Le recyclage continental de lâ€™eau douce

Notre comprÃ©hension du cycle de l'eau est aujourd'hui insuffisante pour bien traiter des enjeux posÃ©s par le dÃ©rÃ¨glement climatique, la dÃ©gradation de la biosphÃ¨re et plus gÃ©nÃ©ralement l'augmentation des pressions anthropiques sur les ressources naturelles de notre planÃ¨te. Elle est insuffisante parce qu'elle est tronquÃ©e. Elle se met des œillÃ¨res en se focalisant sur la seule eau douce qui nous paraÃ®t importante, cette eau qui s'Ã©coule et que nous pouvons prÃ©lever. L'analyse de Daniel ZIMMER et de Xavier LAFLAIVE. H2o fÃ©vrier 2025.Â

Le recyclage continental de l'eau douce

Notre comprÃ©hension du cycle de l'eau est aujourd'hui insuffisante pour bien traiter des enjeux posÃ©s par le dÃ©rÃ¨glement climatique, la dÃ©gradation de la biosphÃ¨re et plus gÃ©nÃ©ralement l'augmentation des pressions anthropiques sur les ressources naturelles de notre planÃ¨te. Elle est insuffisante parce qu'elle est tronquÃ©e.

Daniel ZIMMER

Xavier LEFLAIVE

cet article est extrait de la revue PCM

"L'eau, un bien communÂ - Comprendre les cycles planÃ©taires"

illustration d'ouverture : Margie Moss - GEO

H2o - fÃ©vrier 2025

Â

Cette vision se met des œillÃ¨res en se focalisant sur la seule eau douce qui nous paraÃ®t importante, cette eau qui s'Ã©coule et que nous pouvons prÃ©lever. Le cycle de l'eau est donc apprÃ©hendÃ© logiquement Ã partir de l'ensemble des fleuves, lacs et nappes souterraines, des masses d'eau dans lesquelles nous pouvons puiser pour rÃ©pondre Ã nos besoins. Il est aussi rÃ©duit dans le temps : comme les annÃ©es se suivent et se ressemblent, le pas de temps annuel est privilÃ©giÃ©. L'eau douce est prÃ©sentÃ©e comme une ressource renouvelable mÃªme si les pas de temps de ce renouvellement sont trÃ¨s variables : de 9,5 jours pour l'eau de l'atmosphÃ¨re Ã plus de 1 000 ans pour les nappes souterraines (de Marsily, 2009).Â

Cette approche utilitariste a logiquement gÃ©nÃ©rÃ© une comprÃ©hension du cycle de l'eau douce comme le volume d'eau liquide qui "boucle le bilan" entre les ocÃ©ans et les continents en une annÃ©e.Â Ce volume est de l'ordre de 40 Ã 44 000

km3. La reprÃ©sentation qui en est faite est simple, d'un cÃ´tÃ© l'ocÃ©an, d'oÃ¹ s'Ã©vapore de l'eau, de l'autre un continent oÃ cette eau Ã©vaporÃ©e prÃ©cipite en gÃ©nÃ©rant de l'eau liquide qui retourne Ã l'ocÃ©an via les fleuves et les nappes souterr

C'est cette quantitÃ© sur laquelle les experts et les gestionnaires de l'eau ont raisonnÃ© dans les derniÃ¨res dÃ©cennies pour dÃ©terminer les ressources accessibles, disponibles et prÃ©levÃ©es. Cette approche s'est justifiÃ©e tant que les ressources paraissaient sans limites et que les pÃ©nuries ne semblaient pas insurmontables. Ce qui n'est plus le cas aujourd'hui.Â Â

Cette vision est biaisÃ©e car elle ignore une grande partie du cycle de l'eau. Sur nos continents en effet, les prÃ©cipitations ne sont pas de 44 000 km3 mais de 117 000 km3 (+/-5 000) chaque annÃ©e. Pourquoi cette diffÃ©rence ? Parce qu'en pratique l'eau qui tombe sur les continents ne provient pas uniquement des ocÃ©ans, mais des continents eux-mÃªmes. Quand l'eau de pluie tombe sur nos sols, une partie s'y infiltre : un sol peut stocker de 100 Ã 200 litres d'eau par mÃ¨tre carrÃ©, soit plus de 10 % de la pluie annuelle en France mÃ©tropolitaine. Lorsque le sol atteint son stockage maximal ou lorsque l'intensitÃ© de la pluie ne permet pas son infiltration, le supplÃ©ment gÃ©nÃ¨re du ruissellement ou des infiltrations vers les nappes souterraines. C'est ce supplÃ©ment qui cumulÃ© sur les continents gÃ©nÃ¨re les 40 Ã 44 000 km3 qui en moyenne rejoignent l'ocÃ©an chaque annÃ©e.

Or toute l'eau stockÃ©e dans le sol peut Ãªtre rÃ©Ã©vaporÃ©e pour gÃ©nÃ©rer de nouveaux nuages qui vont alimenter des prÃ©cipitations dans le mÃªme bassin versant, ou plus gÃ©nÃ©ralement ailleurs. L'eau se recycle ainsi sur les continents et dÃ©multiplie la pluie qui elle-mÃªme dÃ©multiplie les ruissellements, les stockages et les infiltrations. Ce recyclage joue un rÃ´le essentiel car il alimente continuellement de nombreuses fois par an tous les compartiments d'eau douce de la planÃ¨te. Il peut Ãªtre relativement local, ce qui permet d'imaginer une planÃ¨te oÃ¹ l'eau de pluie sur les continents serait mÃªme plus importante qu'aujourd'hui car continuellement recyclÃ©e. Il opÃ¨re aussi sur de longues distances, crÃ©ant des interdÃ©pendances entre territoires, au-delÃ des bassins hydrographiques transfrontaliers.Â

Il nous faut donc repenser un cycle de l'eau douce bien plus complexe, alimentÃ© non seulement par l'ocÃ©an mais par le recyclage continental, lui-mÃªme stimulÃ© par les sols et la vÃ©gÃ©tation. C'est ce recyclage qui explique la diffÃ©rence entre les 44 000 km3 d'eau du cycle classique et les 117 000 km3 d'eau de pluie annuels. Cette diffÃ©rence (73 000 km3) se retrouve stockÃ©e de maniÃ¨re dynamique dans les sols. Elle constitue ce qu'on appelle "l'eau verte", par opposition Ã l'eau dite "bleue" du cycle classique. Sur la planÃ¨te, l'eau verte reprÃ©sente donc 63 % de l'eau douce et 1,66 fois la quantitÃ© d'eau bleue. Elle est essentielle au fonctionnement de la biosphÃ¨re mais aussi Ã notre production agricole qui en dÃ©pend pour 80 % (Hoekstra et Mekonen, 2012). Pour autant ce rÃ´le fondamental, qui non seulement redistribue l'eau mais influe sur l'utilisation de l'Ã©nergie solaire, n'est gÃ©nÃ©ralement pas ou peu intÃ©grÃ© dans les raisonnements des gestionnaires de ressources en eau. Il l'est encore moins dans le domaine de l'amÃ©nagement du territoire et de l'usage des sols, alors que les dÃ©cisions prises dans ce domaine ont un impact direct et important sur la capacitÃ© des sols Ã stocker l'eau.

Quantifier le recyclage continental

Le fonctionnement du recyclage continental n'est pas facile Ã analyser et son impact difficile Ã quantifier. Le sujet a fait son apparition dans la littÃ©rature scientifique dans les annÃ©es 2010, stimulÃ© par les outils de suivi et de modÃ©lisation de l'Ã©volution du climat. Une des difficultÃ©s importantes rencontrÃ©es pour quantifier le recyclage est sa dÃ©pendance de l'Ã©chelle Ã laquelle on l'analyse : plus l'Ã©chelle est fine, moins le recyclage est important. Pour s'affranchir de cette difficultÃ©, un travail basÃ© sur des bilans d'eau atmosphÃ©rique trÃ¨s fins issus de donnÃ©es mÃ©tÃ©orologiques a quantifiÃ fois la proportion d'eau de pluie provenant des continents dans les prÃ©cipitations Ï•cÂ et la proportion d'Ã©vaporation continentale retombant en prÃ©cipitations sur les continents Îµc. Les complÃ©ments de ces proportions sont respectivement la proportion d'eau de pluie provenant de l'ocÃ©an ou celle d'Ã©vaporation retombant dans l'ocÃ©an.Â

Les cartes obtenues (Figures 1 et 2) intÃ©grant les donnÃ©es d'une dÃ©cennie (1999-2008) peuvent d'abord Ãªtre examinÃ©es sÃ©parÃ©ment. Elles soulignent l'importance du rÃ©gime des vents dominants. Les vents d'ouest des zones tempÃ©rÃ©es conduisent Ã un gradient de recyclage croissant d'ouest en est, particuliÃ¨rement marquÃ© sur le continent eurasiatique. Concernant les prÃ©cipitations, l'essentiel provient de l'ocÃ©an en Europe de l'Ouest alors qu'en Chine les trois quarts proviennent des continents plus Ã l'ouest. En Afrique et dans les zones Ã©quatoriales, oÃ¹ la circulation atmosphÃ©rique impose des alizÃ©s orientÃ©s d'est en ouest, c'est dans cette direction que la proportion de pluie d'origine continentale croÃ®t. C'est donc en Afrique de l'Est que la pluie provient de l'ocÃ©an et en Afrique de l'Ouest qu'elle provient de la partie est du continent.Â En AmÃ©rique latine, le recyclage des prÃ©cipitations dans la zone Ã©quatoriale se produit du nord-est vers le sud-ouest, la partie nord du BrÃ©sil alimentant en prÃ©cipitations la partie mÃ©diane du continent (comprenant une partie du BrÃ©sil lui-mÃªme). La forÃªt amazonienne qui gÃ©nÃ¨re un pompage ocÃ©anique (aussi appelÃ©e pompe biotique, Makarieva et al., 2013) est impliquÃ©e dans cette modification du rÃ©gime des vents dominants. Dans sa partie tempÃ©rÃ©e plus au sud, on retrouve une dominance des vents d'ouest et des proportions de recyclage faibles. En AmÃ©rique du Nord, le recyclage, d'ouest en est, est modÃ©rÃ© tout comme en Asie du Sud-Est et en OcÃ©anie.Â

Â

Figures 1 et 2Â - Cartes mondiales des taux de recyclage continental des prÃ©cipitations (Ï•c) et de l'Ã©vaporation (Îµc) d'aprÃ¨s van der Ent et al., 2010.

Â

Le complÃ©ment de cette carte est celle (Figure 2) du devenir de l'Ã©vaporation qui dans de nombreuses rÃ©gions peut conduire pour 80 Ã 90 % Ã des prÃ©cipitations en aval dans le sens des vents dominants. L'ouest de l'AmÃ©rique du Nord, le nord de l'AmÃ©rique latine, une trÃ¨s grande part du continent eurasiatique (Ã l'exception de sa partie la plus orientale), l'Afrique de l'Est et centrale sont dans ce cas. Trois rÃ©gions sont Ã la fois des lieux oÃ¹ les prÃ©cipitations sont fortement d'origine continentale et, en mÃªme temps, sources de prÃ©cipitations continentales. Ces rÃ©gions, le plateau tibÃ©tain, l'ouest du Congo et la partie est de la cordillÃ¨re des Andes au niveau du sud-ouest du BrÃ©sil et du PÃ©rou, sont donc des rÃ©gions oÃ¹ le recyclage local d'eau douce est important. Un tel recyclage local est favorisÃ© par la rencontre de vents porteurs d'humiditÃ© avec des zones montagneuses (Himalaya, Andes) ou avec de grandes zones forestiÃ¨res (Congo).

Ces cartes permettent de caractÃ©riser l'importance du recyclage de l'eau douce sur les diffÃ©rents continents. Les auteurs dÃ©finissent pour cela un ratio de dÃ©multiplication de l'eau de pluie ocÃ©anique, le rapport entre la quantitÃ© d'eau verte gÃ©nÃ©rÃ©e et l'eau bleue restituÃ©e. Ce ratio de dÃ©multiplication (mc) est de 1,67 Ã l'Ã©chelle de la planÃ¨te, le rapport mentionnÃ© plus haut entre les 73 000 km3 d'eau verte et les 44 000 km3 d'eau bleue (Tableau ci-dessous). Il varie entre 1,25 en OcÃ©anie et 1,95 en Afrique, et est logiquement plus Ã©levÃ© lorsque la pluie d'origine continentale domine (Figure 1). L'AmÃ©rique du Nord et l'Europe bÃ©nÃ©ficient d'un facteur logiquement moindre (1,45 et 1,53 respectivement). L'Asie bÃ©nÃ©ficie aussi d'un fort recyclage avec un facteurÂ mcÂ de 1,91. Le faible recyclage continental de l'OcÃ©anie et en particulier de l'Australie (mc = 1,25) est Ã mettre en relation avec le caractÃ¨re dÃ©sertique du centre de cet immense pays qui ne peut participer au recyclage.Â Â

Pour chaque continent, la part des prÃ©cipitations provenant de l'Ã©vaporation continentale (Ï•c) a aussi Ã©tÃ© Ã©valuÃ©e

(Tableau ci-dessous), elle varie entre 20 % en OcÃ©anie Ã 49 % en Afrique. La part de l'Ã©vaporation retournant sur les continents (Îµc) varie elle entre 29 % en OcÃ©anie et 66 % en Europe.Â Sur la planÃ¨te, 40 % des prÃ©cipitations proviennent de l'Ã©vaporation des continents et 57 % de l'Ã©vaporation continentale Ã nouveau prÃ©cipitÃ©e sur les continents, des valeu confirmÃ©es par la Commission mondiale sur l'Ã©conomie de l'eau (Commission mondiale pour l'Ã©conomie de l'eau, 2024, Ã paraÃ®tre).

Â

Â Tableau - Importance du recyclage des prÃ©cipitations (Ï•c) et de l'Ã©vaporation (Îµc)

et facteur de dÃ©multiplication de l'eau de pluie dÃ» au recyclage sur les diffÃ©rents continents et sur la planÃ¨te

Source : van der Ent et al., 2010

Continents
Ï•cÂ (%)
ÎµcÂ (%)
mcÂ

AmÃ©rique du Nord
31
42Â
1,45Â

AmÃ©rique latine
39
59Â
1,65Â

Afrique
49
62Â
1,95Â

Europe
35
66Â
1,53Â

Asie
48
58Â
1,91Â

OcÃ©anie
20
29Â
1,25Â

Total
40
57Â
Â 1,67

Â

Les valeurs et les cartes ci-dessus intÃ¨grent l'ensemble des flux annuels, mais le travail rÃ©alisÃ© permet de zoomer sur diffÃ©rentes pÃ©riodes de l'annÃ©e. Deux saisons ont Ã©tÃ© examinÃ©es, l'Ã©tÃ© et l'hiver de l'hÃ©misphÃ¨re nord dont la s continentale est la plus Ã©tendue. Le contraste entre ces deux saisons est important. Le recyclage est plus fort lorsqu'il fait plus chaud et qu'il est alimentÃ© par la transpiration des vÃ©gÃ©taux. En Ã©tÃ©, il est donc plus Ã©levÃ© que la moyenne annuelle dans l'hÃ©misphÃ¨re nord et plus faible dans l'hÃ©misphÃ¨re sud. En hiver, l'Ã©tÃ© austral, c'est l'inverse.Â Â Â

Implications pour la gestion de l'eau douce

L'eau bleue et l'eau verte sont intrinsÃ¨quement liÃ©es. L'eau bleue gÃ©nÃ©rÃ©e sur les continents dÃ©pend non seulement d l'eau en provenance de l'ocÃ©an mais aussi de l'eau verte des sols qui alimente le recyclage continental. Plus le cycle de l'eau gÃ©nÃ¨re de l'eau verte, plus il gÃ©nÃ¨re de l'eau bleue. Ã€ ce propos les forÃªts et les zones humides jouent un rÃ´le essentiel car elles augmentent le volume du rÃ©servoir d'eau verte qui s'accroÃ®t avec la profondeur d'enracinement : les forÃªts peuvent puiser de l'eau et en Ã©vaporer pour absorber le carbone de leur photosynthÃ¨se du printemps jusqu'Ã l'automne, voire davantage pour les forÃªts de conifÃ¨res.Â Â

Le schÃ©ma gÃ©nÃ©ral de la production d'eau douce sur la planÃ¨te ne dÃ©pend donc pas seulement des Ã©changes entre ocÃ©ans et continents mais des rÃ©troactions importantes entre les continents et l'atmosphÃ¨re. Les vents dominants (ouest-est aux latitudes Ã©levÃ©es et est-ouest dans la zone tropicale) fournissent le cadre gÃ©nÃ©ral mais le recyclage continental le complÃ¨te et l'influence. En particulier, les zones montagneuses peuvent conduire Ã un recyclage local (cas de l'Himalaya et de l'est de la cordillÃ¨re des Andes) et les grands biomes forestiers (Amazonie, Congo) fonctionnent comme une "pompe biotique" qui alimente le recyclage et peut modifier la circulation gÃ©nÃ©rale comme le montre le cas de l'Amazonie. De plus, les forÃªts ne font pas qu'Ã©vaporer l'eau, elles Ã©mettent aussi des substances (sels, bactÃ©ries, composÃ©s organiques volatils) qui peuvent dÃ©clencher les prÃ©cipitations (Ellison D. et al., 2016).Â Â

Le recyclage continental invite Ã revoir l'Ã©valuation des risques de pÃ©nurie d'eau et ce, de deux maniÃ¨res. Tout d'abord, lorsque le recyclage conduit Ã un retour de l'eau par prÃ©cipitations sur le mÃªme bassin versant, comptabiliser les usages de l'eau sans tenir compte de ce retour de l'eau Ã©vaporÃ©e conduit Ã surestimer la pression exercÃ©e sur les ressources. La taille du bassin versant joue ici un rÃ´le important : un grand bassin versant a une plus grande probabilitÃ© de bÃ©nÃ©ficier du recyclage. Utilisant une approche similaire Ã celle de van der Ent et al. (2010), Berger et al. (2014) ont pu calculer le taux de recyclage interne moyen annuel de l'Ã©vaporation au sein de 11 000 bassins versants de la planÃ¨te et en ont Ã©tabli une cartographie (Figure 3). Ce taux est proche de zÃ©ro dans une large bande allant de la Mauritanie Ã l'Ã‰thiopie. Il est compris entre 1 et 5 % dans de nombreux bassins versants proches des mers et des ocÃ©ans, mais s'Ã©lÃ¨ve entre 5 et 10 % pour des bassins versants situÃ©s au sein de continents et sous les vents dominants. Il est enfin supÃ©rieur Ã 20 % dans les bassins versants forestiers de l'Afrique centrale, des rÃ©gions proches de l'Himalaya et du nord-ouest de l'AmÃ©rique latine. Le bassin du Congo bat tous les records avec une valeur de 38 % de recyclage interne de son Ã©vaporation. Ces auteurs redÃ©finissent - et diminuent pour plusieurs bassins versants - le niveau de pression sur les ressources en eau en intÃ©grant ce facteur de recyclage interne. Cette mÃ©daille a un revers : le changement dans l'usage des sols sur le bassin peut aussi affecter le recyclage et donc la disponibilitÃ© de l'eau - verte et bleue - sur le bassin.

Par ailleurs, le recyclage continental introduit une nouvelle forme d'interdÃ©pendance entre pays de la planÃ¨te pour leurs ressources en eau douce. Les pays situÃ©s sous les vents dominants comme ceux de l'est de l'Eurasie, de l'ouest de

l'Afrique et du centre de l'AmÃ©rique latine dÃ©pendent de l'Ã©vaporation des rÃ©gions situÃ©es Ã l'amont. La maniÃ¨re dont pays de l'amont renforcent le cycle de leur eau verte, en maintenant leurs forÃªts et zones humides ou en favorisant l'infiltration de l'eau, a des impacts sur ces pays de l'aval dans des proportions qui restent Ã dÃ©terminer mais qu'on ne devrait plus ignorer dans le contexte actuel de dÃ©rÃ¨glement climatique.

Figure 3Â - Taux de recyclage interne (BIER) de l'eau douce de 11 000 bassins versants de la planÃ¨te, d'aprÃ¨s Berger et al., 2014.Â

Le cycle de l'eau en dÃ©sÃ©quilibre

Les nouvelles connaissances sur le cycle de l'eau permettent de mieux raisonner l'eau verte et bleue de maniÃ¨re holistique. Depuis une dizaine d'annÃ©es, 70 % de la population mondiale vit dans des rÃ©gions oÃ¹ l'eau bleue disponible ne satisfait plus la demande etÂ environ 2 milliards de personnes vivent dans des rÃ©gions oÃ¹ la quantitÃ© d'eau verte disponible n'est plus suffisante pour assurer leur sÃ©curitÃ© alimentaire. Ces rÃ©gions ne se superposent pas : par exemple, une partie du continent africain peut manquer d'eau bleue alors que l'eau verte est disponible ; ceci explique l'importance de l'eau verte pour l'agriculture pluviale dans les rÃ©gions oÃ¹ l'eau bleue est rare comme par exemple au Kenya ou en Afrique du Sud.

Depuis une vingtaine d'annÃ©es, des progrÃ¨s importants ont Ã©tÃ© faits dans la quantification des rÃ©serves totales d'eau douce en combinant eau bleue souterraine ou de surface (y compris sous forme de glace) et eau verte. Les changements observÃ©s documentent l'Ã©volution des ressources en eau et montrent que, pour la premiÃ¨re fois dans l'histoire de l'humanitÃ©, nous avons dÃ©stabilisÃ© le cycle de l'eau (qui a Ã©tÃ© remarquablement stable pendant les prÃ©cÃ©dents 12 000 ans de l'HolocÃ¨ne). Les causes sont le changement climatique - chaque degrÃ© supplÃ©mentaire de tempÃ©rature moyenne mondiale augmente de 7 % l'humiditÃ© dans l'atmosphÃ¨re -Â les changements dans l'usage des sols (dÃ©forestation, pertes de zones humides et d'autres systÃ¨mes qui stockent l'humiditÃ© dans les sols) et la surconsommation d'eau bleue.

Les changements observÃ©s permettent d'identifier des rÃ©gions particuliÃ¨rement exposÃ©es et illustrent le rÃ´le des changements dans l'usage des sols dans les pays en amont du recyclage des flux d'humiditÃ© terrestre : la dÃ©forestation ou la perte de zones humides au BrÃ©sil ou dans le bassin du Congo affectent ainsi la disponibilitÃ© de l'eau verte dans des rÃ©gions qui se situent sous le vent de ces bassins d'Ã©vapotranspiration. Les consÃ©quences peuvent Ãªtre sensibles, notamment pour les territoires qui dÃ©pendent de l'eau verte pour leur production agricole.Â

Certaines rÃ©gions voient leurs stocks d'eau augmenter : c'est le cas du sud-est asiatique et de l'Afrique centrale. D'autres les voient dÃ©cliner. Des zones fortement peuplÃ©es (nord-ouest de l'Inde, nord-est de la Chine) ou le sud-est europÃ©en sont particuliÃ¨rement affectÃ©es. D'autres, qui dÃ©pendent de l'irrigation voient leurs stocks d'eau diminuer, ce qui pourrait entraÃ®ner une baisse importanteÂ -Â jusqu'Ã 23 % -Â de la production mondiale de cÃ©rÃ©ales (Commission mondiale sur l'Ã©conomie de l'eau).

Conclusions

Une nouvelle comprÃ©hension de notre planÃ¨te est en train d'Ã©merger qui rÃ©vÃ¨le combien le fonctionnement de cette derniÃ¨re est influencÃ©e par le cycle de l'eau. Ã€ travers ce dernier, c'est aussi l'utilisation de l'Ã©nergie supplÃ©mentaire disponible par l'augmentation des gaz Ã effet de serre qui est en jeu, tant le mÃ©canisme d'Ã©vaporation implique d'Ã©nergie. Parvenir Ã stimuler le cycle de l'eau en favorisant l'eau verte (donc l'infiltration de la pluie, son utilisation par des arbres, sa conservation dans les sols) pourrait permettre de mieux contrÃ´ler les tempÃ©ratures des basses couches de l'atmosphÃ¨re.Â

Les implications seraient importantes aussi pour le cycle du carbone : en redistribuant l'eau, le recyclage continental stimule le bon fonctionnement des biomes de la planÃ¨te et donc leur capacitÃ© Ã absorber du carbone. Par-delÃ le cycle de l'eau c'est tout le fonctionnement de la biosphÃ¨re et ses impacts sur le carbone et l'intÃ©gritÃ© de la biosphÃ¨re qui est donc en jeu (Ellison D. et al., 2016).

Cette nouvelle comprÃ©hension du cycle de l'eau rÃ©vÃ¨le les interdÃ©pendances entre eau, Ã©cosystÃ¨mes et changement climatique. Les analyses rÃ©centes montrent que ce cycle est devenu plus instable, et cette instabilitÃ© a des consÃ©quences sur les Ã©cosystÃ¨mes, les sociÃ©tÃ©s et les Ã©conomies dans le monde entier. Les tendances actuelles mettent en question notamment les conditions de la sÃ©curitÃ© alimentaire et les flux d'Ã©changes agricoles.

Alors que l'eau -Â bleue notamment - est gÃ©nÃ©ralement considÃ©rÃ©e comme un enjeu local, le cycle hydrologique devient un enjeu mondial et requiert une action concertÃ©e Ã toutes les Ã©chelles gÃ©ographiques. Reste Ã inventer les formes de gestion multilatÃ©rale adaptÃ©es Ã cette nouvelle comprÃ©hension. Les rÃ©sultats obtenus dans la prÃ©vention et la gestion pluies acides montrent qu'une telle gestion est possible et laissent espÃ©rer que la communautÃ© internationale trouvera des moyens pour mieux gouverner les nuages. â–„

Â

Les auteurs

Daniel Zimmer est ingÃ©nieur agronome de formation. Il a menÃ© des recherches et conduit des expertises sur l'eau, et notamment l'eau agricole, dans le monde entier. De 2001 Ã 2009, il a Ã©tÃ© directeur du Conseil Mondial de l'Eau et a assurÃ© l'organisation de trois forums mondiaux sur l'eau. Il est aujourd'hui consultant dans les domaines de l'innovation, de l'eau et du changement climatique.

Xavier Leflaive est professeur associÃ© Ã l'UniversitÃ© Paris I Sorbonne et administrateur Ã la Direction de l'environnement de l'OCDE. Auparavant, il a travaillÃ© plus de dix ans comme consultant auprÃ¨s d'entreprises et d'administrations. DiplÃ´mÃ© en gestion et en sociologie, il est titulaire d'un doctorat de l'UniversitÃ© de Cambridge.

Â

ResSources

Revue PCMÂ - Ã‰ditÃ©e par l'UNIPEF, PCM est la revue des ingÃ©nieurs des Ponts, des Eaux et des ForÃªts et des diplÃ´m de l'Ã‰cole nationale des ponts et chaussÃ©es.

RÃ©fÃ©rences de l'article

Water Accounting and Vulnerability Evaluation (WAVE): Considering Atmospheric Evaporation Recycling and the Risk of Freshwater Depletion in Water Footprinting. Berger M., van der Ent R., Eisner S., Bach V., Finkbiener M., 2014. Environmental Science & Technology 48, 4521-4528

L'eau, un trÃ©sor en partage. De Marsily G., 2009. Ã‰ditions Dunod

Trees, forests and water. Cool insights for a hot world. Global Environmental change. Ellison D. et al., 2016. Global Environmental Change 45, 51-61

The Economics of Water. Valuing the Hydrological Cycle as a Global Common Good. Commission mondiale sur l'Ã©conomie de l'eau

The water footprint of humanity. Hoekstra A.Y., Mekonen M.M., 2012. PNASÂ 109

Where do winds come from? A new theory on how water vapor condensation influences atmospheric pressure and dynamics. Makarieva, A.M., Gorshkov, V.G., Sheil, D., Nobre, A.D., Li, B.-L., 2013. Atmospheric Chemistry and Physics 13, 1039-1056Â

Origin and fate of atmospheric moisture over continents. Van der Ent R.J., Savenije, H.G., Schaefli B., Steel-Dunne S.C., 2010. Water Resources Research 46Â