espace –, il est important de disposer de données statistiques suffisantes sur l'intensité et la fréquence des grandes éruptions. Là encore, les archives glaciaires peuvent être d'une grande utilité.

Le soleil n'est pas éternel. Le soleil et ses planètes se sont formés il y a 4,5 milliards d'années à partir d'un nuage originel de matière provenant de l'explosion d'une supernova suite aux forces de gravité qui ont entraîné une contraction de la matière. En raison de la loi de conservation du moment angulaire, le soleil n'a cependant pu concentrer que 99,9 pour cent de cette matière [6] et le reste a donné naissance aux planètes.

Suite à la libération d'énergie gravitationnelle, la température a augmenté au cœur de la protoétoile pour atteindre plus de 16 millions de degrés, ce qui a déclenché les réactions nucléaires de fusion qui s'y déroulent encore aujourd'hui. Les modèles d'évolution du soleil indiquent cependant que la production d'énergie du soleil n'atteignait alors que 75 pour cent du niveau actuel et qu'elle n'a cessé d'augmenter depuis. On peut alors se demander pourquoi la Terre n'était pas alors un amas de glace. Il se peut que les gaz à effet de serre présents en grande quantité dans l'atmosphère terrestre primitive et la plus grande masse originelle du soleil aient compensé la relative faiblesse de son activité.

L'énergie produite par le soleil va lentement continuer sa progression et dépasser le niveau actuel de 50 pour cent dans environ 5 milliards d'années. Ses réserves d'hydrogène seront alors quasiment épuisées, le privant de sa source d'énergie actuelle. Le soleil se dilatera et se transformera une géante rouge qui atteindra presque la Terre et y détruira toute forme de vie. La production d'énergie du soleil cessera ensuite totalement et l'étoile se rétractera en une naine blanche insignifiante de la taille de la Terre dont la luminosité disparaîtra totalement avec le temps. ○ ○ ○

- [1] Beer J., McCracken K.G., von Steiger R. (2011): Cosmogenic radio-nuclides: theory and applications in the terrestrial and space environments. Springer, Berlin-Heidelberg.
- [2] Beer J. (2004): La glace et le climat. *Eawag News* 58, 3–5.
- [3] Vonmoos, M. (2004): Soleil et climat: ça discute sur la banquise *Eawag News* 58, 8–10.
- [4] Steinhilber F., Abreu J.A., Beer J. (2008): Solar modulation during the Holocene. *Astrophysics and Space Sciences Transactions* 4, 1–6.
- [5] Abreu J.A., Beer J., Steinhilber F., Tobias S.M., Weiss N.O. (2008): For how long will the current grand maximum of solar activity persist? *Geophysical Research Letters* 35, 1–4.
- [6] Beer J. (2010): Astrophysical influences on planetary climate systems. *Heliophysics: evolving solar activity and the climates of space and earth*, Cambridge University Press.

Un enseignant-chercheur au service de la pratique



Markus Boller, ingénieur et professeur titulaire à l'EPF de Zurich, a longtemps dirigé le département de gestion des eaux urbaines de l'Eawag.

En presque 40 ans de carrière à l'Eawag, Willi Gujer a fortement marqué le secteur de la gestion des eaux urbaines en Suisse et dans le monde. Constamment à l'écoute des professionnels, la recherche de solutions adaptées à leurs besoins et la formation des jeunes chercheurs et praticiens ont toujours fait partie de ses priorités. Son départ à la retraite est l'occasion de revenir sur sa carrière et de lui rendre hommage.

Lorsque Willi Gujer vint renforcer les rangs de l'Eawag en 1974, la construction des infrastructures d'assainissement battait son plein. Des moyens importants accordés par les pouvoirs publics pendant deux décennies étaient alors disponibles pour construire des réseaux d'égouts et accroître les capacités d'épuration des eaux par la construction ou l'agrandissement de stations de traitement. A l'époque, la Suisse manquait cruellement de spécialistes, notamment pour le dimensionnement des systèmes de traitement biologique et d'élimination du phosphore au regard des nouvelles connaissances scientifiques. Pour vivifier la recherche de l'Eawag dans le domaine des technologies d'assainissement, le

directeur de l'époque, Werner Stumm, pratiquait une politique de recrutement de jeunes chercheurs formés à l'étranger.

Un vent nouveau sur l'assainissement. Avec sa formation d'ingénieur civil de l'EPFZ et un doctorat de l'université californienne de Berkeley sur les boues activées, Willi Gujer était tout désigné pour apporter un renouveau dans la recherche de l'Eawag sur le traitement biologique des eaux usées. En particulier, ses connaissances sur les bilans de matière et la cinétique des traitements à boues activées lui permirent de compléter l'approche expérimentale par une description mathématique des processus.

Vivacité d'esprit, clarté et clairvoyance : c'est ainsi que Willi Gujer a toujours défendu ses positions.



Tom Kawara

Arrivé en 1974 à l'Eawag en tant que jeune chercheur riche d'une expérience de l'étranger, Willi Gujer s'est engagé pendant près de 40 ans pour la gestion des eaux urbaines.



Grâce à Willi Gujer et ses collègues du nouveau département de sciences de l'ingénieur, l'Eawag se hissa rapidement au rang d'un centre de compétence fournissant expertise et savoir-faire aux acteurs de terrain pour l'optimisation et la construction des stations d'épuration.

L'aménagement et l'optimisation de la station d'épuration zurichoise de Werdhölzli permirent ainsi à Willi Gujer d'explorer de nouvelles pistes et d'établir de nouvelles méthodes pour la conception des bassins de boues activées, de l'aération et de la décantation secondaire pour l'élimination de la matière organique et l'oxydation bactérienne de l'ammonium (nitrification). Dans les années 1970 et 1980, il s'appliqua à faire connaître les nouveaux principes et méthodes de dimensionnement à un large public de spécialistes en s'engageant dans le programme d'enseignement de l'Association suisse des professionnels de la protection des eaux (VSA). Ses travaux de recherche dans ce domaine suscitèrent un vif intérêt en Suisse comme à l'étranger et furent présentés lors de multiples colloques et conférences au niveau national et international.

De nouvelles méthodes de calcul. Dans sa spécialité, la description mathématique des processus de traitement biologique des eaux usées, il échauffa une structure explicative et descriptive complexe à partir de multiples systèmes d'équation. En combinant les caractéristiques des processus biologiques et les données techniques des réacteurs, il élaborait un système mathématique applicable aussi bien aux états non stationnaires qu'aux états stationnaires. Dans son mémoire d'habilitation, il posa dès 1985 les bases des modèles de boues activées – « activated sludge model » versions 1, 2 et 3 – qui furent développés par la suite avec son aide par différents groupes internationaux.

Ces modèles et les logiciels correspondants élaborés à l'attention des ingénieurs de l'assainissement ont marqué le début d'une nouvelle ère dans le dimensionnement et l'évaluation des stations d'épuration. C'est ainsi en grande partie grâce à Willi Gujer qu'il est aujourd'hui possible de dimensionner les systèmes complexes de boues activées à partir des caractéristiques hydrauliques et physico-chimiques de la charge à traiter, de simuler leur comportement dynamique dans les conditions réelles de fluctuation de la teneur en nutriments, de la température, du pH, du degré d'oxygénation et d'autres paramètres et enfin de prévoir l'évolution dans le temps de la qualité des effluents traités.

C'est à cette époque que fut créée avec la forte complicité des membres de l'Eawag la filière d'enseignement post-grade de gestion des eaux urbaines et de protection des eaux (NDS) à l'EPF de Zurich. Il était dès lors possible de se spécialiser dans ce domaine de grande actualité en Suisse. Premier secrétaire de cette filière, Willi Gujer a activement travaillé à l'élaboration du programme d'enseignement et à la conception de la formation dans le domaine des techniques d'assainissement. C'était le début de sa carrière d'enseignement supérieur qu'il commença en tant que maître de conférences et qui l'amena au titre de Professeur ordinaire de gestion des eaux urbaines de l'EPF de Zurich.

Modélisation des systèmes à biomasse fixée. Toujours très actif au niveau de la recherche, Willi Gujer continua de s'intéresser aux processus biologiques intervenant dans l'épuration des eaux et en particulier aux possibilités d'utilisation des biofilms pour accroître les performances d'élimination. Bien que la représentation mathématique des processus à biomasse fixée s'avérât plus difficile que celle des boues activées, il parvint à les modéliser et à élaborer des logiciels permettant de prédire le comportement de ces systèmes dans différentes conditions de fonctionnement.

Demandant des connaissances trop spécifiques pour leur application, les nouveaux outils ne rencontrèrent cependant pas le succès de leurs prédécesseurs dans la pratique. Mais les nouveaux modèles et leurs bases théoriques permirent de mieux comprendre le comportement des biofilms et donc d'optimiser les technologies les mettant en œuvre.

En reconnaissance de ses travaux scientifiques dans le domaine du traitement biologique des eaux usées, le titre honorifique de « Distinguished Lecturer of the American Association of Environmental Engineering Professor » lui fut attribué en 1991. Suivit alors une longue tournée de conférences sur tout le territoire des Etats-Unis.

Une grande vivacité d'esprit. Dans les discussions scientifiques, Willi Gujer stupéfiait très souvent ses interlocuteurs par la rapidité et la précision de son analyse. La pertinence et la sagacité avec lesquelles il a toujours su présenter ses visions d'avenir et son argumentation furent une grande richesse pour l'Eawag. Ces compétences lui valurent de prendre la tête du département de sciences de l'ingénieur dès 1971 et d'intégrer l'état-major de l'Eawag en 2001.

En 1992, il accéda au poste de professeur ordinaire de gestion des eaux urbaines à l'EPF de Zurich. Son retrait partiel des activités du département de sciences de l'ingénieur à partir de 1994 lui permit de se concentrer sur la conception de nouveaux programmes pour l'enseignement de la gestion des eaux urbaines à l'EPFZ et d'élaborer le matériel pédagogique nécessaire avec l'aide de ses collaborateurs. Au cours de ces années passées au contact des étudiants et doctorants, il lui apparut de plus en plus nettement que la formation à la base était la véritable clé de la compétence professionnelle sur le terrain.

Soucieux d'une plus grande diffusion des connaissances à la base de son enseignement, il publia un premier livre intitulé « Siedlungswasserwirtschaft » qui devint rapidement un véritable

De l'utilité pratique d'une bonne théorie

A l'occasion du départ à la retraite de Willi Gujer début 2011, un symposium s'est tenu en octobre dernier à l'Académie Empa à Dübendorf en hommage à son œuvre dans le domaine de la gestion des eaux urbaines. Cette manifestation a placé sous le signe « de l'utilité pratique d'une bonne théorie ». En trois sessions thématiques, les intervenants, pour la plupart d'anciens doctorants de Willi Gujer, ont présenté leurs activités scientifiques et techniques. Par le choix des interventions et le mot d'ordre du colloque, les organisateurs ont souhaité rendre un hommage particulier au rôle de médiateur qu'a toujours joué Willi Gujer entre recherche et pratique.

Des projets alliant recherche et pratique. Eberhard Morgenroth, successeur de Willi Gujer à la direction du département de technologie des procédés de l'Eawag et à la chaire de gestion des eaux urbaines de l'EPF de Zurich, a discoursé sur les biofilms dans l'assainissement. Il a notamment cité deux publications de 1985 et 1986 co-rédigées par Willi Gujer qui l'ont accompagné depuis le début de sa carrière et qu'il a avoué consulter très régulièrement. « Nous n'avons pas beaucoup avancé depuis », a-t-il constaté à ce propos.

Il a lui aussi insisté sur l'importance des projets menés en commun par les chercheurs et les praticiens. D'après lui, beaucoup de questions menant à une meilleure compréhension des systèmes de traitement ne peuvent pas être résolues par les chercheurs sans l'aide des spécialistes de terrain. Ainsi, les canaux expérimentaux utilisés en laboratoire donnent une idée des phénomènes mais ne permettent pas toujours d'appréhender la réalité des processus se déroulant dans une station d'épuration. Les biofilms, notamment, se comportent très différemment en cristallin qu'ils ne le font à l'échelle industrielle. Pour Eberhard Morgenroth, la priorité est ainsi moins d'assurer le transfert de savoir entre recherche et pratique que de concevoir et mener les projets en commun.

Du bénéfice de l'urgence. Dans son intervention, Reto von Schulthess, responsable de succursale d'une société d'ingénierie notamment spécialisée dans l'assainissement, a posé la question de l'applicabilité pratique des résultats de recherche. D'après lui, le rapport à la réalité pratique n'est assuré que lorsque les chercheurs manifestent de l'intérêt pour les questions pratiques et que les personnes de terrain s'intéressent



aux avancées de la recherche. Il faut que ces deux conditions soient remplies pour que la recherche dans le domaine de l'assainissement ait un sens. Selon lui, « il faut d'un côté des chercheurs qui osent se lancer dans des projets à l'échelle industrielle et qui ont à la fois la volonté et la capacité de communiquer d'égal à égal avec les acteurs de terrain et de l'autre côté des gestionnaires de station qui soient ouverts à ce genre de projets ».

De son point de vue, c'est dans les situations d'urgence que la recherche appliquée est la plus efficace. Lorsque les scientifiques s'attaquent à la résolution de problèmes urgents, les solutions proposées sont généralement ciblées et bien applicables. A l'heure actuelle, Reto von Schulthess voit en Suisse une urgence dans l'élimination des micropolluants, l'optimisation énergétique de l'épuration et la récupération du phosphore en tant que ressource finie. « Sur ces questions, nous avons absolument besoin de la contribution des scientifiques », déclare-t-il sans détour. A l'échelle mondiale, il voit des besoins importants au niveau des mégapoles en forte croissance. Beaucoup de villes chinoises se développent actuellement de manière exponentielle et connaissent de graves problèmes de pollution des eaux et d'approvisionnement en eau potable.

Veiller à l'attractivité de l'enseignement. Reto von Schulthess estime que pour assurer le transfert du savoir entre recherche et pratique, le contact avec l'industrie est également un atout important. En effet, les chercheurs n'ont généralement pas la possibilité de développer les projets jusqu'à une éventuelle mise sur le marché de leurs innovations et l'industrie ne dispose souvent pas de capacités suffisantes pour inventer de nouveaux procédés. L'intervenant estime d'autre part que les séminaires et cours destinés aux professionnels comme ceux dispensés par l'Association des professionnels de la protection des eaux (VSA) ou l'Eawag sont d'excellents outils de transmission des connaissances, tout comme la publication des résultats scientifiques sous une forme accessible aux spécialistes de terrain.

Il considère enfin que l'attractivité de l'enseignement dispensé aux étudiants et doctorants joue un rôle essentiel. En effet, le contenu doit être d'actualité et présenter une utilité évidente pour l'avenir de même qu'il doit être présenté de manière particulièrement intéressante pour compenser le manque d'attrait manifeste du domaine des eaux usées pour les étudiants. Bouclant la boucle, le symposium conclut sur les qualités d'enseignant de Willi Gujer. Fort apprécié pour son engagement et pour la qualité de son enseignement, il a en effet reçu la « chouette d'or » qui lui a été attribuée deux fois par l'association des étudiants de l'EPFZ et le Credit Suisse Award for Best Teaching. (aj)

ouvrage de référence non seulement dans le milieu étudiant mais aussi et surtout dans la pratique de la conception et de la réalisation des infrastructures d'assainissement et d'approvisionnement en eau potable. Vers la fin de sa carrière, Willi Gujer publia un deuxième ouvrage sur les technologies des procédés dans l'épuration des eaux, « Systems Analysis for Water Technology », plutôt destiné aux étudiants avancés et aux spécialistes de la technologie des eaux dans la pratique.

La séparation des urines, un concept d'avenir. En sa qualité de professeur, Willi Gujer, diversifia et étendit le champ de ses recherches. Il relança ainsi le domaine des techniques de construction et de gestion des réseaux d'égouts jusqu'alors traité de façon plutôt marginale à l'Eawag et à l'EPFZ. Il supervisa notamment plusieurs thèses de doctorat sur les phénomènes d'infiltration et d'exfiltration dans les réseaux d'égouts et sur les rapports entre modalités de transport des eaux usées et fonctionnement des stations d'épuration.

Convaincu de l'importance des systèmes décentralisés pour l'avenir, il s'est par ailleurs employé à faire évoluer les mentalités dans un domaine de l'assainissement dominé par le modèle centralisé appliqué depuis plus de 60 ans. Grâce au soutien actif de son épouse, il a ainsi pu attirer l'attention de la communauté internationale sur la pertinence des nouvelles techniques sanitaires de séparation des urines et motiver leur mise en œuvre dans divers projets et réalisations. La récupération des matières nutritives contenues dans les eaux usées et le contrôle concomitant d'une source importante de micropolluants font de cette approche une solution d'avenir qui gagnera très certainement en importance. Les recherches sur la collecte et le traitement séparés des urines qui se poursuivent actuellement et leur mise en œuvre technique après l'ère Gujer vont en tout cas dans le sens de leurs initiateurs.

Un héritage spirituel entre de bonnes mains. Ces dernières années, Willi Gujer s'est particulièrement consacré à une question jusqu'alors peu traitée dans le domaine des eaux urbaines : celle de la pertinence réelle des données mesurées et des paramètres de modélisation pour la gestion des réseaux. Sa formidable capacité d'abstraction et sa connaissance des processus stochastiques et de leur traitement mathématique lui permirent de grandes avancées. Sous sa direction, plusieurs doctorants et doctorantes ont travaillé avec succès sur le sujet. Même si les nouveaux concepts n'ont pas encore pris pied dans la réalité technologique du terrain, les travaux seront poursuivis par d'anciens doctorants qui perpétuent ainsi « l'Ecole de Willi Gujer ».

Cette volonté de poursuivre l'œuvre de Willi Gujer est apparue avec force lors du symposium organisé en son honneur en octobre 2011 (cf. encadré). Pour le collègue de longue date que je suis, cela a été un réel plaisir de constater les immenses progrès réalisés en l'espace d'une génération dans le génie de la gestion des eaux urbaines et de voir que les spécialistes formés pendant cette période sont devenus les forces vives de la recherche d'aujourd'hui, bien décidés à gérer et à développer le patrimoine scientifique et technique dont ils ont hérité.



Sandec récompensé

En novembre 2011, le département de recherche Eau et assainissement dans les pays en développement (Sandec) de l'Eawag s'est vu décerner l'IWA Development Solutions Award à l'occasion du deuxième congrès de l'Association internationale de l'eau (IWA) qui se tenait à Kuala Lumpur en Malaisie. Ce prix récompense les innovations, travaux de recherche et initiatives de terrain remarquables ayant eu un impact significatif sur la situation des pays à faibles revenus au niveau national, supranational ou international. D'après le jury, son engagement dans la recherche appliquée et la qualité de ses travaux scientifiques font de Sandec un partenaire solide pour les institutions académiques travaillant dans les pays économiquement faibles. Le directeur de Sandec, Christian Zurbrügg, qui était venu recevoir le prix au nom de son équipe, insiste sur l'importance de l'innovation et de la recherche de solutions alternatives dans son domaine d'activité de même que sur le rôle capital de la coopération entre opérateurs privés et publics, professionnels de terrain et équipes de recherche, autorités locales et organisations d'aide au développement pour la réussite des projets. En plus de Sandec, l'IWA a également récompensé les travaux de l'Institut Borda (Bremen Overseas Research & Development).

www.iwahq.org/sn/about-iwa/honours-and-award

Nouveau chef de la Microbiologie de l'environnement



Le département de microbiologie de l'environnement de l'Eawag a un nouveau chef. Martin Ackermann, qui en a pris la direction en juillet 2011, est professeur extraordinaire d'écologie microbienne moléculaire à l'EPF de Zurich. Lui et son équipe travaillent sur les questions fondamentales relatives à l'évolution et l'écologie des bactéries dans leur environnement naturel.

www.eawag.ch/forschung/umik

Nouvelle chaire d'analyse des politiques publiques



Depuis août 2011, Karin Ingold est professeure assistante en analyse des politiques publiques spécialisée en politiques environnementales. Ce poste de professeur assistant « tenure track » (avec perspective de carrière professorale) vient d'être créé à l'Institut de sciences politiques de l'université de Berne sous cofinancement de l'Eawag dans le but de développer un axe commun de recherche

entre l'Eawag et l'université de Berne dans le domaine de la gestion des ressources hydriques et des politiques de l'eau. Politologue de formation, Karin Ingold se consacre à l'analyse des processus politiques dans le domaine de l'eau, de l'énergie et du climat et plus particulièrement aux questions relatives à la gestion des ressources naturelles. Le groupe d'analyse des politiques publiques est domicilié à l'université de Berne.

www.iwp.unibe.ch/content/team/karin_ingold

L'Eawag passe du DFI au DFE

A compter de 2013, le domaine des EPF, et donc l'Eawag, ne dépendra plus du Département fédéral de l'intérieur (DFI) mais de celui de l'économie (DFE). Dans le courant de l'été 2011, le Conseil fédéral a en effet décidé d'une réorganisation des départements et placé l'éducation, la recherche et l'innovation sous l'autorité du Département fédéral de l'économie. Ce département abrite déjà l'Office fédéral de la formation professionnelle et de la technologie.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Le projet Lac: appréhender la biodiversité piscicole

Sous la direction d'Ole Seehausen du département Ecologie et évolution des poissons de l'Eawag et du Musée d'histoire naturelle de Berne, une équipe internationale de chercheurs étudie la faune piscicole des lacs alpins et périalpins: réunis dans le projet Lac, leur objectif est de recenser et de décrire les peuplements des systèmes lacustres, l'étendue réelle de la biodiversité piscicole des grands lacs européens étant encore très mal connue. Jusqu'à présent, les scientifiques ont étudié les lacs de Morat en Suisse et d'Annecy et du Bourget en France. Leurs inventaires



Stefan Kubli

révèlent que plus d'un tiers des espèces déjà observées dans ces lacs ont disparu. Mais paradoxalement, les chercheurs constatent également la présence d'une multitude d'espèces jusque là inconnues.

www.eawag.ch/medien/bulletin/20110901

Influence des nanotubes de carbone sur les algues vertes

Alors que les nanoparticules sont de plus en plus présentes dans les produits de consommation courante, on ignore encore presque tout de leur impact sur l'environnement et en particulier sur les écosystèmes aquatiques. Pour pallier ce manque de connaissances, des collaborations scientifiques ont vu le jour. Une étude de l'Empa et de la station de recherche Agroscope Reckenholz-Tänikon à laquelle a également participé l'Eawag a ainsi récemment montré que, s'ils n'exerçaient pas de toxicité directe sur les algues vertes, les nanotubes de carbone pouvaient en perturber la croissance en leur faisant concurrence pour l'espace et la lumière.

www.empa.ch/plugin/template/empa/1256/113921/--/l=1

Pour une meilleure assise du programme de cours Peak

Les cours de l'Eawag pour la pratique (Peak) portent bien leur nom. S'adressant à un public spécialisé provenant d'organismes institutionnels et de recherche, d'entreprises publiques et privées et d'organisations non gouvernementales, ils favorisent les échanges entre scientifiques et professionnels, transmettent un savoir up-to-date et initient la création de réseaux entre participants. Pour améliorer la prise en compte des besoins des acteurs de terrain en matière de formation continue, l'Eawag vient de créer un comité interne chargé d'évaluer les attentes du public visé et d'adapter les thèmes proposés en conséquence.

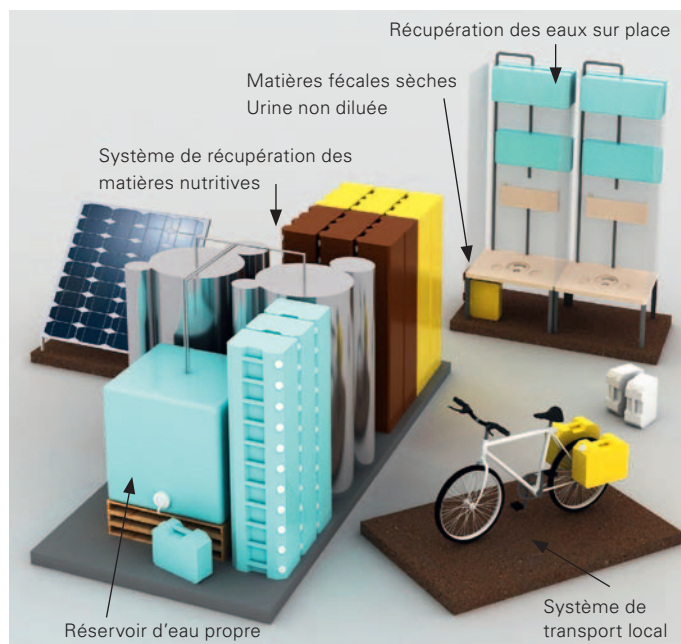
Contact: Evelin Vogler, evelin.vogler@eawag.ch

www.eawag.ch/lehre/peak



Les toilettes réinventées

Réinventer les toilettes: tel est l'objectif ambitieux d'une équipe interdisciplinaire de chercheurs regroupés autour de Tove Larsen du département de Gestion des eaux urbaines de l'Eawag. Le produit visé est un système de toilettes capable de collecter séparément l'urine et les matières fécales en vue de leur traitement ultérieur tout en assurant un recyclage local des eaux utilisées. Le projet est soutenu par la Fondation Bill et Melinda Gates à hauteur de 400 000 dollars. Il s'agit donc déjà du deuxième projet de recherche de l'Eawag à bénéficier du soutien de la prestigieuse fondation.



De nouveaux talents de l'Eawag récompensés

Andreas Kretschmann, chimiste de l'environnement et ancien doctorant de l'Eawag a reçu le prix du groupe Chimie de l'environnement et écotoxicologie de la Société allemande de chimie (GDCh) pour son article « Toxicokinetic model describing bioconcentration and biotransformation of Diazinon in *Daphnia magna* » paru dans la revue *Environmental Science & Technology* 45 (2011). Cette récompense lui a été attribuée en septembre 2011 à l'occasion de l'International Conference on Chemistry and the Environment de l'Association européenne pour les sciences chimiques et moléculaires (EuChemS).

Saskia Zimmermann, doctorante au sein du département Ressources aquatiques et eau potable de l'Eawag a reçu le prix Otto Jaag pour la protection des eaux pour sa thèse « Enhanced wastewater treatment by ozone and ferrate: kinetics, transformation products and full-scale ozonation ». Cette récompense lui a été attribuée par l'EPF de Zurich le 19 novembre 2011 à l'occasion de la journée annuelle de l'ETH.

Notes

Agenda

Cours

28–29 mars 2012, EPF de Lausanne

Introduction à l'écotoxicologie

10–11 mai 2012, Eawag Dübendorf

Erfolgreiche Revitalisierung von Fließgewässern

4–8 juin 2012, Eawag Dübendorf

PhD Summer School in environmental systems analysis

6 juin 2012, Eawag Kastanienbaum

Fachtagung Schadstoffe in Seesedimenten

Visites guidées

8 décembre 2011, Eawag Dübendorf

Visite guidée du site de Dübendorf (en allemand)

Colloques

12 janvier 2012, Eawag Dübendorf

Abwassereinleitungen in Gewässer bei Regenwetter – Erfahrungsaustausch und Diskussion nach vier Jahren STORM

22 juin 2012, ETH Zurich

Infotag 2012: Lebensraum Wasser – was er leistet, was er braucht

28–29 juin 2012, Eawag Dübendorf

Colloque de l'European network for alternative testing strategies on ecotoxicology – réseau EuroEcoTox

Pour en savoir plus : www.eawag.ch/veranstaltungen

Le projet européen d'excellence Athene a démarré

Le projet de recherche Athene dirigé par Adriano Joss du département de Technologie des procédés de l'Eawag et Thomas Ternes de l'Institut fédéral allemand d'hydrologie (BfG) a démarré en octobre 2011. Son propos est l'étude de la dégradation microbienne des polluants organiques (antibiotiques, analgésiques, biocides etc.) dans les étapes de traitement biologique des stations d'épuration. Les informations obtenues sur les voies de dégradation et les processus enzymatiques impliqués seront utilisées pour développer des technologies innovantes de traitement biologique qui seront évaluées dans des essais in situ. D'une durée de cinq ans, le projet est doté d'un budget de 3,5 millions d'euros.

Publications de l'Eawag

Toutes les publications des chercheuses et chercheurs de l'Eawag ainsi que les résumés des différents articles sont disponibles à la bibliothèque de l'Eawag Lib4RI. Les publications en libre accès («open access») peuvent d'autre part être téléchargées gratuitement:

www.lib4ri.ch/institutional-bibliography/eawag.html

En cas de difficultés: info@lib4ri.ch

Nouvelles parutions

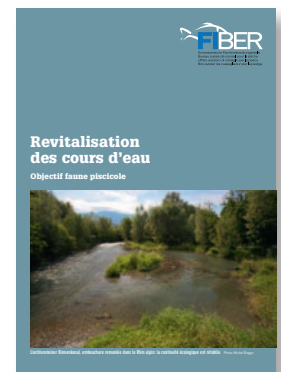


L'Agenda 21 pour l'eau, réseau d'acteurs de la gestion des eaux en Suisse, et les Offices fédéraux de l'agriculture et du développement territorial ont publié une brochure intitulée «**Gestion par bassin versant – Idées directrices pour une gestion intégrée des eaux en Suisse**». Exposant les grands principes de cette approche, ce guide vise à donner le coup d'envoi d'une gestion moderne et intersectorielle qui tienne compte aussi bien des impératifs de protection des biens et des milieux que des intérêts liés aux différents usages de l'eau.

http://www.wa21.ch/images/content/3%20Themen/3.2%20Einzugsgebietsmanagement/f_Leitbild_IEM_101124.pdf

http://www.wa21.ch/images/content/3%20Themen/3.2%20Einzugsgebietsmanagement/f_Leitbild_IEM_101124.pdf

Qu'entend-on au juste par revitalisation fluviale? Quel est l'objectif des interventions? En quoi sont-elles profitables à la faune piscicole? Et comment les pêcheurs peuvent-ils contribuer à leur succès? La nouvelle plaquette du service suisse de conseil pour la pêche, Fiber, intitulée «**Revitalisation des cours d'eau – Objectif faune piscicole**» propose des réponses concrètes à ces questions et donne un bon aperçu des aspects théoriques et pratiques de ce type d'aménagement.



www.fischereiberatung.ch/docs

L'Eawag publie sur son site des **fiches d'information** sur les grands sujets d'actualité. Les dernières en date sont consacrées à l'hydroélectricité et l'écologie, à l'eau et l'énergie et à la récupération de l'eau de pluie.

www.eawag.ch/medien/publ/fb/index_FR

A travers le guide «**Community-Led Urban Environmental Sanitation Guidelines**», l'Eawag



propose aux acteurs de terrain une méthode en sept étapes pour la planification et la réalisation d'infrastructures d'assainissement dans les pays en développement. Le manuel est rédigé de manière très abordable de façon à pouvoir être utilisé par les non spécialistes et repose sur une approche fondamentalement participative basée sur l'intégration de tous les acteurs concernés dans les prises de décision.

www.eawag.ch/forschung/sandec/gruppen/sespl/clues