



Allons-nous bientôt manquer d'eau ?

Ghislain de MARSILY (P60) Professeur émérite à Sorbonne Universités, Université Pierre et Marie Curie
Membre de l'Académie des Sciences

Combien d'eau avons-nous ?

Certes, il a beaucoup plu en juin cette année, et le niveau des fleuves est monté dangereusement ici ou là. Mais cet événement extrême ne doit pas cacher que l'eau risque bientôt de manquer sur la planète, au moins localement, du fait de la croissance démographique, des modifications des habitudes alimentaires et du changement climatique... La planète Terre était, lors de sa formation, initialement anhydre ; elle a reçu l'essentiel de son eau au cours des premières centaines de millions d'années de son existence, et est proportionnellement la plus riche en eau des planètes telluriques (Mercure, Vénus, la Terre et Mars). Une origine cométaire de cette eau, initialement favorisée, est aujourd'hui sérieusement mise en doute, en particulier depuis la mission Rosetta de l'Agence spatiale européenne, qui a envoyé le 12 novembre 2014 la sonde Philae se poser sur la comète 67P/Churyumov-Gerasimenko et mesurer en particulier la teneur en Deutérium de sa glace : deux fois plus riche en Deutérium que l'eau de la Terre, ce type de comètes (au moins) ne peut être à l'origine de l'eau terrestre, les regards se tournent plutôt vers un bombardement par des astéroïdes rocheux ou ferreux contenant aussi un peu d'eau.

L'eau sur Terre est à 97% salée, c'est son évaporation par le rayonnement solaire qui alimente le «grand cycle de l'eau», par condensation et précipitation. 113 000 km⁵/an sont ainsi apportés aux continents, un volume énorme (1270 fois le volume du lac Léman) que l'on décompose en «eau bleue», celle qui tombe puis s'écoule dans les rivières et les nappes (32%), en «eau verte», celle stockée dans les sols, reprise par les racines et transpirée par la végétation (65%) et 3% en eau de fusion des icebergs (Hoekstra et Mekonnen, 2012). Notre ressource en eau, c'est pour l'essentiel ces apports du grand cycle de l'eau.

Le réchauffement climatique va accélérer ce cycle et en moyenne augmenter les

précipitations tout en déplaçant les zones climatiques vers les pôles, entraînant une aridification des latitudes méditerranéennes : 110 millions d'ha cultivables dans ces latitudes devraient être perdus, mais 160 millions d'ha gagnés dans les latitudes nordiques (Canada, Sibérie) par réchauffement. La fréquence des événements extrêmes (crues, sécheresses) devrait aussi augmenter. En France, une baisse de 10 à 20% des précipitations est attendue d'ici la fin du siècle, principalement en été.

Qu'en faisons-nous ?

Les Hommes prélèvent actuellement 13% du flux d'eau «bleue», dont un peu plus de la moitié seulement est «consommée», c'est-à-dire s'évapore et retourne à l'atmosphère (principalement l'eau d'irrigation) ; la partie «non consommée» reste liquide, s'infiltré et retourne dans les nappes et les rivières. Nous utilisons 9% de l'eau «verte» en agriculture pluviale, le reste alimente les écosystèmes naturels (forêts, savanes, zones humides, etc.). Nous prélevons aussi un peu d'eau «fossile» sur les stocks contenus dans les grands aquifères de quelques pays (Inde, États-Unis, Chine, Pakistan, Iran, Mexique, etc.) au rythme d'environ 100 km³/an (Doll et al, 2014), mais cette situation n'est pas durable : les stocks de ces aquifères seront épuisés en quelques décennies, nécessitant d'aller chercher de l'eau par canaux dans les grands fleuves Himalayens (Yang Tse, Gange, etc.) ou dans d'autres sites montagneux riches en eau. Du fait du réchauffement, la fusion des glaciers de haute montagne suralimente en eau certains fleuves issus des Alpes, Himalaya, Rocheuses, et surtout de la cordillère des Andes, où des Villes comme La Paz ou la côte pacifique du Pérou vivent pour l'essentiel aujourd'hui de ces eaux de fusion, qui se seront tarées d'ici moins de 30 ans.

La quantité d'eau domestique utilisée (fuites comprises) va de 20 à 1000 l/j par personne, en moyenne 300, soit 110 m³/an. En France, on l'estime entre 110 l/j dans le Nord et 230 l/j sur la Côte d'Azur. En 2050, la population mondiale devrait passer à 9,5 milliards, et à 11 milliards en 2100 (Gerland et al., 2014), avec une croissance inquiétante principalement en Afrique (resp. 1, 2,5 et 4,2 milliards en 2000, 2050 et en 2100...). Avec 300 l/j, la quantité totale d'eau nécessaire pour la planète en 2050 représenterait 1000 km³/an, soit 1% des précipitations, ou moins de 3% de l'eau «bleue». L'eau domestique n'est donc pas un problème de quantité, mais seulement de transport et de qualité, donc d'infrastructures d'adduction et de traitement. La planète ne manquera jamais d'eau domestique, si elle construit à temps ces infrastructures. La Ville de Windhoek (350.000 habitants) par exemple, capitale de la Namibie en plein désert, est alimentée en eau par un barrage et une conduite de 800 km, ainsi que par le recyclage de ses eaux usées retraitées, qui sont réinjectées dans la nappe locale... !

Pour l'eau industrielle, nous utilisons chacun environ 1 300 m³/an. Mais cette eau n'est «consommée» qu'à 10%, elle est rejetée à 90% dans le milieu, parfois réchauffée (eau de refroidissement) ou polluée, si elle n'est pas traitée.

L'eau agricole est le terme dominant (Griffon, 2006 ; Agrimonde, 2010 ; Leridon et al., 2011 ; Marsily (et al.), 2006, 2009, 2015a, 2015b). Quelques 10 000 km³/an d'eau sont nécessaires pour nourrir aujourd'hui 7,2 milliards d'habitants : 6 500 km³ d'eau «verte» tombant sur 1,5 milliards d'ha d'agriculture «pluviale» et 3,2 milliards d'ha de terres pluviales en pâtures. De plus, 3 500 km³ d'eau «bleue» (dont 50% se perdent) sont prélevés dans les rivières et nappes pour arroser 280 millions d'ha irrigués. C'est donc 8 000 km³/an en définitive qu'il faut pour nourrir les hommes, soit 1 150 m³/an pour chacun (dix fois plus que l'eau domestique). Pourtant, et c'est scandaleux, un milliard d'habitants sont encore sous-alimentés, en Afrique Sub-Saharienne et en Asie du Sud-Est, dans des zones très arrosées, et non pas dans la zone aride ; cette situation est due au sous-développement (production agricole inefficace et insuffisante, très faible utilisation d'intrants, absence d'aménagement : barrages, périmètres irrigués, etc., voir carte 1). De nombreux pays sont de plus incapables de produire la nourriture qu'il leur faut, par manque de terres cultivables ou d'eau : leur nombre d'habitants a dépassé la capacité à les nourrir à partir des ressources locales, et les habitudes alimentaires ont évolué ; ils doivent alors importer de la nourriture depuis les pays aux productions excédentaires (Amérique du Nord et du Sud, Australie, Thaïlande, certains pays d'Europe, etc.). Plus de 30% de la nourriture produite est ainsi transportée aujourd'hui d'un pays à un autre, surtout en bateau, on la désigne sous le nom «d'eau virtuelle», car les pays en déficit hydrique équilibrent ce déficit non pas en important de l'eau, mais de la nourriture, qui a nécessité de l'eau pour être produite. La Jordanie dépend ainsi pour 70% d'eau virtuelle venant de l'étranger, Djibouti pour plus de 90%. Pour payer ces importations, les pays importateurs vendent des matières premières énergétiques ou minérales, ont des activités industrielles ou tertiaires, du tourisme, ou encore ont des retours financiers par la diaspora émigrée. Certains pays exportent des produits agricoles à haute valeur (café, cacao, coton, etc.) et importent de la nourriture. Mais les pays importateurs sont alors dépendants, avec risques de pressions politiques et de tensions sur les prix en cas de pénurie globale. Aujourd'hui l'autonomie alimentaire est impossible à atteindre pour tous les pays de la zone aride (Afrique du Nord, Moyen-Orient, etc.) et demain pour toute l'Asie, faute de terres cultivables. On voit ainsi des pays comme la Chine acheter des territoires cultivables importants dans des pays en développement (surtout Afrique et Amérique du Sud) pour y cultiver eux-mêmes puis importer chez eux la nourriture dont ils ont besoin.

Carte 1 : Zones où sévit en 2000 un manque chronique de ressources en eau bleue, du point de vue physique ou économique. Rouge : Déficit physique; plus de 75% du débit des rivières est prélevé pour les besoins de l'homme, en tenant compte des recyclages. Rose : plus de

60% du débit des rivières est prélevé. Ces bassins vont bientôt devenir rouges. Orange : Déficit économique en eau. Les ressources sont abondantes par rapport aux usages, avec moins de 25% de prélèvements du débit des rivières, mais la sous-alimentation sévit. La capacité financière en moyens d'équipement fait défaut. Bleu : ressources en eau abondantes. Prélèvements inférieurs à 25% du débit des rivières. D'après IWMI (2007). Notez que le manque de nourriture ne sévit pas dans la zone rouge, grâce à l'importation d'eau «virtuelle», mais dans la zone orange, très arrosée.

L'eau de demain

En 2050, pour alimenter tout le monde au régime alimentaire actuel, il faudrait 11 000 km³ d'eau par an, ce qui est possible si les pays déficitaires ont les moyens d'acheter leur nourriture auprès des pays exportateurs. Si la consommation de viande, qui a un très gros effet sur les besoins en eau, s'accroît, il faudra 13 000 km³/an : il faut en effet 13 000 litres d'eau pour produire un kg de viande de bœuf nourri au grain, soit 13 fois plus que pour un kg de blé... !

Ces 11 000 à 13 000 km³/an se répartiront entre agriculture pluviale et irriguée : on va devoir partout augmenter les rendements ainsi que les surfaces cultivées. Mais qui dit «plus d'agriculture pluviale» dit «défrichement» et qui dit «plus d'irrigation» dit «construction de barrages». Cette dernière ou le défrichement auront nécessairement des conséquences environnementales délétères, mais si la population de la planète ne cesse d'augmenter, ne faut-il pas tenter de la nourrir, et ce de la façon la moins néfaste possible ? Le dessalement de l'eau de mer a un coût de l'ordre de 0,7 €/m³, et une consommation électrique de 2 à 4 kWh/m³ : c'est encore dix fois trop pour de l'eau d'irrigation, mais depuis peu acceptable pour l'eau domestique.

Il semble hélas que nous puissions à nouveau connaître des famines mondiales. En 1998, une forte sécheresse en Asie du Sud-Est a entraîné des achats massifs de céréales sur les marchés mondiaux, avec forte réduction des stocks, qui auraient été insuffisants si la sécheresse s'était prolongée. Or les stocks sont passés de dix mois de consommation mondiale il y a 20 ans à 2-3 mois aujourd'hui (FAO, 2015)... Ces années de forte sécheresse en zone de mousson sont liés à des épisodes El Nino très intenses, qui se produisent en moyenne deux fois par siècle, selon les statistiques établies d'après les registres paroissiaux en Amérique du Sud (Orltieb, 2000), et ont été observées en 1876-1878 et 1896-1900 au XIXe siècle, entraînant chaque fois environ 30 millions de morts (Sen et Drèze, 1999) ; au

XXe siècle, elles se sont produites en 1940 et 1998 (Lizumi et al., 2014 ; Rojas et al., 2014) ; l'effet du changement climatique sur la fréquence et l'intensité des événements El Nino est actuellement l'objet de débats.

À cette image des besoins de production agricole future, on peut opposer tout d'abord la réduction des gaspillages, car aujourd'hui environ 30% de la nourriture achetée est jetée dans les pays riches, ou perdue par mauvaise récolte ou mauvaise conservation dans les pays pauvres ; on peut opposer aussi la sobriété des régimes alimentaires, car la quantité d'eau nécessaire pour nourrir un terrien varie de 600 à 2 500 m³/an selon les pays, la consommation de produits animaux étant le facteur principal de variation : les pays riches consomment environ deux fois trop de produits animaux par rapport aux besoins nutritionnels, les pays émergents sont en moyenne au bon niveau, et les pays pauvres en moyenne un tiers en dessous des besoins. Mais pour satisfaire les besoins alimentaires des pays en déficit hydrique, il n'y a que trois options : transférer de l'eau par grands canaux, comme a décidé de le faire la Chine (ou pourrait se décider à le faire l'Inde), transférer de l'eau virtuelle sous forme de nourriture, ou en dernier ressort, accepter la migration des populations des pays déficitaires vers les pays riches, chassés de chez eux par des conflits sanglants et des émeutes de la faim (Wolf 2014). Le problème des migrants que nous rencontrons aujourd'hui n'est que le début d'une longue histoire, qui va s'intensifier avec les changements climatiques, la croissance démographique et l'augmentation de la consommation de produits animaux... •

Références

AGRIMONDE (2010). - Scénarios et défis pour nourrir le monde en 2050. Coordonné par S. PAILLARD, S. TREYER & B. DORIN. Editions Quae, Versailles : 295 p.

DOLL, R, MÜLLER SCHMIED, H., SCHUH, C., PORTMAN, F.T., EICKER, A. (2014) Global-scale assessment of groundwater depletion and related groundwater abstractions: combining hydrological modeling with information from well observations and GRACE satellites. *Water Resour Res.* doi:10.1002/2014WR015595
FAO Food and Agricultural Organization (2015) World food situation, cereals supply and demand brief.

<http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/en/> FAO Food and Agricultural Organization

GERLAND, R, RAFTERY, A., SEVCIKOVA, H., LI, N., GU, D., SPOORENBERG, T., ALKEMA, L., FOSDICK, B., CHUNN, J., LALIC, N., BAY, G., BUETTNER, T., HEILIG, G. & WILMOTH, J.

(2014). — World population stabilization unlikely this century. *Science*, 346 : 234237 ; doi: 10.1126/science.1257469.

GRIFFON, M. (2006). - Nourrir la planète. Odile Jacob, Paris : 456 p. HOEKSTRA, A., M. MEKONNEN (2012). — The water footprint of humanity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*. www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1109936109
IWMI (INTERNATIONAL WATER MANAGEMENT INSTITUTE) (2007). - Water for Food, Water for Life : the Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture. D. Molton (ed.), Earthscan, London, UK : 645 p.

LERIDON, H., MARSILY G. de, coord. (2011). - Démographie, climat et alimentation mondiale. EDP Sciences – Rapport de l'Académie des Sciences, Paris : 313 p (et www.academie-sciences.fr).

LIZUMI, T., LUO, J., CHALLINOR, A., SAKURAI, G., YOKOZAWA, M., SAKUMA, H., BROWN, M., YAMAGATA, T. (2014) Impacts of El Niño southern oscillation on the global yields of major crops. *Nat Commun* 5:3712. doi:10.1038/ncomms4712

MARSILY, G. de (2006) Les Eaux Continentales. EDP Sciences – Rapport de l'Académie des Sciences, Paris : 328 p (et www.academie-sciences.fr).

MARSILY, G. de (2009) L'eau, un trésor en partage. Dunod, Paris : 260 p.

MARSILY, G. de (2015a) L'eau, une ressource renouvelable convoitée et inégalement répartie. *Ann. Soc. Géol. du Nord*. T. 22 (2e série), Décembre 2015.

MARSILY, G. de, ABARCA DEL RIO, R. (2015b) Water and Food in the 21st Century. *Surveys in Geophysics*, v.36, n°4, July 2015, DOI 10.1007/s 10712-015-9335.

ORTLIEB, L. (2000). - The documented historical period of El Niño events in Peru : an update of the Quinn record (16th to 19th centuries). In: DIAZ H.F. & MARKGRAF V. eds, *El Niño and the southern oscillation. Multiscale variability and local and regional impacts*. Cambridge University Press: 496 p.

ROJAS, O., LI, Y., CUMANI, R. (2014) Understanding the drought impact of El Niño on the global agricultural areas: an assessment using FAO's Agricultural Stress Index (ASI), FAO, Climate, energy and tenure division (nRc) publications. ISBN: 978-92-5-108671-1, ISSN 2071-0992.

SEN, A., DRÈZE, J. (1999). - Omnibus. Oxford University Press, New Delhi (Inde): 945 p.

WOLF, A. (2014) Where will the world's water conflicts erupt? A heatmap of war over water.

Peek K (ed). Popular Science, Posted June 13, 2014.

<http://www.popsci.com/article/science/wherewill-worldswater-conflicts-erupt-infographic>