

Ecole Normale Supérieure

CERES-ERTI

Centre d'Enseignement et de Recherches sur l'Environnement et la Société

Environmental Research and Teaching Institute

ATELIER L'EAU Qualité vs Quantité

1^{er} semestre - Année 2012-2013

Globalization of water
Commentaires et critique d'un concept
appliqué à la gestion mondiale de l'eau

LAZARD Arnaud

Globalization of water, commentaires et critiques.

Arnaud Lazard
Cogmaster, M2

Introduction

L'ouvrage *Globalization of Water* (Hoekstra and Chapagain, 2008) est la forme publiée de la thèse d'Ashok Chapagain, en collaboration avec Arjen Hoekstra. Il s'agit d'un regroupement des toutes premières publications traitant du sujet de la mondialisation de l'eau, et de la réinterprétation des difficultés de gestion de l'eau à travers un point de vue global. Il interroge le rôle du commerce international en céréales (*crop trade*), et ultérieurement d'autres types de biens, sur la disponibilité de l'eau dans les pays commerçants. Pour ce faire, il utilise une notion inventée par Allan 1998(cit) (Allan, 1998, 2003) d'eau virtuelle (Virtual Water, VW) et reprend un concept écologique développé dans les années 1990 par Wackernagel d'empreinte écologique(Wackernagel and Rees, 1996) : l'empreinte en eau (Water Footprint, WFP). Les volumes d'eau virtuelle échangés grâce au commerce international peuvent ainsi être interprétés comme une variable déterminante de l'organisation économique locale. Les relations entre problèmes d'eau à l'échelle *locale* et règles tacites du commerce d'eau virtuelle à l'échelle *globale* sont donc une constante dans la variété des questions soulevées par l'introduction des deux concepts précédents. La force de l'approche décrite dans cet ouvrage est d'analyser les problèmes liés à l'eau de manière *quantitative*. L'interrogation principale porte sur la forme du réseau d'interconnexions de l'utilisation d'eau locale et d'exportation d'eau virtuelle, à grande échelle, ainsi que de la viabilité de certains modèles économiques dans les pays où l'eau est une ressource rare. Nous nous pencherons sur les méthodes de construction de ces indices ainsi que leur véritable signification. Nous aborderons ensuite la manière dont sont combinés les flux d'eau virtuelle et l'empreinte en eau des différents pays pour soutenir l'analyse économique proposée. Nous terminerons notre analyse sur les questions épistémologiques soulevées par l'utilisation des tels indices, les différentes critiques qui lui ont été adressées après la parution de l'ouvrage ainsi que les solutions envisagées pour subvenir à leurs insuffisances.

1] Qu'est-ce que l'eau virtuelle?

« In the world of today, people in Japan indirectly affect the hydrological system in the United States and people in the Netherlands indirectly impact on the regional water systems in Brazil »
(Chapagain and Hoekstra, 2008)

i) Présentation des concepts

L'analyse de la disponibilité des ressources en eau est jusqu'à ce jour particulièrement étudiée à l'échelle locale que constituent les bassins versants. Les auteurs saluent cette approche mais tentent de la mettre en perspective avec la mondialisation de l'économie actuelle : il devient important de considérer les usages de l'eau d'un point de vue global ! L'eau virtuelle est un concept développé par Allan (Allan, 1998) représentant le volume d'eau nécessaire pour produire un bien, une commodité, et qui s'y retrouve ainsi « intégré ». Tous les biens commerciaux ont un contenu en eau virtuelle non nul, c'est pourquoi une analyse détaillée de l'ensemble des marchandises échangées nous permet de « traduire » les échanges commerciaux à l'échelle mondiale en échange d'eau virtuelle, en flux d'eau virtuelle. L'ensemble des biens consommé annuellement par un pays peut donc être vu un volume d'eau virtuelle. Ce volume utilisé par l'ensemble des pays est nommé empreinte en eau de l'humanité (*Water FootPrint of Humanity*), concept développé par les auteurs pour décrire l'hétérogénéité de l'utilisation d'eau douce (Hoekstra and Hung, 2005). Il peut aussi être attribué à chaque pays ; tous peuvent se voir assignés une certaine WFP, qui elle-même peut être subdivisée en deux composantes, la première interne – correspondant à volume de VW produit et consommé par les habitants du pays, la seconde externe – correspondant au volume de VW importé via commerce international. Les importations peuvent donc être interprétées comme de nouvelles sources d'eau !

La WFP peut être divisé en plusieurs composantes, comme le propose FalkenMark (Falkenmark, 2003). L'eau *verte* est celle qui est celle qui est évapotranspirée, au niveau du champ dans lequel sont produits les biens agricoles. L'eau *bleue* est l'eau de l'irrigation. Cette dernière est la composante principale des biens domestiques ou industriels, tandis que la première constitue pour une large majorité le contenu en eau virtuelle des biens issus de l'agriculture. La troisième composante relevée par les auteurs est le contenu en eau *grise*, c'est-à-dire l'eau issue de la pollution. Elle est formellement définie comme le volume d'eau nécessaire pour diluer un polluant rejeté dans l'environnement pour atteindre un taux satisfaisant au regard des normes sanitaires internationales.

Enfin, l'empreinte en eau est un concept qui permet de relier deux pays très éloignés, dès lors qu'ils partagent des relations commerciales non-négligeables portant sur un bien « dense » en eau. Deux autres indices peuvent être construits sur la base de la WFP et de la VW : la balance commerciale en eau, ainsi que la dépendance en eau. Comment tous ces indicateurs sont-ils calculés ? Que permettent-ils de mesurer ?

ii) Construction des indicateurs

L'eau virtuelle a été définie comme le contenu d'eau incorporé dans un produit quelconque. Cette variable est une estimation conservatrice, elle reflète la quantité d'eau *nécessaire* à un processus de production, et non pas la quantité d'eau *utilisée* dans les faits. La VW sous-estime donc fréquemment les quantités d'eau intégrées dans les biens commerciaux. La variété de produits impose donc une variété de mesures : le contenu des biens agricoles primaires et secondaires est estimé à partir des bases de données fournies par la FAO et de l'ITC ; celui des biens industriels est estimé par une approche top-down à partir des PIB locaux (données de l'OMC) ; et celui des biens domestiques l'est à travers une estimation locale des usages de l'eau.

Dans le premier cas – celui des biens agricoles, la construction est très simple.
 - Le contenu en eau virtuel (VWC) d'une ressource primaire est calculé à partir de la productivité agraire et la quantité d'eau évapotranspirée et fournie par l'irrigation. La quantité d'eau évapotranspirée annuellement par un champ est déterminée par un modèle relativement complexe : l'équation de Penman-Monteith (Hoekstra and Hung, 2005). L'estimation finale est directe :

$$VWC (m^3/ton) = \frac{WaterRequirement(m^3/yr)}{Productivity(ton/yr)}$$

- De même, pour le calcul du VWC des biens agricoles secondaires (animaux), il suffit de calculer la somme du volume d'eau nécessaire à la production de sa nourriture avant son abattage et de l'eau nécessaire à ses besoins en eau (très faibles).

- L'estimation du VWC des biens industriels est plus complexe. Une approche bottom-up est impossible ; le calcul, produit par produit du VWC est impraticable et relativement inutile. Une approximation majeure est ici faite, le VWC est calculé tous biens confondus pour un même pays :

$$VWC (m^3/\$) = \frac{WR \text{ in the Industrial sector}(m^3/yr)}{Industrial \text{ Component of GDP } (\$/yr)}$$

Nous allons voir que pour un produit industriel particulier, une analyse détaillée est envisageable, mais souvent très longue car nécessitant une description précise du processus de fabrication. La moyenne mondiale est actuellement de 80m³ par dollar de bien industriel, et ce chiffre est éminemment variable d'un pays à l'autre (10m³/\\$ pour le Canada, 20 m³/\\$ pour la Chine).

Product	Virtual-water content (liters)
1 sheet of A4 paper (80 g/m ²)	10
1 tomato (70g)	13
1 potato (100g)	25
1 cup of tea (250 ml)	35
1 slice of bread (30 g)	40
1 orange (100 g)	50
1 apple (100 g)	70
1 glass of beer (250 ml)	75
1 slice of bread (30 g) with cheese (10 g)	90
1 glass of wine (125 ml)	120
1 egg (40g)	135
1 cup of coffee (125 ml)	140
1 glass of orange juice (200 ml)	170
1 bag of potato crisps (200 g)	185
1 glass of apple juice (200ml)	190
1 glass of milk (200 ml)	200
1 hamburger (150 g)	2,400
1 pair of shoes (bovine leather)	8,000

Tableau n°1 : Valeurs standards de VWC par biens

Remarquons aussi que ces mesures sont particulièrement variables d'un pays à l'autre : un kilogramme de café produit aux USA nécessite 5790m³, alors qu'il en nécessite 33500 au Mexique ! Notons aussi que toutes ces quantités peuvent être décomposables en termes d'eau verte, d'eau bleue et d'eau grise, mais les détails de calcul deviennent rébarbatifs.

iii) Estimation du VWC d'une tasse de café

Le VWC des biens industriels, ou des biens agricoles transformés, peut être estimé plus précisément, mais les détails de calculs doivent être rigoureux, et sont souvent trop importants pour être adéquatement mesuré. L'exemple discuté dans un chapitre entier est celui de la tasse de café. Le WTC d'un kilogramme de café à la sortie du champ est de $3.10^3 m^3$. Mais il faut aussi compter le processus de transformation industriel : l'extraction des grains de café est une étape gourmande en eau ; le lavage des grains l'est aussi ; l'utilisation de machines complexes peut être vue comme une dépense d'eau provenant d'un bien industriel ; le séchage et la perte de densité du café sont majoritairement responsables de l'augmentation de la densité en eau virtuelle, par diminution nette de la masse de café. Au final, $22500 m^3$ d'eau sont nécessaires à la production d'un kilogramme de café prêt à être vendu. Ce qui revient, lorsque l'on compte 7g de café par tasse, à une moyenne de 140L d'eau virtuelle par tasse. A elle seule, l'empreinte en eau mondiale de la consommation de café peut ainsi être évaluée à $2.6 km^3/an$!

II] L'empreinte en eau et les flux d'eau virtuelle

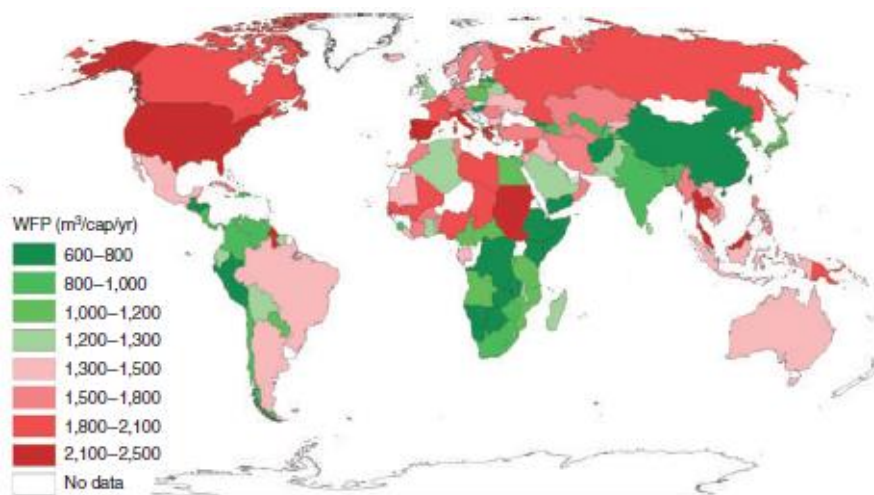
« One sixth of the water problem in the world can be traced back to production for export » (p.28)

i) Définition

Pour rendre compte de la consommation d'eau d'un pays en particulier, l'estimation de ses dépenses intérieures en eau n'est pas un bon indicateur car la plupart des biens consommés dans un pays sont produits ailleurs. Ainsi, il est possible d'évaluer la demande globale d'un pays en eau en allant regarder la consommation intérieure d'un large panel de produits. L'empreinte en eau (WFP) est un concept qui a été introduit dans ce but précis : elle est définie comme la somme des contenus en eau virtuelle consommée par an dans une région précise. En tant qu'indicateur agrégé, il reflète grossièrement l'impact de la consommation humaine en eau sur les ressources disponibles. Certaines approximations sont aussi faites ici, et l'approche *top-down* est la règle.

$$\text{Définition: } WFP (m^3/yr) = \sum_{i=1}^p \text{Consumption}(i)(ton/yr) * VWC(i)(m^3/ton)$$

$$\text{Calcul: } WFP = \text{Total Water Use} - \text{Net Virtual Water Exportation}$$



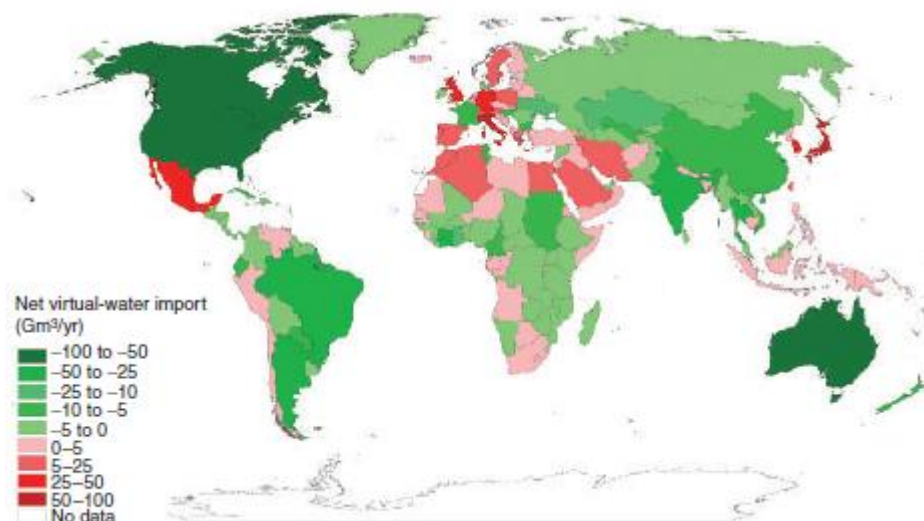
Carte n°1 :
 Empreinte en eau par pays,
 volume en m³/Hab/an
 Equivalent de l'impact
 écologique de l'utilisation de
 l'eau douce.

Au total, l’empreinte en eau de l’humanité (WFPH) est estimée à 7450km³/an (Hoekstra and Mekonnen, 2012), partagée entre eau bleue et eau verte à raison des deux-tiers pour la dernière. Revenons plus en détails dans ces résultats quantitatifs. La proportion de la WFPH déterminée par les biens agricoles est de 85% ! Dans les débuts de l’utilisation de cet indice, les auteurs se sont d’ailleurs focalisés sur l’analyse de l’empreinte en eau issue de l’agriculture (Hoekstra and Hung, 2005). Aussi, les biens industriels n’entrent presque pas en jeu, et comptent pour une petite dizaine de pourcents. La proportion d’eau grise dans la WFP de l’humanité est négligeable. De surcroît, les besoins domestiques sont exclusivement assurés par l’eau bleue, à hauteur de 16% de l’usage total en eau bleue, une moitié allant dans la production de biens agricoles, le reste dans les biens industriels. Enfin, l’empreinte par tête par pays dépend aussi très fortement du développement technologique de ce pays : les pays pauvres utilisent souvent des techniques peu productives sur des champs à haut potentiel d’évapotranspiration.

ii) Flux d’eau virtuelle

Les valeurs précédemment calculées servent de fondement à l’analyse plus générale des *flux d’eau virtuelle* résultant du commerce de denrées agricoles et de biens industriels. Une étude approfondie des bases de données de la FAO et de l’WTO fut nécessaire : environ 400 produits agricoles ont été passés en revue, dont une centaine de produits animaux. L’impact des produits industriels a été évalué à travers la valeur d’échange de ces biens (nous avons vu que leur VWC était normalisé par le dollar). L’échange de biens est l’équivalent direct de flux d’eau virtuelle.

Le volume total des échanges en eau a été estimé à 1200km³/an. Cela signifie – en le rapportant à la WFPH– que 16% de l’eau utilisée sur Terre donne lieu à de l’exportation. Les parts respectives du secteur primaire et secondaire sont évaluées à 78/22. Sur ces principes peuvent être construites des cartes représentant les échanges d’eau virtuelle et calculée la balance en eau.



Carte n°2 :

Balance commerciale
en eau virtuelle, en
km³/an

Les exportations d’eau
ne sont absolument
pas reliées à la WFP !

Une analyse rapide mettra en avant les exports très importants des USA et de l’Australie, les exports modérés des pays asiatiques, ainsi que les imports nets pour une grande partie de l’Europe, de la péninsule arabique, le Machrek et quelques pays épars d’Afrique et d’Amérique latine. Il est important de noter que cette approche descriptive n’est en aucun cas explicative des différentes importations d’eau virtuelle. Aucun pays ne choisit actuellement explicitement d’économiser son

eau. Les auteurs présentent toutefois une manière de réaliser ces économies globales : il s'agirait de favoriser les échanges de produits denses en eau depuis les pays possédant une grande productivité en eau virtuelle vers les pays à faible productivité. Ces échanges peuvent par exemple se réaliser à travers des biens agricoles (particulièrement denses). De ce type d'accord résulterait une meilleure efficacité globale ainsi qu'une tendance à une meilleure allocation de l'eau dans la production mondiale (tous biens confondus). Des accords entre pays pourraient ainsi engendrer des économies en eau pour les deux à travers une modification des lignes de productions agricoles et industrielles.

iii) Viabilité du concept

Daniel Renault (Renault, 2003) a présenté les principes qui pouvaient gouverner les réallocations efficaces de la production de produits denses en eau. Il en dénombre cinq : les volumes d'eau échangés doivent être les véritables estimations du VWC, et non l'approche conservatrice présentée ici ; les réallocations doivent être basées sur un principe de maximisation de l'utilité marginale de la productivité de l'eau incorporée, ces réorganisations doivent avant tout maximiser les profits monétaires plutôt que les économies d'eau ; le troisième principe est celui d'équivalence nutritionnelle, à l'intérieur même d'un pays, des économies d'eau peuvent être faites sans perte d'autonomie de production, en réallouant les champs à des cultures nutritionnellement plus efficaces ; l'utilisation de l'eau doit être substituable (!), ce qui n'est pas forcément le cas ; enfin, les modèles économiques complexes doivent prendre en compte la dépréciation temporelle de l'eau virtuelle. Cette analyse rapide démontre que les économies d'eau peuvent, et doivent, aller de pair avec les véritables économies d'argent. Les importations d'eau à travers la nourriture génèrent ainsi systématiquement un bénéfice (au défaut de l'autonomie alimentaire), tout comme l'irrigation des champs augmente leur productivité. L'eau virtuelle peut être un outil économétrique utile aux décisions politiques, à condition de savoir l'utiliser et de prendre en compte ces quelques considérations.

III] Limites de ces indicateurs

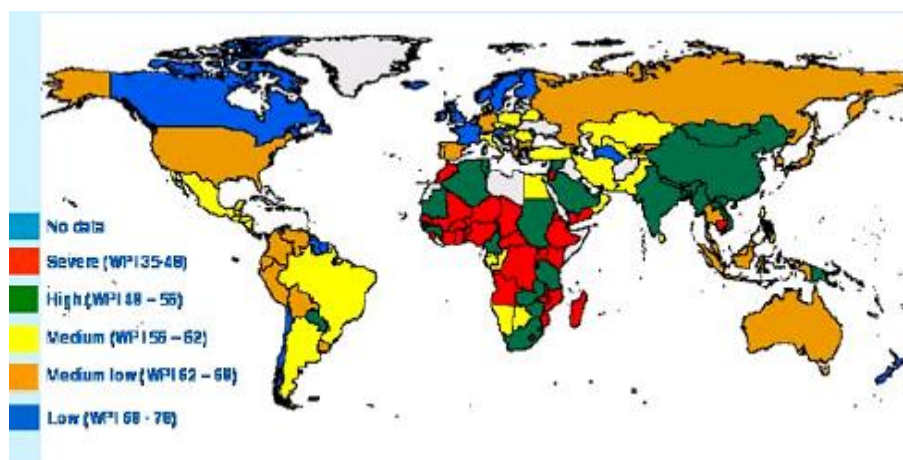
Les outils développés par Chapagain et Hoekstra sont intéressants mais leur portée est assez limitée. Tout d'abord, en termes de volume, l'eau utilisée par l'homme ne participe au commerce international sous forme d'eau virtuelle qu'à hauteur de 16%. Ensuite, les économies d'eau maximales réalisées par une réallocation ne se préoccupant *que* des économies d'eau s'élèvent à 5% (cit p.42). Si le concept d'eau virtuelle peut être utilisé dans certains cas bien précis (la politique agricole intérieure d'un pays peut probablement en profiter), les concepts d'eau virtuelle et d'empreinte en eau laissent de côté un grand nombre de problèmes liés à l'utilisation de l'eau. Les pays peuvent être définis comme pauvres en eau (rapport entre leur empreinte en eau sur le volume d'eau renouvelable par an supérieur à 1) sans que cette « pauvreté » ne soit jamais ressentie par sa population. A l'inverse, les pays « riches en eau » peuvent ressentir un manque d'eau. Nous pourrions citer le Danemark dans le premier cas, et le Laos dans le second. Le concept d'eau virtuelle est un peu trop naïf, un peu trop large, pour pouvoir avoir une influence quelconque sur les politiques publiques. Cet indicateur ne peut pas se traduire tel quel en une action économique.

De nombreux autres indices sur l'eau existent ! Molle (Molle F and Mollinga P, 2003; Mollinga et al., 2008) définit les différents niveaux auxquels le manqué d'eau peut se faire sentir, et

regrette l'absence d'indicateurs les prenant en compte. Le manque d'eau peut être physique (l'accès à l'eau est limité car l'eau est très rare dans l'environnement), économique (accès limité par manque de moyens), managérial (par manque d'infrastructures publiques) ou encore politique et institutionnel.

« *Indicators are communication and political tools [...] the purpose of an index is rather political than statistical* » (Molle F and Mollinga P, 2003)

Un développement intéressant vers ce type d'indicateur composite est le Water Poverty Index (WPI). Il a été mis au point de manière à intégrer cinq dimensions, cinq composantes, du rapport à l'eau (Lawrence et al., 2002). Ces cinq axes sont évalués sur 20 points et le processus d'agrégation est simplement la sommation de chacune de ces valeurs. La quantité d'eau virtuellement disponible par habitant est évaluée dans le premier volet ; le deuxième chiffre l'accès de la population à l'eau (potable, domestique non potable, d'irrigation) ; le troisième intègre le PIB et l'IDH du pays en question ; le quatrième évalue la quantité d'eau utilisée pour les besoins domestiques ; et enfin le dernier volet s'intéresse à quantifier l'aspect « écologique » de l'utilisation de l'eau, à travers la mesure de la qualité et de la pollution de l'eau ou bien des régulations mises en place pour protéger la biodiversité. L'index a été calculé facilement pour tous les pays du monde : il rend mieux compte des difficultés de gestion de l'eau en replaçant l'aspect quantitatif de son utilisation dans une perspective plus *locale*. Les politiques publiques, avant toute restructuration (si structure il y a) de l'agriculture, devrait davantage se pencher sur les problèmes d'accessibilité et d'utilisation potentielle de l'eau, plutôt que de son commerce virtuel (Rijsberman, 2006).



Carte n°3 : WPI (/100)

Conclusion :

La tentative de construction de nouveaux indicateurs de l'utilisation de l'eau par Chapagain et Hoekstra est louable. L'empreinte en eau est un concept permettant d'évaluer clairement la quantité d'eau utilisée par habitants dans un pays donné, et elle corrèle très largement avec le niveau de développement socio-économique. Aussi, le concept d'eau virtuelle permet de rendre compte d'une partie substantielle (16%) de l'utilisation de l'eau sur Terre, en l'assimilant à de l'eau exportée. La construction de ces derniers indices est relativement aisée et ne requiert que l'accès aux bases de données de la FAO et de la WTO ; les analyses ne sont pas très poussées et les chiffres sont

« parlant ». Si des solutions pour permettre des économies d'eau sont envisagées, nous n'avons pas trouvé dans leur ouvrage d'argument convainquant en leur faveur de la nécessité d'une réorganisation du commerce mondial, de la division internationale du travail ou encore des politiques publiques locales. Car à vouloir créer des indicateurs trop larges, on crée des indicateurs relégués à un rôle d'*information*, déconnectés de toute conception microéconomique ou sociologique de ce que serait une bonne utilisation de l'eau. Les notions abordées ici ne donnent pour le moment pas de pistes sérieuses quant aux réformes à mener vers l'amélioration du rapport de l'humanité à l'eau.

Bibliographie :

- Allan, J. a., 1998. Virtual Water: A Strategic Resource Global Solutions to Regional Deficits. *Ground Water* 36, 545–546.
- Allan, J.A., 2003. Virtual Water - the Water, Food, and Trade Nexus. Useful Concept or Misleading Metaphor? *Water International* 28, 106–113.
- Chapagain, A.K., Hoekstra, A.Y., 2008. The global component of freshwater demand and supply: an assessment of virtual water flows between nations as a result of trade in agricultural and industrial products. *Water International* 33, 19–32.
- Falkenmark, M., 2003. Freshwater as shared between society and ecosystems: from divided approaches to integrated challenges. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B* 358, 2037–2049.
- Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., 2008. *Globalization of Water: Sharing the Planet's Freshwater Resources*. Wiley.
- Hoekstra, A.Y., Hung, P.Q., 2005. Globalisation of water resources: international virtual water flows in relation to crop trade. *Global Environmental Change* 15, 45–56.
- Hoekstra, A.Y., Mekonnen, M.M., 2012. The water footprint of humanity. PNAS.
- Lawrence, P., Meigh, J., Sullivan, C., 2002. The Water Poverty Index: an International Comparison (Development and Comp Systems). EconWPA.
- Molle F, Mollinga P, 2003. Water poverty indicators: conceptual problems and policy issues. *Water Policy* 5, 529–544.
- Mollinga, P.P., Bhat, A., Cleaver, F., Meinzen-Dick, R., Molle, F., Neef, A., Saravanan, S., Wester, P., 2008. Water, Politics and Development: Framing a Political Sociology of Water Resources Management. *Water Alternatives* 1, 7–23.
- Renault, D., 2003. Value of virtual water in food: Principles and virtues. Hoekstra, AY (Ed.).
- Rijsberman, F.R., 2006. Water scarcity: Fact or fiction? *Agricultural Water Management* 80, 5–22.
- Wackernagel, M., Rees, W.E., 1996. Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth. *New Society Publishers*.