

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/357016786>

Sécurité hydrique et sécurité alimentaire dans la région de l'Afrique du Nord-Ouest

Chapter · January 2019

CITATIONS

0

READS

33

3 authors, including:



Jamel Chahed

University of Tunis El Manar

145 PUBLICATIONS 538 CITATIONS

SEE PROFILE



Abdelkader Hamdane

Institut national agronomique de Tunisie (INAT)

48 PUBLICATIONS 61 CITATIONS

SEE PROFILE

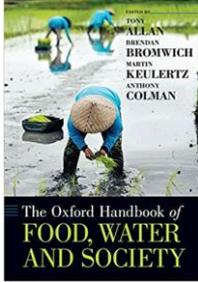
Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



The Holistic Water Balance: Blue, Green & Virtual Water [View project](#)



Single Phase and Multiphase Turbulent Flows (SMTF) in Nature and Engineering Applications [View project](#)



Food and Water Management in Northwest Africa

Mustapha Besbes , Jamel Chahed , and Abdelkader Hamdane

The Oxford Handbook of Food, Water and Society

Edited by Tony Allan, Brendan Bromwich, Martin Keulertz, and Anthony Colman

Print Publication Date: Oct 2019 Subject: Physical Sciences, Environmental Science, Earth Science, Hydrology

Online Publication Date: May 2018 DOI: 10.1093/oxfordhb/9780190669799.013.28

Abstract and Keywords

Northwest African countries (NA) consume 70 percent of their renewable water resources, and groundwater overdraft has become a major problem. Blue water irrigation represents 17 percent of overall water resources and is economically significant. Green water represents 83 percent, but is not yet well evaluated, and is not considered in national water strategies, along with virtual water embedded in international food trade. Irrigation enhances local agrifood production but it has not changed the proportion of staple foods. The region remains a major net food importer and, largely due to population increase, water dependency increased from 30 percent to 50 percent between 1970 and 2010. Population forecasts predict that water demand will continue to grow, and could reach more than three times the present level. Given the blue water status, NA must develop approaches to cope with water–food challenges, based on international virtual water flow optimization and better green water valorization.

Keywords: [Water footprint](#), [blue water](#), [green water](#), [virtual water](#), [demography](#), [Algeria](#), [Libya](#), [Morocco](#), [Tunisia](#), [North Africa](#)

Mustapha Besbes

University of Tunis El Manar, National Engineering School of Tunis, Laboratory of Modelling Hydraulics and Environment, LR99ES19, 1002, Tunis, Tunisia

Jamel Chahed

University of Tunis El Manar, National Engineering School of Tunis, Laboratory of Modelling Hydraulics and Environment, LR99ES19, 1002, Tunis, Tunisia

Abdelkader Hamdane

University of Carthage, National Agronomic Institute of Tunis, 1084, Tunis, Tunisia

*Traduction
Française*

SECURITE HYDRIQUE ET SECURITE ALIMENTAIRE DANS LA RÉGION DE L'AFRIQUE DU NORD-OUEST

Mustapha BESBES⁽¹⁾, Jamel CHAHED⁽¹⁾, Abdelkader HAMDANE⁽²⁾

⁽¹⁾ Université de Tunis El Manar, Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis, Laboratoire de Modélisation Hydraulique et Environnement, LR99ES19, 1002, Tunis, Tunisie

⁽¹⁾ Université de Carthage, Institut National Agronomique de Tunis, 1084, Tunis, Tunisie

Traduction française

Pour citer le document original

Besbes M., Chahed J., Hamdane A. (2019) Water-Food issues and prospects in the North West African region. In: The Oxford handbook of food, water and society. Allan, T., Bromwich, B., Keulertz, M., & Colman, A. (Eds.), Oxford University Press.

<https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780190669799.013.52>

RESUME

Dans un contexte de rareté de l'eau, les pays de l'Afrique du Nord Ouest (NWA) consomment 70% de leurs ressources en eau renouvelables. La surexploitation des eaux souterraines, estimée à près de 50%, est devenue un défi majeur pour la conception et la mise en oeuvre de politiques durables d'allocation et de gestion de l'eau dans la région. Cette situation menace l'avenir de l'irrigation, où la contribution des eaux souterraines est déterminante : 100 % en Libye, 68 % en Tunisie, 54 % en Algérie. L'Eau Bleue utilisée dans la production agricole irriguée ne représente en termes quantitatifs qu'une partie relativement faible de la consommation totale d'eau agricole (17%), mais sa contribution est très importante en termes de productivité et de rentabilité économique. L'eau naturellement utilisée dans les productions pluviales et pastorales des pays de l'Afrique du Nord Ouest, l'Eau Verte, est beaucoup plus importante et représente 83%, y compris les productions animales issues de l'élevage extensif. Cependant, l'Eau Verte est mal connue et malgré son importance, n'est pas encore prise en compte dans les stratégies nationales. Il en va de même pour l'Eau Virtuelle associée au commerce international des denrées alimentaires. Cela met en évidence la nécessité d'une vision holistique aux échelles nationales, voir régionales, des bilans hydriques incluant l'Eau Veue, l'Eau Verte et l'Eau Virtuelle, particulièrement dans les régions aux ressources hydriques limitées comme il est le cas des pays de l'Afrique du Nord Ouest.

L'irrigation a occupé une place prépondérante dans l'amélioration du commerce des produits agroalimentaires. Néanmoins, cette stratégie n'a pas modifié de manière significative l'approvisionnement en aliments de base - céréales, fourrage, huiles comestibles - qui dominent toujours les importations et les pays de l'Afrique du Nord Ouest, devenues de grandes économies d'importation nette de produits alimentaires. La dépendance globale en eau de la région l'Afrique du Nord Ouest - rapport des importations nettes d'eau virtuelle aux besoins totaux de la demande alimentaire - est passée de 30 % au début des années 1970 à 50 % en 2000-2010. Cela reflète l'augmentation des besoins en eau de la région pour l'approvisionnement alimentaire. Estimés à environ 1000 m³/an/hab dans les années 1970, ils sont passés à environ 1500 m³/an/hab dans les années 2010.

L'autre facteur principal déterminant les besoins en eau de la demande alimentaire est la population. Les prévisions de population des pays de l'Afrique du Nord Ouest indiquent que les besoins en eau

entraînés par la demande alimentaire vont continuer à croître et, dans un scénario moyen, dépasseront 210 km³/an d'ici 2050, se stabilisant à 250 km³/an vers la fin du siècle, le double du niveau de 2010, mais des scénarios à taux de fécondité constant révèlent que les besoins en eau pourraient atteindre 450 km³/an d'ici 2100, soit 3,5 fois le niveau de 2010. Compte tenu de l'état des ressources en Eau Bleue, les pays l'Afrique du Nord Ouest doivent imaginer de nouvelles approches pour faire face à ce défi hydrique et alimentaire, basées sur l'optimisation des flux d'Eau Virtuelle et une meilleure valorisation de l'Eau Verte.

Mots clés : Ressources en eau, pénurie d'eau, gestion de l'eau, demande en eau, empreinte eau, eau virtuelle, démographie, production alimentaire et commerce, Algérie, Libye, Maroc, Tunisie, Afrique du Nord

INTRODUCTION

Au cours des quarante dernières années, le secteur de l'eau dans les pays de l'Afrique du Nord-Ouest : Algérie, Libye, Maroc et Tunisie, a connu de profondes mutations, marquées par des niveaux très élevés d'exploitation des ressources en eau. Parallèlement, les conditions socio-économiques ont changé avec l'augmentation de la population, l'amélioration du niveau de vie et la demande accrue qui en résulte pour assurer la sécurité de l'approvisionnement en eau et la qualité des régimes alimentaires. Les ressources en eau limitées peuvent devenir le facteur limitant du développement de la région. Cette perspective imminente devrait impliquer une révision radicale des principes et des politiques de gestion de l'eau. La question de la sécurité hydrique concerne évidemment la sécurité d'approvisionnement en eau potable mais aussi, et surtout, la sécurité alimentaire, indissociable de la politique agricole et alimentaire : dans la région, 72 % des volumes d'eau douce (Eau Bleue) sont affectés à l'irrigation. L'agriculture pluviale et l'agriculture irriguée jouent des rôles essentiels et complémentaires pour assurer la sécurité alimentaire. L'agriculture irriguée assure l'augmentation et la stabilisation de la production agricole locale et joue un rôle clé dans la promotion de l'économie rurale. Quant à l'agriculture pluviale, elle contribue de manière significative à la sécurité alimentaire et occupe une place cruciale dans l'équilibre alimentaire du Maroc, de l'Algérie et de la Tunisie. Compte tenu de cette relation entre l'eau et l'alimentation, l'approche de la question de l'eau passe nécessairement par une vision holistique qui considère les multiples facteurs de stress susceptibles d'affecter l'approvisionnement en eau et la production alimentaire. Il est également important de souligner les enjeux du commerce extérieur des produits alimentaires pour maintenir la sécurité alimentaire dans la région. Le chapitre présente d'abord brièvement les sols, l'eau et les contextes alimentaires des pays de l'Afrique du Nord-Ouest (NWA), analyse les bilans hydriques holistiques permettant d'établir les Empreintes Eau des bilans de la demande alimentaire, évalue les niveaux de sécurité hydrique et de sécurité alimentaire de la région, et propose enfin un exercice de prospective sur l'avenir de l'eau dans les pays l'Afrique du Nord Ouest.

1- RESSOURCES ET USAGES DE EAU DANS LES PAYS DE L'AFRIQUE DU NORD-OUEST

L'Algérie s'étend sur 2,4 Million de km², divisée en trois régions morphologiques du Nord au Sud : le Tell et les plaines côtières (4% du territoire), les steppes et hauts plateaux (9%), la région désertique saharienne (10% de population sur 87 % des terres). Les eaux de surface sont estimées à 10,2 km³/an (90 % dans le Tell), les eaux souterraines renouvelables à 2,7 km³/an, ainsi qu'une grande quantité de réserves faiblement renouvelables dans le système aquifère du Sahara Septentrional partagé avec la Tunisie et la Libye. Le volume d'eau dessalée a été de 0,62 km³ en 2012. Les usages de l'eau sont : (i) 4,99 km³/an pour l'agriculture, y compris l'irrigation de 1,1 Million ha (14,5% des surfaces cultivées) ; (ii) 3 km³/an alloués aux communes (soit 205 l/j/hab.) ; (iii) 0,415 km³/an pour l'industrie. Le prélèvement d'eau souterraine totalise 3,6 km³/an. Si nous définissons un Indice de Surexploitation des Eaux Souterraines (Groundwater Overdraft Index, GOI) comme le rapport entre le déficit (différence entre

prélèvements et eaux souterraines renouvelables) et les prélèvements totaux d'eaux souterraines, le GOI en Algérie s'établit à 33%.

Avec 40,5 Millions d'habitants en 2015, dont 29% de ruraux, l'Algérie a une superficie de 31 Millions ha de prairies et parcours, 9 Millions ha de terres arables et de cultures temporaires et 0,92 Million ha de cultures permanentes. Selon le rapport AQUASTAT Algérie (AQUASTAT, 2012), la production agricole fournit environ 70 pour cent des besoins alimentaires du pays, le reste est comblé par des importations agricoles constituées principalement de céréales, lait, fourrage, légumineuses, oléagineux.

La Libye a une population estimée à 6,3 Millions d'habitants en 2015, dont 21 % de ruraux. Le pays s'étend sur 1,76 Million de km², dont 13 Millions d'hectares de parcours, 1,7 Million d'hectares de terres arables et 0,4 Million d'hectares occupés par des cultures permanentes ; la plupart du reste du pays est désertique. Le blé et l'orge sont les principales cultures, ainsi que les olives, les raisins, les dattes, les amandes, les arachides et les oranges.

Les eaux de surface sont rares (seulement 170 Millions m³/an sont contrôlés), limitées à la plaine de Jefara autour de Tripoli et au Jabal Akhdar. Dans ces deux régions, les ressources en eaux souterraines renouvelables sont de 650 Millions m³/an. Le Sud de la Libye contient des eaux souterraines non renouvelables contenues dans de grands bassins sédimentaires : l'aquifère de Murzuk, les aquifères de Kufra & Sarir appartiennent au système aquifère des grès nubiens (SAS) partagé avec l'Égypte, le Tchad et le Soudan, et une partie du système aquifère du Sahara Nord-Ouest partagé avec l'Algérie et la Tunisie.

Les utilisations de l'eau comprennent : i) l'irrigation de 335 000 ha, qui nécessite environ 5 km³/an, mais les prélèvements réels ne sont pas connus en raison de l'insuffisance du réseau de mesure et de l'exploitation minière des eaux souterraines (CEDARE, 2014) ; ii) eau domestique (150 à 300 l/j/hab) estimée à 700 Millions m³/an ; iii) usages industriels, 280 Millions m³/an. La comparaison des besoins en eau, dans les plaines côtières du Nord (6 km³/an), aux ressources renouvelables (0,9 km³/an y compris le dessalement), indique un déficit de 5 km³/an, que les stratégies libyennes de l'eau estiment couvrir par une exploitation minière acceptable sur les gigantesques réserves des grands bassins aquifères du Sud de la Libye, transférées vers la côte par la grande rivière artificielle « Great Man Made River Project ».

La surexploitation intense des eaux souterraines libyennes (GOI : 87%) est exceptionnelle et nécessite des investissements très importants dans la collecte et l'analyse des données sur l'eau pour bien comprendre le problème. Malheureusement, les données réelles sur l'utilisation agricole de l'eau ne sont pas disponibles; selon CEDARE (2014), la gestion établie de l'eau accorde peu de valeur à la génération, à l'analyse et au suivi des données. L'efficacité de l'eau est faible en raison de nombreux facteurs : modes de culture, mauvaise gestion et entretien des infrastructures hydrauliques et absence de compteurs fiables. Dans ce contexte, les données rapportées sont indicatives et des efforts supplémentaires sont nécessaires pour collecter et documenter les utilisations réelles de l'eau.

Le Maroc compte 34,5 Millions d'habitants (2015), dont 42% sont ruraux. La superficie agricole représente 20 Millions ha de parcours, 9 Millions ha de terres arables et cultures temporaires et 1,5 Million ha de cultures permanentes. Selon le rapport AQUASTAT Maroc, la production agricole est dominée par les céréales (75 % de la superficie), les cultures fruitières, fourragères, maraîchères et oléagineuses. Bien que la sécurité alimentaire soit l'enjeu majeur, la production nationale ne couvre pas plus de la moitié des besoins alimentaires, en raison du potentiel limité en eau et en sol, de la démographie, des régimes alimentaires, des politiques d'échanges et de commerce extérieur. Le déficit est couvert par les importations, principalement de céréales en provenance de l'Union Européenne et des États-Unis. La sécurité alimentaire dans le pays dépend à la fois des sécheresses récurrentes et des prix agricoles mondiaux.

Les ressources en eau sont estimées à 18 km³/an pour les eaux de surface (mobilisées notamment par 135 grands barrages) et 4 km³/an pour les eaux souterraines. Les prélèvements d'eau en 2010 étaient

de 8,2 km³ d'eaux de surface, 3,9 km³ d'eaux souterraines (dont 1 km³ de surexploitation, ce qui donne un indice de surexploitation des eaux souterraines de 23%), complété par 70 Millions m³ d'eaux usées traitées, et 7 Million m³ d'eau dessalée. En 2014, les allocations d'eau ont été de 1,1 km³ pour les communes (88 l/j/hab. en moyenne), 9,2 km³ pour l'agriculture, principalement pour l'irrigation de 1,35 Million ha équipé, et 0,22 km³ pour l'industrie.

La Tunisie compte 11,25 Millions d'habitants (2015). Il y a 5 Millions ha de superficie cultivée ; 4,5 Millions ha de parcours et prairies ; 1,6 Million ha de forêts et steppes ; 4,7 Millions d'ha de terres non cultivées (zones humides, déserts, zones urbaines). Dans la production agricole, les arbres fruitiers, les céréales, les olives et les cultures maraîchères prédominent. 70% des besoins alimentaires sont couverts par la production nationale. La Tunisie est un importateur net de produits alimentaires ; en raison des conditions climatiques annuelles variables, le niveau d'autosuffisance céréalière varie de 15 à 60 % selon les précipitations annuelles.

Les précipitations de la Tunisie sont estimées à 36 km³/an. Les ressources totales en eau douce (Eau Bleue) sont de 4,8 km³/an, dont 2,7 km³/an d'eau de surface. En 2010, les prélèvements d'eau souterraine ont été estimés à 2 km³, soit un taux d'exploitation moyen de 95 % des ressources en eau souterraine renouvelables estimées à 2,1 km³/an, mais ce taux moyen masque de grandes différences régionales et de nombreux systèmes aquifères sont gravement surexploités. L'Indice National de Surexploitation des Eaux Souterraines (GOI) est estimé à 20 %.

La ressource en eau de l'agriculture pluviale (Eau Verte), disponible pour l'évaporation et la consommation par les plantes, liée aux terres arables (5 Millions d'ha), est estimée à 13 km³/an en moyenne. Ce potentiel augmente à près de 19 km³/an si on inclue les parcours. Les prélèvements totaux d'Eau Bleue ont été estimés à 3,0 km³ en 2015, dont 0,64 km³ ont été alloués aux communes (soit 156 l/j/hab), 2,2 km³ à l'irrigation et 0,1 km³ aux industries. Les zones côtières sont plus peuplées et nécessitent l'eau d'autres régions mieux dotées : l'ensemble du pays est marqué par d'importants transferts d'eau d'Ouest en Est. La gestion de cette infrastructure s'accompagne d'un suivi complet des ressources, pour actualiser régulièrement leur gestion, notamment en ce qui concerne les eaux souterraines dont l'exploitation a été multipliée par 3,5 au cours des 40 dernières années.

La région de l'Afrique du Nord-Ouest :

Le Tableau 1 donne un aperçu des indicateurs clés liés aux sols et aux ressources en eau dans les pays de l'Afrique du Nord-Ouest, en les comparant au reste du monde. Le premier indicateur remarquable est relatif à l'extension du désert, qui représente 75 % de la superficie totale de la région, contre 13 % dans le monde. A l'échelle globale, les débits totaux d'eau sur les continents représentent 36% des précipitations et 64% de l'évapotranspiration, dans les pays de l'Afrique du Nord-Ouest, le débit total est limité à 8% et l'évapotranspiration atteint 92% des précipitations. Par conséquent, alors qu'ils occupent 3,3% du continent, les pays de l'Afrique du Nord-Ouest ne produisent que 0,1% des ressources en eau renouvelables du monde. Cet indicateur doit être lié à la population des pays l'Afrique du Nord-Ouest, qui représente 1,3 % de la population mondiale. Les pays de l'Afrique du Nord-Ouest consomment une grande partie de leurs ressources en eau renouvelables (70 %). Ce régime élevé d'exploitation des ressources en eau est considéré comme non durable.

Le premier indicateur remarquable est relatif à l'extension du désert, qui représente 75 % de la superficie totale de la région, contre 13 % dans le monde. A l'échelle globale, les débits totaux d'eau sur les continents représentent 36% des précipitations et 64% de l'évapotranspiration, dans les pays de l'Afrique du Nord-Ouest, le débit total est limité à 8% et l'évapotranspiration atteint 92% des précipitations. Par conséquent, alors qu'ils occupent 3,3% du continent, les pays de l'Afrique du Nord-Ouest ne produisent que 0,1% des ressources en eau renouvelables du monde. Cet indicateur doit être lié à la population des pays l'Afrique du Nord-Ouest, qui représente 1,3 % de la population mondiale. Les pays de l'Afrique du Nord-Ouest consomment une grande partie de leurs ressources en eau renouvelables (70 %). Ce régime élevé d'exploitation des ressources en eau est considéré comme non durable.

Indicateurs	Algerie	Libye	Maroc	Tunisie	Pays NWA	Monde
Superficie totale [1000 km ²]	2 380	1760	447*	164	5 000	149 000
Superficie cultivée (arable+cultures perm) [1000 km ²]	100	21	100	53	274	14 000
Prairies et parcours [1000 km ²]	310	133	200	50	693	33 500
Désert saharien & friches [1000 km²]	2 000	1600	90	50	3740 (75%)	20 000 (13%)
Population (2015) [Million d'habitants]	40.5	6.3	34.4	11.3	92.4	7 200
Précipitations annuelles moyennes [mm/an]	89	56	346	218	100	738
Ressource pluviométrique [km ³ /an]	212	99	154	36	501	110 000
Ressource renouvelable (eau de surface) [km ³ /an]	10.15	0.3	19	2.7	32.2	26 000
Ressources renouvelables (eau souterraine) [km ³ /an]	2.7	0.75	4	2.1	9.6	13 000
Total ressources en eau renouvelables [km³/an]	12.85 (6%)	1.05 (1%)	23 (15%)	4.8 (13%)	41.7 (8%)	39 600 (36%)
Evapotranspiration [km³/an]	199.5 (94%)	98 (99%)	131 (85%)	31.2 (87%)	460 (92%)	70 400 (64%)
Prélèvement (eau de surface) [km ³ /an]	4.80	0.2	8.25	0.90	14	3 000
Prélèvement (eau souterraine) [km ³ /an]	3.00	5.5	3.9	2.02	15	1 000
Prélèvements (Eau Bleue) [km ³ /an]	9.0	5.8	12.2	3	30	4000
Surexploitation (eaux souterraines) [km³/an]	1.2 (33%)	4.75 (87%)	1 (23%)	0.4 (20%)	7.35 (49%)	150 (15%)
Eau Bleue (usage agricole) [km³/an]	4.99	4.85	9.15	2.50	21.5 (72%)	2 800 (70%)
Eau souterraine (usage agricole) [km ³ /an]	2.70	4.85	3.10	1.70	12.4 (82%)	
Superficie irriguée [1000 ha]	1 100	400	1450	410	3 360	300 000

Sources données: Algérie (Aguastat, année 2012); Libye (Aguastat, année 2015); Maroc (Aguastat 2015 & Bzioui 2004); Tunisie (données propres, années 2012-2015)

* Selon les pratiques de l'ONU ; en incluant le Sahara occidental, la superficie s'élève à 710 000 km²

Tableau 1. Indicateurs des sols et des ressources en eau dans les pays de l'Afrique du Nord Ouest .

L'autre indicateur important concerne l'Indice de Surexploitation des Eaux Souterraines (GOI), atteignant 49% dans la région de l'Afrique du Nord-Ouest contre 15% dans le monde. Cet indicateur est impacté par le score excessif de la Libye. Mais même sans l'effet libyen, la surexploitation des eaux souterraines représente un défi majeur des politiques d'allocation et de gestion de l'eau dans la région. Ces risques menacent directement l'avenir de l'agriculture et de la production alimentaire, où la contribution des eaux souterraines est déterminante (100 % en Libye, 68 % en Tunisie, 54 % en Algérie).

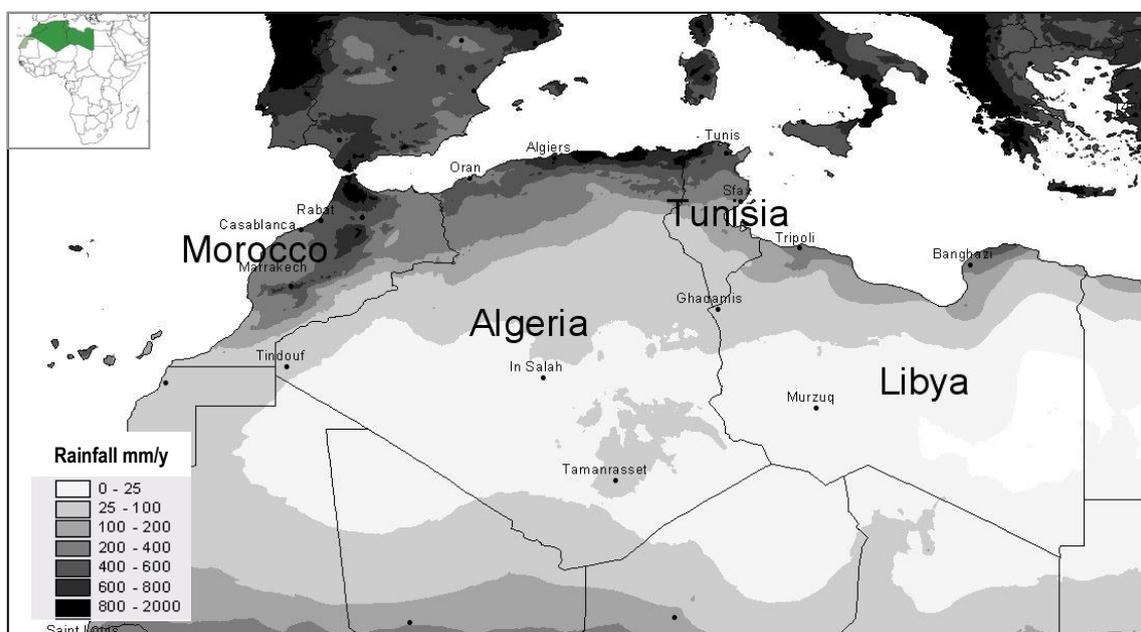


Figure 1. Précipitations annuelles moyennes (élaboré par les auteurs à partir des données de www.worldclim.org 1960-1990, consulté le 05/02/2017).

2- BILAN HYDRIQUE HOLISTIQUE ET ANALYSE DE L'EMPREINTE EAU DES PAYS DE L'AFRIQUE DU NORD-OUEST

L'Empreinte Eau dans un contexte de stress hydrique

Eau Bleue, Eau Verte, Eau Virtuelle

Sur la base du cas tunisien, Besbes et al. (2002) ont montré que dans un contexte méditerranéen, les ressources en eau associées à l'agriculture pluviale et aux productions des parcours sont beaucoup plus importantes que les quantités d'Eau Bleue utilisée par l'agriculture irriguée. Cela correspond à l'Eau dite Verte, qui pour une production agricole donnée, représente la quantité d'eau de pluie consommée pendant la période de croissance de la culture. Néanmoins, l'Eau Verte, à l'origine de la production de l'agriculture pluviale, n'est pas bien connue malgré son importance et n'est pas encore prise en compte dans les stratégies nationales de l'eau. Cette situation souligne les limites de la vision hydraulique des ressources en eau pour relever les défis de la sécurité alimentaire et souligne la nécessité d'une vision holistique incluant l'Eau Bleue et l'Eau Verte (Besbes et al., 2010 ; Chahed, Besbes, & Hamdane, 2011). Il en va de même pour les flux d'Eau Virtuelle associés au commerce international des denrées alimentaires (Allan, 1998), d'autant plus qu'une part importante des échanges de denrées alimentaires provient de l'agriculture pluviale.

De nombreux travaux ont été consacrés à l'évaluation des quantités d'eau nécessaires à la production alimentaire (Renault & Wallender, 2000 ; Hoekstra & Chapagain, 2007 ; Hoekstra & Mekonnen, 2011 ; Zimmer, 2013). Quelles que soient l'origine et la nature de la ressource en eau, le contenu en Eau Virtuelle ou Empreinte Eau (Water Footprint, WF) d'un produit se mesure, en m³/tonne, à l'endroit où il est produit. L'Empreinte Eau (WF) d'un produit est le volume d'eau douce effectivement utilisé pour fabriquer le produit. Le volume total d'eau douce consommé dans un pays représente l'Empreinte Eau de la production nationale. Le commerce international s'accompagne de flux d'Eau Virtuelle entre les nations, correspondant à l'Empreinte Eau des produits échangés. Dans la présente analyse, nous considérons uniquement l'Empreinte Eau des produits alimentaires, hors Empreinte Eau de la production d'eau potable et des produits industriels ainsi que celle de tous les autres services.

En développant la notion d'Empreinte Eau, les équipes des Universités de Delft & Twente (Hoekstra & Chapagain, 2007 ; Hoekstra & Mekonnen, 2011) ont largement contribué à l'évolution du concept, enrichissant son contenu et standardisant ses méthodes d'évaluation. Alors que les premières évaluations se limitaient aux Empreintes Eau mondiales, les travaux ultérieurs distinguaient l'Eau Bleue et l'Eau Verte et les travaux les plus récents ont introduit la notion d'Eau Grise. Cette dernière fait référence aux quantités d'eau douce nécessaires à la dilution des charges polluantes associées à une production donnée, afin d'atteindre des niveaux compatibles avec les normes de qualité. Cependant, les normes de qualité ne sont pas partout les mêmes et dans certains cas n'existent pas ; son application à l'eau agricole reste délicate et peu précise. Par ailleurs, sensée mesurer l'impact des activités sur les ressources en eau, la notion d'Eau Grise doit s'élargir pour inclure les autres impacts notamment ceux relatifs à la surexploitation des ressources en eau et à la dégradation des sols.

L'Eau Géologique

Les prélèvements sur les nappes souterraines sont durables lorsqu'il existe un équilibre entre les apports (recharge) et les sorties (drainage naturel, captages). Tout prélèvement impacte les réserves de l'aquifère et entraîne un rabattement local, qui augmente si l'on dépasse la capacité de récupération du système entraînant l'épuisement des réserves géologiques. Il existe de nombreux cas de surexploitation dans la région de l'Afrique du Nord Ouest, où la demande en eau d'irrigation dépasse souvent la capacité de recharge des aquifères.

Les plus grands aquifères de la région sont situés dans le Sahara hyperaride (voir Figure 2) et contiennent d'importantes réserves géologiques très faiblement renouvelables ; cette eau est utilisée pour le développement des régions sahariennes, ou transférée vers les zones côtières comme dans le

cas du projet de la grande rivière artificielle libyenne. Qu'il s'agisse de surexploitation d'aquifères rechargés ou de bassins sahariens faiblement renouvelables, les quantités prélevées au-dessus du niveau de recharge actuel représentent « l'Eau Géologique » traditionnellement comptée comme Eau Bleue. Dans les cas où cette catégorie d'eau atteint un niveau d'exploitation aussi élevé que celui pratiqué dans les pays de l'Afrique du Nord Ouest, il est fortement recommandé d'assurer la visibilité de cette ressource particulière en l'identifiant séparément, comme Eau Géologique. Le Tableau 1 montre que, dans les conditions d'aridité qui caractérisent les pays de l'Afrique du Nord Ouest, la surexploitation des ressources souterraines est très élevée : l'Index de Surexploitation des Eaux Souterraines (GOI) atteint près de 50 % et représente 25 % des prélèvements totaux d'Eau Bleue. Cette exploitation minière à un rythme très élevée de l'Eau Géologique et les pratiques non durables d'utilisation de cette ressource particulière devraient être reconnue par les gouvernements et par l'ensemble de la société.

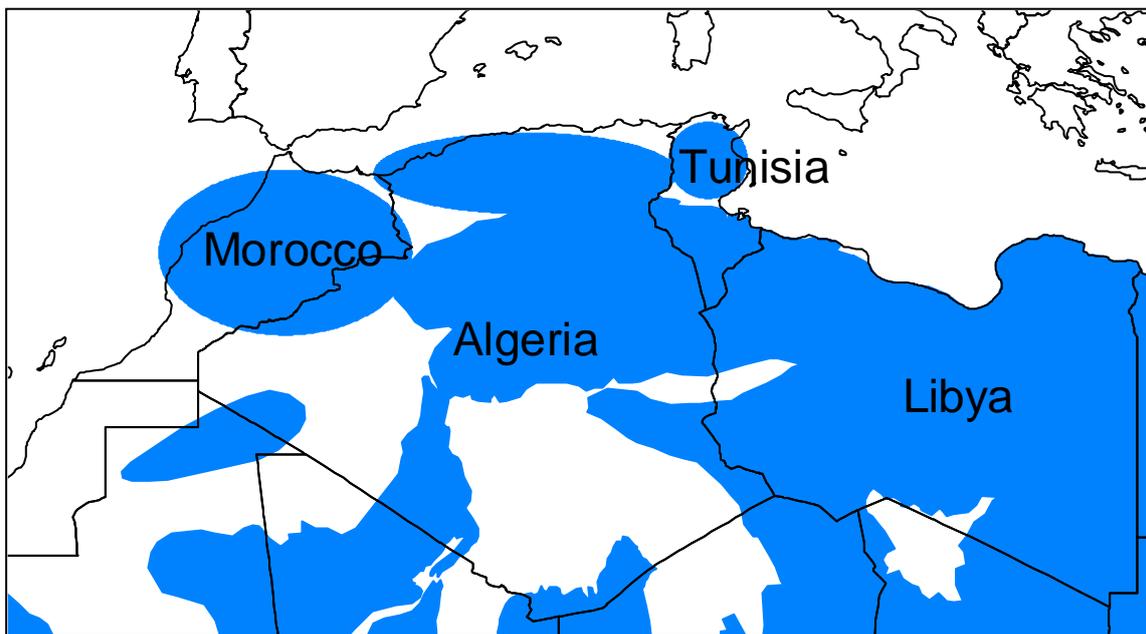


Figure 2. Carte schématique de l'extension des aquifères de la RNF (élaboration des auteurs et SSO, 2003).

L'évaluation de l'ensemble de l'Empreinte Eau de la production agricole (d'origine végétale et animale) ainsi que les flux de l'Eau Virtuelle associés à la balance commerciale des denrées alimentaires permet d'évaluer l'Empreinte Eau de la demande alimentaire et sa variation. Les conclusions originales sur le cas tunisien (Chahed, Hamdane, & Besbes, 2008), ouvrent la voie à de nouvelles idées face aux défis des ressources en eau des pays arides. Nous essayons ici d'étendre la méthodologie développée pour le cas tunisien aux pays de l'Afrique du Nord Ouest en mettant l'accent sur la mondialisation des ressources en eau.

Empreinte Eau de la production végétale

Besbes, Chahed et Hamdane (2014) ont développé un modèle linéaire global pour évaluer L'Empreinte Eau de la production alimentaire à l'échelle nationale. Si nous admettons que ces résultats s'appliquent aux autres pays de la L'Afrique du Nord Ouest, qui ont des conditions climatiques et agricoles similaires, il devient possible d'évaluer l'Empreinte Eau de la production alimentaire et d'identifier les caractéristiques spécifiques de l'agriculture de chacun des pays de la région.

Les données utilisées pour l'analyse sont issues des bases de données publiques FAOSTAT (FAOSTAT, 2017) et AQUASTAT (AQUASTAT, 2017). L'analyse couvre la période de 1961 à 2013 permettant d'identifier les tendances sur plus de cinquante ans. Les Empreintes Eau pour une large gamme de cultures annuelles ont été calculées. L'efficacité globale d'utilisation de l'Eau Bleue allouée à l'irrigation estimée à 40 % en 1970 est passée à près de 60 % en 2010, avec une valeur inférieure pour la Libye. Ces estimations prennent en compte les performances des réseaux hydrauliques et l'efficacité d'utilisation de l'eau des cultures. Le reste de l'Empreinte Eau des cultures est relatif à la contribution Eau Verte provenant des précipitations sur les zones agricoles pluviales ou irriguées.

L'irrigation a été un facteur crucial des politiques de développement agricole et rural de la région. La superficie totale équipée pour l'irrigation a considérablement augmenté au cours des cinquante dernières décennies (Tableau 2), tandis que les superficies utilisées pour l'agriculture pluviale n'ont pas augmenté. Comme les superficies totales cultivées (terres arables et cultures permanentes) n'ont pas, elles aussi vraiment augmenté, on peut en conclure que l'irrigation s'est développées sur des terres cultivées à l'origine en pluvial.

Année		1960	1970	1980	1990	2000	2010
Algerie	Superficie agricole (1000 ha)	45471	44216	43830	38676	40021	41374
	dont cultivées*	7066	6800	7509	7635	8192	8411
	Dont équipées pour l'irrigation**	229	238	253	437	568	1170
Libye	Superficie agricole (1000 ha)	11170	13025	15080	15455	15450	15351
	dont cultivées*	1970	2025	2080	2155	2150	2051
	Dont équipées pour l'irrigation**	121	175	225	470	470	400
Maroc	Superficie agricole (1000 ha)	23370	25705	28930	30343	30652	29988
	dont cultivées*	6970	7505	8030	9443	9652	8988
	Dont équipées pour l'irrigation**	875	920	1217	1258	1443	1515
Tunisie	Superficie agricole (1000 ha)	8648	8882	8700	8644	9551	10038
	dont cultivées*	4250	4673	4701	4851	4990	5186
	Dont équipées pour l'irrigation**	100	200	243	375	394	457

* Terres arables et cultures permanentes, ** Source FAOSTAT

Tableau 2. Evolution des surfaces agricoles dans les pays de l'Afrique du Nord Ouest (selon FAOSTAT).

L'Eau Verte comprend aussi l'Empreinte Eau de la production animale issue des activités d'élevage extensif. Il est assez difficile d'estimer l'Empreinte Eau Verte de la production animale. Cependant, la principale production de petits ruminants (ovins et caprins) provient des parcours, elle peut être considérée comme un indicateur approprié de l'Empreinte Eau Verte de l'élevage extensif. Une première évaluation est réalisée en partant de l'hypothèse que l'Empreinte Eau de la production ovine représente la moitié de l'Empreinte Eau Verte de la production totale des parcours.

La Figure 3 montre l'évolution de l'Empreinte Eau des productions végétales des pays de l'Afrique du Nord Ouest, en distinguant les contributions Eau Bleue et Eau Verte dans les cultures irriguées. L'Empreinte Eau des productions des cultures pluviales et des parcours étant constituée exclusivement d'Eau Verte. La Figure 3 fournit des informations pour l'ensemble de la région de l'Afrique du Nord-Ouest. L'Empreinte Eau Verte des cultures pluviales et irriguées et de la production des parcours représente une part importante des ressources hydriques effectivement utilisées dans la production alimentaire. La contribution de l'Eau Verte dans la production alimentaire est de loin plus élevée que celle de l'Eau Bleue.

Même si les superficies des cultures pluviales n'ont pas augmenté de manière significative au cours des cinq dernières décennies, le secteur a amélioré sa productivité et l'Empreinte Eau de la production de l'agriculture pluviale a progressivement augmenté. La quantité d'Eau Verte relative à la production agricole varie annuellement en fonction des variations de la pluviométrie. L'Eau Bleue et l'Eau Géologique consommées dans la production de cultures irriguées ont augmenté considérablement.

Même si elles ne représentent en termes quantitatifs qu'une faible proportion de l'Empreinte Eau de la production agricole totale, leur apport est fondamental en termes de productivité et de rentabilité économique. Le Tableau 3 montre l'évolution de l'Empreinte Eau de la production végétale au cours des quatre dernières décennies.

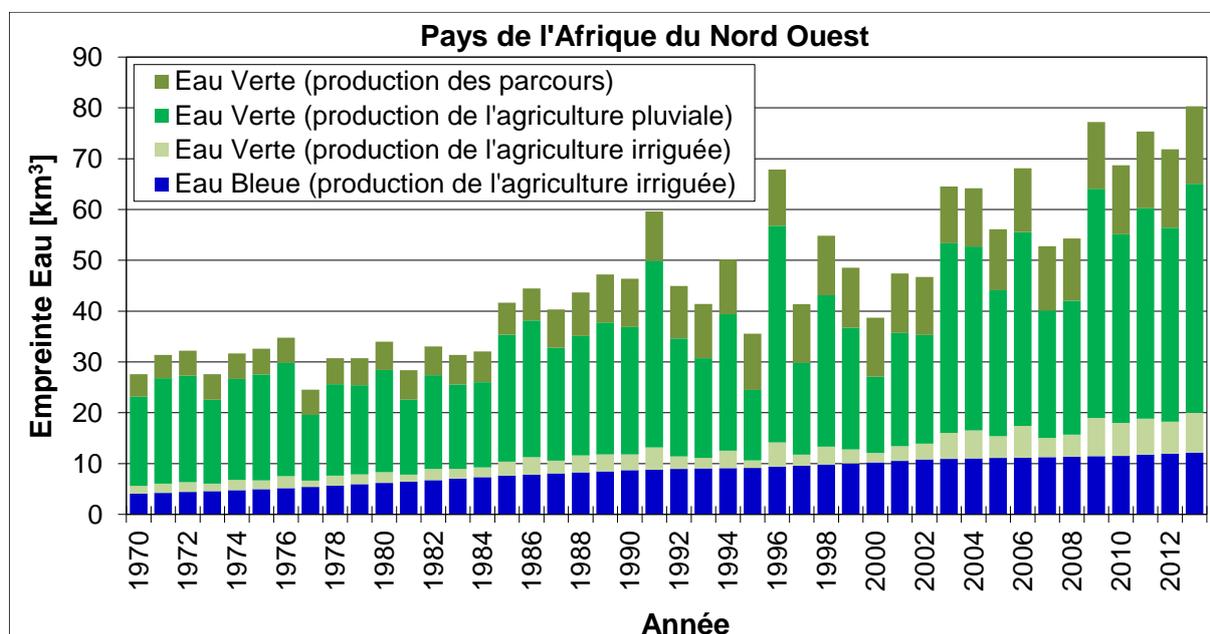


Figure 3. Empreinte Eau Bleue et Eau Verte de la production agricole annuelle des la région de l'Afrique du Nord-Ouest (Source données, FAOSTAT).

Année		1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	
Algerie	Eau Bleue (Agriculture irriguée)	0.8	1	1.1	1.3	1.6	1.9	2.3	2.8	
	Eau Verte	Agriculture irriguée	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	0.5	1.3	1.9
		Agriculture pluviale	5.3	4.9	5.8	6.3	5.9	6.3	10.4	12.1
		Pâturage	1.6	2	2.6	4	5.1	5	5.4	6.6
Libye	Eau Bleue (Agriculture irriguée)	0.2	0.3	0.7	1.0	1.2	1.4	1.6	1.9	
	Eau Verte	Agriculture irriguée	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
		Agriculture pluviale	0.9	0.9	0.8	0.5	0.4	0.5	0.3	0.3
		Pâturage	0.6	0.7	0.8	0.8	0.9	1.0	1.0	1.2
Moroc	Eau Bleue (Agriculture irriguée)	3.5	4.1	4.7	5.0	5.2	5.8	5.8	5.4	
	Eau Verte	Agriculture irriguée	1.3	1.4	1.8	2.4	1.8	1.8	2.9	3.7
		Agriculture pluviale	8.2	8.2	10.5	15.1	12.8	10.9	15.1	18.3
		Pâturage	1.9	1.9	1.9	3.4	3.5	4.0	3.8	4.5
Tunisie	Eau Bleue (Agriculture irriguée)	0.4	0.7	1.0	1.3	1.3	1.2	1.3	1.5	
	Eau Verte	Agriculture irriguée	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4	0.7	0.7
		Agriculture pluviale	4.2	3.8	4.5	5.0	5.1	4.9	7.2	7.0
		Pâturage	0.9	0.8	1.2	1.3	1.5	1.8	1.8	1.7
Pays NWA	Eau Bleue (Agriculture irriguée)	5.0	6.2	7.6	8.6	9.3	10.3	11.1	11.6	
	Eau Verte	Agriculture irriguée	1.8	1.9	2.5	3.3	2.8	2.8	5.0	6.3
		Agriculture pluviale	18.5	17.8	21.5	26.9	24.2	22.5	33.1	37.6
		Pâturage	5.0	5.5	6.4	9.5	11.0	11.6	12.0	13.9

Données source: FAOSTAT

Tableau 3. Empreinte Eau de la production végétale des pays de l'Afrique du Nord Ouest (km³/an moyenne sur cinq ans, données de FAOSTAT)

3- SÉCURITÉ HYDRIQUE ET SÉCURITÉ ALIMENTAIRE DE L'AFRIQUE DU NORD-OUEST

Sécurité hydrique de Afrique du Nord-Ouest

L'analyse des Empreintes Eau de la production agroalimentaire permet de clarifier la relation fondamentale entre production alimentaire et gestion des ressources en eau dans la région : (i) L'option de l'irrigation a été adoptée partout et le secteur de l'irrigation a fait des progrès substantiels dans tous les pays de l'Afrique du Nord Ouest : le total la superficie équipée pour l'irrigation a été multipliée par près de 3 au cours des cinq dernières décennies et couvre désormais plus de 3,5 Millions d'hectares, soit plus de 14 % de la superficie agricole totale utilisée ; (ii) Les besoins en Eau Bleue du secteur agricole représentent la part la plus importante des allocations d'eau. L'extension de l'irrigation a atteint ses limites dans toutes les économies de la région ; (iii) La contribution à la production vivrière de l'agriculture pluviale et de l'élevage pastoral demeure encore incontestablement importante.

Inévitablement, les politiques agricoles des pays de l'Afrique du Nord Ouest, fondées sur le développement de l'irrigation se heurtent aux limites de ressources en eau ; d'autant plus que l'augmentation prévisible de la demande en eau des collectivités et des industries pèse de plus en plus sur le développement de l'agriculture irriguée. La perspective de limites d'eau pour le secteur agricole inquiète les acteurs de ce secteur vital ; c'est un enjeu clé qui détermine en grande partie le cadre général des politiques hydro-agricoles des pays de l'Afrique du Nord Ouest .

L'idée principale qui sous-tend la Sécurité Hydrique dans les pays aux ressources en eau limitées est basée sur l'analyse holistique des ressources hydriques nationales et s'inscrit dans une approche qui se répand de plus en plus, notamment pour évaluer l'Empreinte Eau de la production alimentaire qui, par son importance, détermine fondamentalement les éléments essentiels des bilans hydriques. Plusieurs études récentes ont tenté d'établir des évaluations nationales des bilans hydriques dans de nombreux pays : Tunisie (Besbes et al., 2002, 2010 ; Chouchane et al., 2015), Maroc (Schyns & Hoekstra, 2015), Chine (Liu & Savenije 2008), Inde (Kampman, Hoekstra, & Krol, 2008), Pays-Bas (Van Oel, Mekonnen, & Hoekstra, 2009), Espagne (Aldaya et al., 2009), Belgique (Vincent et al., 2011), France (Ercin, Mekonnen et Hoekstra, 2012).

Bilans hydriques de la balance agro-alimentaire des pays de l'Afrique du Nord Ouest

L'évaluation des « Flux d'Eau Virtuelle » associés au commerce alimentaire international met en évidence la contribution relativement importante des importations de produits alimentaires au bilan hydrique global. Les deux produits phares d'exportation de l'agriculture irriguée dans les pays de l'Afrique du Nord Ouest sont les agrumes, notamment du Maroc, et les dattes, notamment de Tunisie. L'agriculture irriguée a occupé une place prépondérante dans la stratégie de valorisation des échanges de produits agroalimentaires ; néanmoins, cette stratégie n'a pas changé de manière significative la dépendance des pays de l'Afrique du Nord-Ouest notamment pour aliments de base - céréales, fourrage, huiles comestibles - qui dominent les importations agro-alimentaires.

La Figure 4 et le Tableau 3 montrent les augmentations des flux d'Eau Virtuelle associés aux importations et exportations alimentaires, à l'exclusion des produits de la mer et du poisson. Ces derniers temps, les pays de l'Afrique du Nord Ouest sont devenus de grandes économies d'importation nette de produits alimentaires, bien qu'à des degrés divers. Les cultures pluviales jouent un rôle essentiel dans la sécurité alimentaire et dans l'équilibre des échanges agroalimentaires. Les importations de céréales couvrent les déficits de la production locale, en grande partie réalisée en mode pluvial ; elles augmentent régulièrement et s'étendent aux produits céréaliers destinés à l'alimentation animale. Inversement, il existe un potentiel considérable d'exportation de denrées agroalimentaires dont la production est sans impact sur les ressources en Eau Bleue ni d'Eau Géologique. Par exemple, l'huile d'olive, presque entièrement produite à partir d'oliviers cultivés en mode pluvial, représente de

très loin le poste le plus important des exportations agricoles de la Tunisie. Ces exportations jouent un rôle important dans l'équilibre agroalimentaire de la Tunisie.

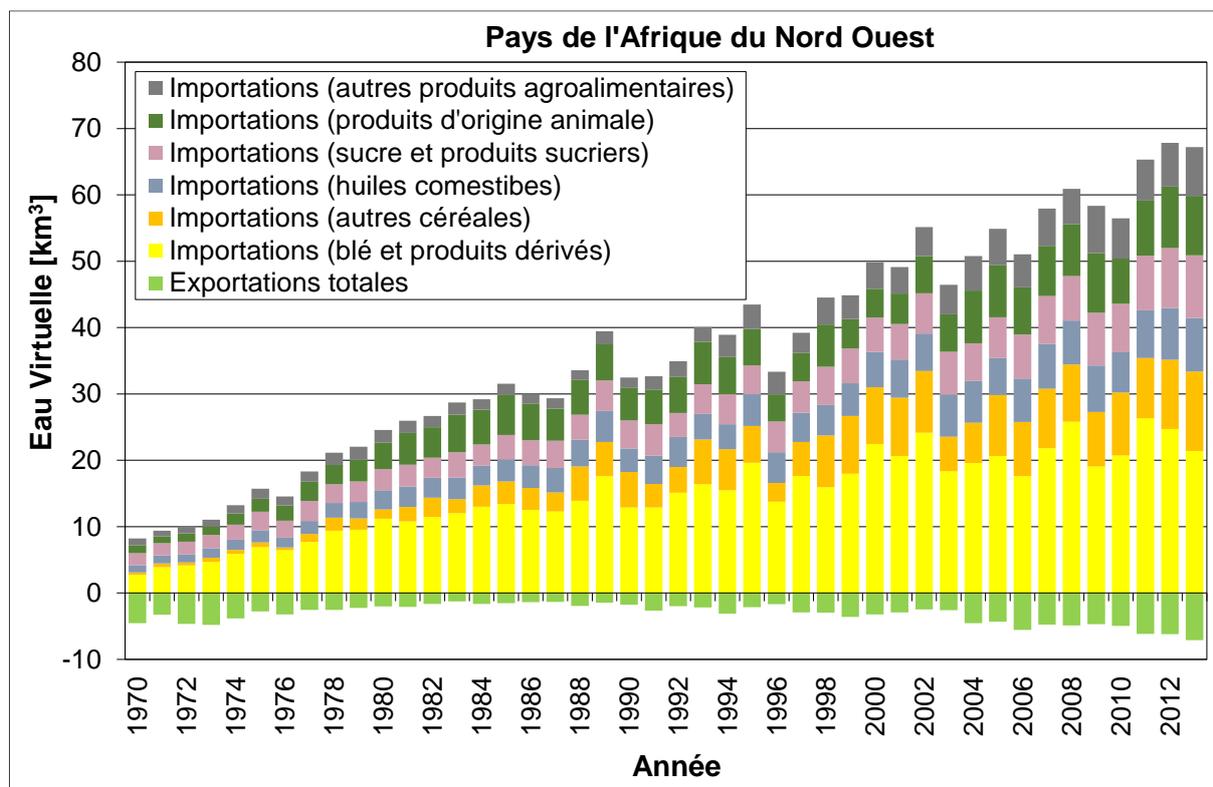


Figure 4. Flux d'Eau Virtuelle liés au commerce agroalimentaire des pays de l'Afrique du Nord-Ouest, hors poisson et produits de la mer [km^3/an] (Source données, FAOSTAT)

Productivité de l'Eau Virtuelle et avantages comparatifs pour les pays de l'Afrique du Nord Ouest

Le Tableau 3 montre également l'évolution des valeurs monétaires de la balance commerciale agroalimentaire - hors poisson et produits de la mer. Les données montrent la croissance des volumes d'Eau Virtuelle et des dépenses alimentaires des quatre pays au cours des quatre dernières décennies. La comparaison des dépenses et des recettes montre que la balance commerciale agroalimentaire est déficitaire dans tous les pays de l'Afrique du Nord Ouest et que le déficit continue de croître. La balance commerciale agroalimentaire de l'Eau Virtuelle est, en valeur, fortement en faveur des économies de l'Afrique du Nord Ouest.

Pour la décennie de référence 2004-2013, les exportations agroalimentaires du Maroc et de la Tunisie représentent, en Eau Virtuelle 87 % des exportations de l'ensemble des pays de l'Afrique du Nord-Ouest ($4,6 \text{ km}^3$ par an) et 94 % en valeur (3,1 Milliard \$). La balance agroalimentaire de ces deux pays est très favorable aux deux pays en terme financier. Au cours de la même décennie, le taux de couverture de la balance agroalimentaire du Maroc -c'est-à-dire le ratio exportations/importations – a été en moyenne, de 12 % en Eau Virtuelle, et de 46 % en valeur. En Tunisie et durant la même période, le taux de couverture a été de 34 % en termes d'Eau Virtuelle et de 70 % en valeur (Figure 5 et Tableau 3). Pour les deux autres pays, la Libye et l'Algérie, les résultats sont similaires bien que moins significatifs compte tenu des faibles volumes d'exportation. Ainsi, en conclusion, les taux de couverture (rapports des exportations aux importations) en valeur ont été jusqu'à deux ou trois fois plus élevés que les taux de couverture en Eau Virtuelle, ce qui signifie que les pays de l'Afrique du Nord Ouest ont généré beaucoup plus de revenus par volume d'Eau Virtuelle exporté que l'argent dépensée pour importer une quantité d'Eau Virtuelle équivalente.

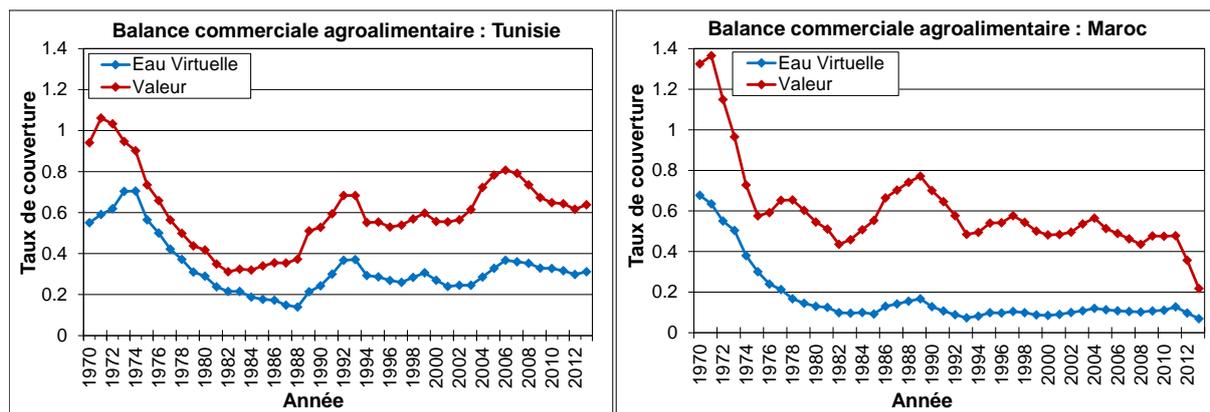


Figure 5. Taux de couverture - le ratio exportations/importations - des balances commerciales alimentaires du Maroc et de la Tunisie en Eau Virtuelle et en valeur, hors poisson et produits de la mer (moyenne mobile sur cinq ans)

Année			1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010
Algérie	Eau Virtuelle [km ³]	Importations	6.6	12.3	15.9	18.6	19.4	22.6	26.0	30.8
		Exportations	1.1	0.4	0.2	0.1	0.1	0.1	0.3	0.7
	Valeur [Million \$]	Importations	952	2012	2184	2556	2936	2720	4144	8410
		Exportations	172	116	40	49	83	33	87	214
Libye	Eau Virtuelle [km ³]	Importations	2.0	2.7	3.7	5.0	4.5	5.5	4.8	5.5
		Exportations	~0	~0	~0	~0	~0	~0	~0	~0
	Valeur [Million \$]	Importations	521	1128	985	1166	1196	1123	1201	2570
		Exportations	3	0	1	28	40	29	9	7
Maroc	Eau Virtuelle [km ³]	Importations	4.3	6.1	6.5	6.4	9.9	13.8	14.0	16.6
		Exportations	1.4	0.8	0.6	0.9	0.9	1.2	1.6	1.8
	Valeur [Million \$]	Importations	578	846	743	867	1471	1631	2462	4829
		Exportations	367	470	390	598	723	786	1232	2013
Tunisie	Eau Virtuelle [km ³]	Importations	1.7	2.9	3.8	4.6	5.2	6.7	7.4	8.9
		Exportations	0.9	0.8	0.7	1.0	1.5	1.7	2.4	2.9
	Valeur [Million \$]	Importations	237	459	465	618	815	857	1297	2355
		Exportations	163	180	151	300	436	458	1006	1406
Pays NWA	Eau Virtuelle [km ³]	Importations	14.6	24.1	29.8	34.6	39.0	48.7	52.2	61.8
		Exportations	3.4	2.1	1.4	1.9	2.4	3.0	4.4	5.4
	Valeur [Million \$]	Importations	2288	4444	4376	5208	6418	6330	9105	18164
		Exportations	705	766	581	975	1282	1306	2334	3640
	Taux de Couverture [%]	Eau Virtuelle	31	17	13	19	20	21	26	20
		Eau Virtuelle	23	9	5	5	6	6	8	9

Source Données : FAOSTAT

Tableau 4. Balance commerciale alimentaire des pays l'Afrique du Nord-Ouest en Eau Virtuelle et en valeur, hors poisson et produits de la mer (moyenne mobile sur cinq ans)

L'exemple de la Tunisie et du Maroc met en évidence l'intérêt des échanges agroalimentaires en termes de productivité de l'eau agricole (abstraction faite de son origine). Ce constat est encore plus clair lorsque l'on considère les valeurs financières de l'Eau Virtuelle des importations et des exportations respectivement. La Figure 6 montre que : i) sur l'ensemble de la série, la valeur du m³ d'Eau Virtuelle importé est très similaire en Algérie, au Maroc et en Tunisie. En effet, les produits importés sont les mêmes (céréales, huiles végétales et sucre) ; ces produits représentent 80 % des importations en Eau Virtuelle et 60 % en valeur ; ii) à l'exportation, et sur la décennie de référence, la valeur du m³ d'Eau Virtuelle est assez variable. Il vaut au Maroc le double de ce qu'il vaut en Tunisie (0,99 \$/m³ au Maroc

contre 0,46 \$/m³ en Tunisie). Cette différence résulte des produits d'exportation dominants et de leurs valeurs, qui sont respectivement au Maroc les agrumes (1,1 \$/m³) et les tomates (1,5 \$/m³) et en Tunisie les dattes (0,98 \$/m³) et l'huile d'olive (0,33 \$/m³). D'autres comparaisons ne sont pas possibles car la production de dattes, d'agrumes et de tomates implique l'irrigation à l'Eau Bleue, la production de dattes dépend souvent de l'Eau Géologique et les olives tunisiennes sont cultivées en pluvial (Eau Verte). Le coût de l'Eau utilisée pour la manutention et la transformation, qui contribue à la valeur ajoutée du produit, devrait également entrer dans le modèle.

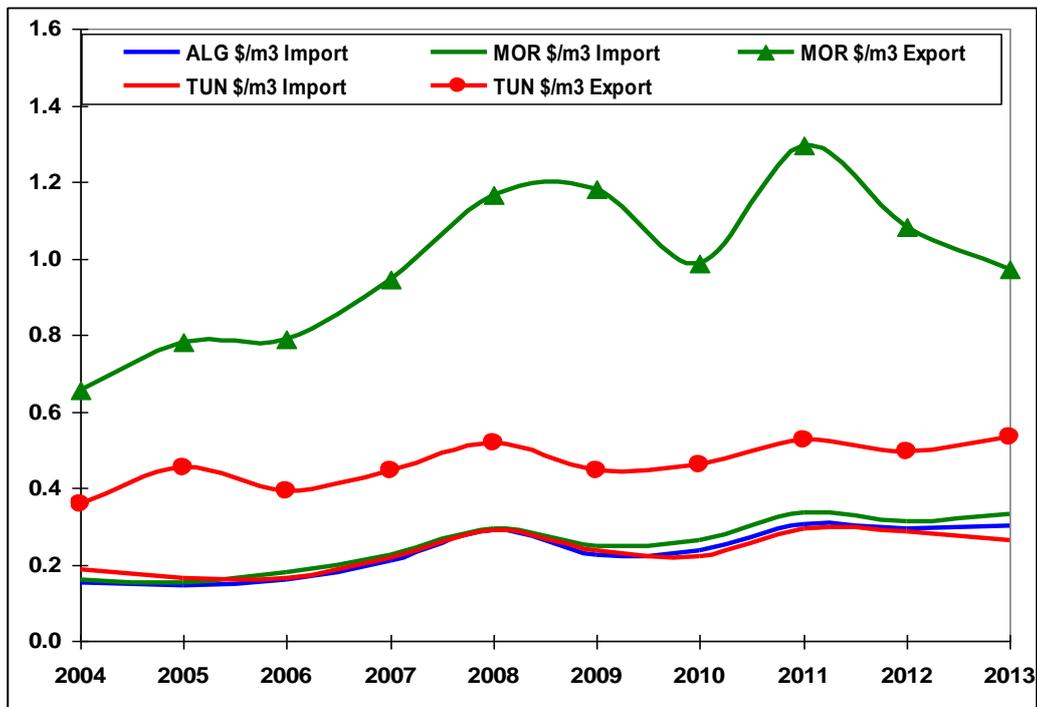


Figure 6. Valeur en US \$ par m³ d'Eau Virtuelle importée par l'Algérie, le Maroc, Tunisie, et exportés par le Maroc et la Tunisie, de 1970 à 2013. (Source, données FAOSTAT)

Sécurité alimentaire et Indice de Dépendance Hydrique (Water Dependency Index, WDI)

Le flux transfrontalier net d'Eau Virtuelle représente la différence entre les besoins en eau pour la demande alimentaire et l'Empreinte Eau de la production alimentaire. Sur la base d'estimations du bilan des ressources en eau consommées pour répondre à la demande alimentaire nationale. Besbes et al. (2010) ont défini un Indicateur de Dépendance Hydrique (Water Dependency Index, WDI) qui représente le rapport des importations nettes d'Eau Virtuelle aux besoins totaux en eau pour la demande alimentaire (voir encadré). Selon ce modèle holistique du bilan hydrique, l'Indice de Dépendance Hydrique détaille explicitement les différentes contributions à l'approvisionnement alimentaire. L'objectif est de déterminer dans quelle mesure une plus grande valeur pour toutes les ressources en eau pourrait être obtenue. Cet indice peut être utilisé pour estimer l'évolution à long terme du bilan hydrique mondial afin d'aider à développer des stratégies appropriées pour la sécurité hydrique et alimentaire, en particulier dans les régions pauvres en eau.

Indice de Dépendance Hydrique

$$FDWE = PRD - EXP + IMP$$

La demande alimentaire en équivalent eau (FDWE) comprend l'empreinte eau de la production agricole (PRD) consommée sur le marché local (PRD-EXP) et l'empreinte eau des importations agroalimentaires (IMP).

$$PRD = GRW + k [SFW + GDW + DSL - (1 - TR)DD - ENV]$$

L'empreinte eau de la production agricole (PRD) comprend les empreintes eau verte (GRW) et eau bleue. Cette dernière peut être évaluée à l'aide d'un facteur (k) qui intègre l'efficacité de l'irrigation (BLW= k.IR). Le volume alloué à l'Irrigation (IR) est calculé comme les ressources exploitables restantes nettes de la demande directe (DD) et de la demande environnementale (ENV). Les ressources exploitables comprennent les eaux de surface (SFW), les eaux souterraines (GDW) et les volumes d'eau produits par dessalement (DSL). La part des ressources allouées aux usages directs (industrie, tourisme, collectivités) est recyclée dans le taux global (TR). L'Indice de Dépendance Hydrique (Water Dependency Index, WDI) représente l'équivalent net des volumes d'eau virtuelle dans la demande alimentaire totale.

$$WDI = \frac{IMP - EXP}{FDWE} = 1 - \frac{GRW + k [SFW + GDW + DSL - (1 - TR)DD - ENV]}{FDWE}$$

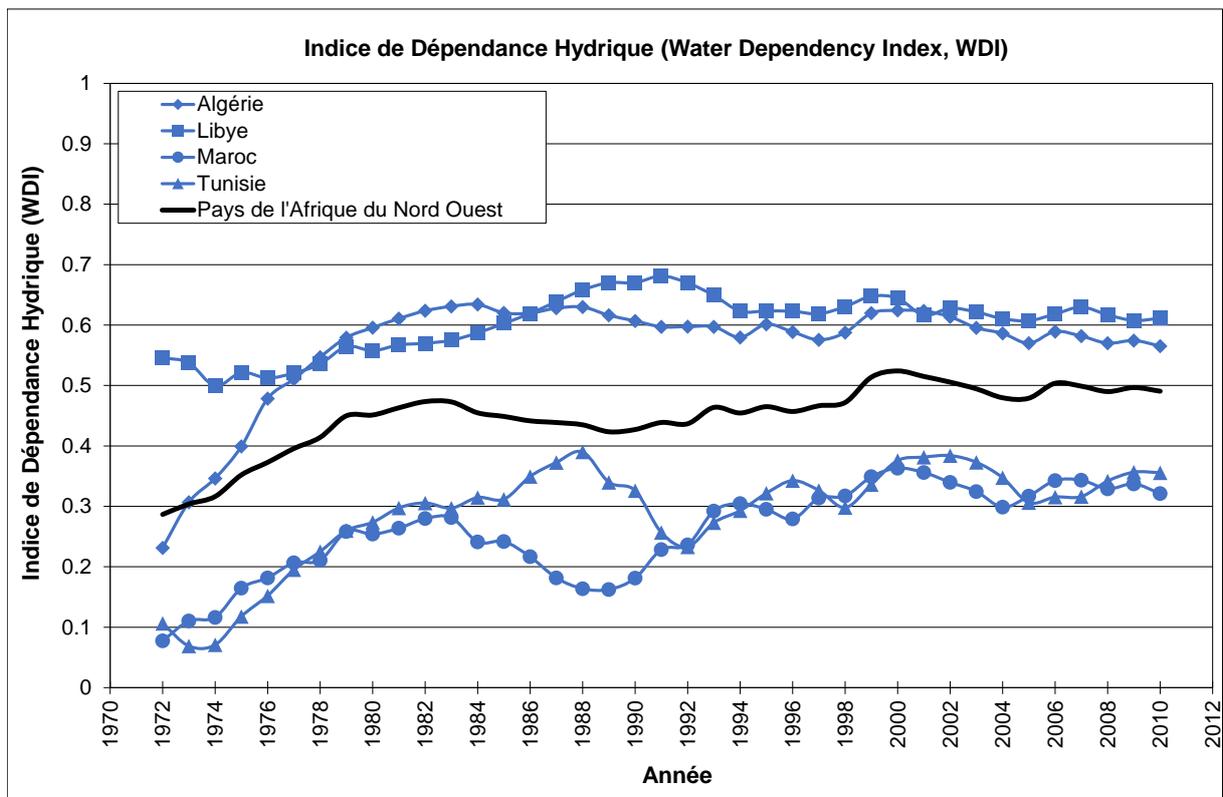


Figure 7. Evolution de l'Indice de Dépendance Hydrique (WDI) dans les pays de l'Afrique du Nord Ouest - moyenne mobile sur cinq ans

La Figure 7 montre l'évolution de l'Indice de Dépendance Hydrique dans les quatre pays de l'Afrique du Nord-Ouest. L'Indice global de Dépendance Hydrique de la région est passé de 30 % au début des

années 1970 à 50 % au cours de la décennie 2000-2010. Néanmoins, on peut observer que l'Indice s'est stabilisé dans les quatre pays depuis le début des années 1990, mais à des niveaux différents. On peut identifier deux groupes : la Libye et l'Algérie où les indices se situent autour de 60 % ; et le Maroc et à la Tunisie où les Indices sont bien inférieurs dépassant à peine 30 %. Hormis le niveau de l'Indice, sa faible variabilité indique que le potentiel local des ressources hydriques intervenant dans la production agricole (Eau Bleue et Eau Verte) a, au cours des deux dernières décennies, augmenté à un rythme comparable à celui des besoins en eau de la demande alimentaire. Les performances de l'agriculture des pays de l'Afrique du Nord Ouest ont été telles que sa production a pu maintenir une part constante dans l'offre alimentaire par habitant malgré l'augmentation significative de la population et de sa demande alimentaire.

4 MODÉLISATION DES BILANS HYDRIQUES DE LA DEMANDE ALIMENTAIRE DANS LES PAYS DE L'AFRIQUE DU NORD-OUEST : ENJEUX FUTURS ET EXERCICE DE PROSPECTIVE

L'évaluation de l'Empreinte Eau de la production agroalimentaire et des flux commerciaux d'Eau Virtuelle permet d'analyser l'évolution des niveaux de demande alimentaire au cours des cinq dernières décennies. Si la population des pays de l'Afrique du Nord Ouest a un peu plus que doublé au cours des cinq dernières décennies, l'Empreinte Eau de la production alimentaire a plus que triplé. La demande alimentaire par habitant a donc augmenté de plus de la moitié au cours de cette période. Le Tableau 4 montre l'évolution des besoins en eau par habitant pour les produits alimentaires dans la région. Agrégés, ces résultats indiquent que l'Empreinte Eau des besoins alimentaires est passée d'environ 1000 m³/an/hab dans les années 1970 à environ 1500 m³/an/hab dans les années 2010. On peut également observer une augmentation significative de l'Empreinte Eau des produits d'origine animale qu'il est logique d'attribuer à l'évolution du régime alimentaire des populations (Figure 8).

Année		1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010
Algérie	Nourriture d'origine végétale	525	686	699	735	671	713	836	922
	Nourriture d'origine animale	260	334	413	431	431	425	487	517
	Total (m ³ /an/habitant)	786	1020	1111	1165	1102	1138	1323	1439
Libye	Nourriture d'origine végétale	1065	1044	1102	1261	1047	1065	847	807
	Nourriture d'origine animale	399	467	487	427	429	514	519	613
	Total (m ³ /an/habitant)	1464	1511	1589	1688	1476	1579	1365	1520
Maroc	Nourriture d'origine végétale	729	745	816	890	837	824	897	929
	Nourriture d'origine animale	272	312	293	385	369	399	435	544
	Total (m ³ /an/habitant)	1001	1057	1109	1275	1206	1223	1332	1473
Tunisie	Nourriture d'origine végétale	798	827	950	976	877	852	1049	1024
	Nourriture d'origine animale	377	381	446	450	466	544	540	560
	Total (m ³ /an/habitant)	1176	1208	1397	1426	1343	1396	1590	1583
Pays NWA	Nourriture d'origine végétale	678	752	805	863	787	798	887	929
	Nourriture d'origine animale	289	340	375	415	412	436	476	539
	Total (m ³ /an/habitant)	967	1092	1180	1278	1199	1234	1363	1468
Data source, FAOSTAT									

Tableau 5. Évolution des besoins en eau pour la demande alimentaire des pays de l'Afrique du Nord-Ouest - moyenne mobile sur cinq ans

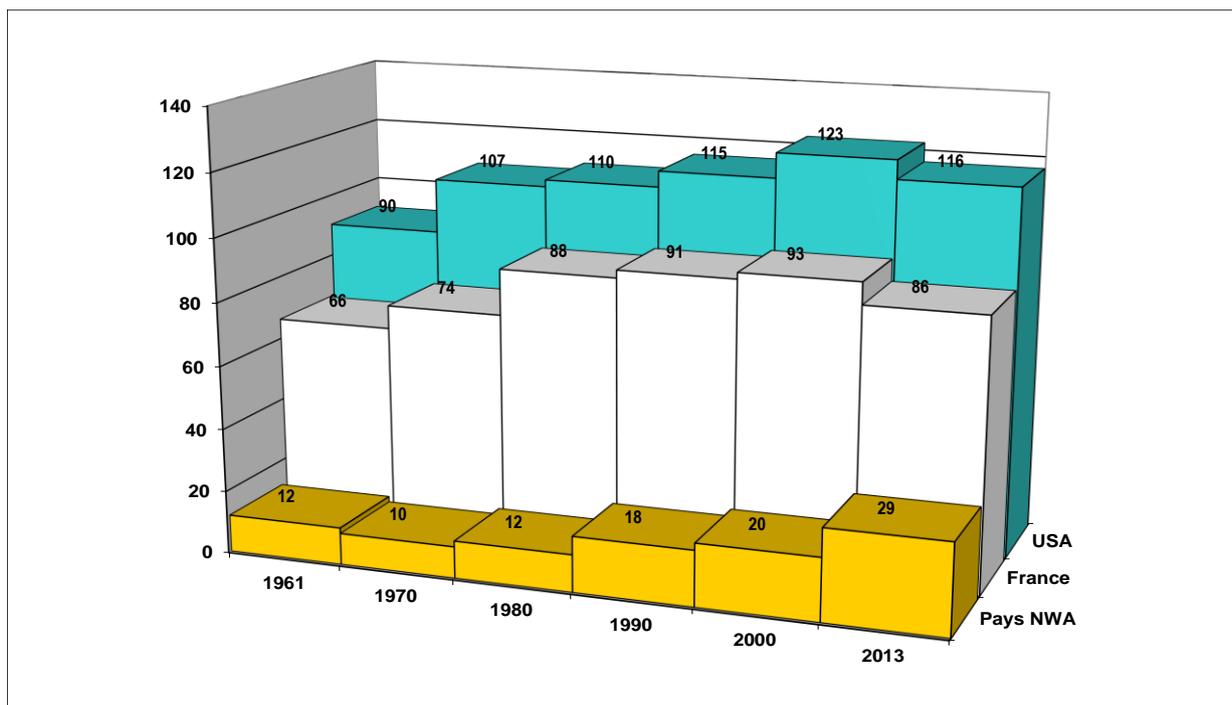


Figure 8. Evolution de la consommation totale de viande dans la région de l'Afrique du Nord-Ouest, en France et aux Etats Unis - 1961-2013 [kg/an/hab] (Source données, FAOSTAT)

L'augmentation significative des besoins en eau pour répondre à la demande alimentaire indique que les consommateurs des pays de l'Afrique du Nord-Ouest sont encore dans une phase de transition alimentaire. En comparaison avec les pays qui ont déjà réalisé leur transition alimentaire - par exemple les économies nord-américaine et européenne -, l'Empreinte Eau des produits alimentaires d'origine végétale des pays de l'Afrique du Nord-Ouest atteint des niveaux comparables à ceux des économies européennes. Les pays de l'Afrique du Nord-Ouest ont des niveaux élevés de consommation de céréales, de fruits frais, de légumes et d'huiles végétales, ce qui correspond au régime méditerranéen typique. En revanche, la région a des niveaux de consommation de viandes et de produits animaux très inférieurs - trois fois moins qu'en France et quatre fois moins qu'aux Etats Unis en 2013 - (cf. Figure 8) ; ces faibles niveaux augmenteront nécessairement et feront appel à des apports supplémentaires en Eau Virtuelle, sous forme d'importations de viande et de fourrage, comme c'est cas actuellement en Espagne et dans de nombreuses autres économies d'Europe et du Moyen-Orient. Pour prédire les évolutions futures, un modèle empirique de type exponentiel, construit sur les tendances des quarante années - 1972-2012, a été développé. Ses prévisions sont présentées à la Figure 9 et au Tableau 6. Le modèle suppose que la région va continuer à avoir un régime alimentaire avec les caractéristiques de base du régime méditerranéen mais avec des niveaux de consommation d'origine animale beaucoup plus faibles par rapport à l'Europe. Le régime alimentaire futur à long terme de la région semble être similaire à celui du régime alimentaire actuel de la Turquie qui a presque achevé sa transition alimentaire (Le Mouël et al. 2015). Des résultats similaires sont obtenus pour chaque pays de la région de l'Afrique du Nord-Ouest.

Le deuxième facteur important qui détermine les besoins alimentaires en eau est l'évolution de la population. Les Nations Unies ont élaboré des projections pour tous les pays (Nations Unies, Département des affaires économiques et sociales, Division de la population, 2015). Les projections sont présentées avec quatre hypothèses de fécondité : moyenne, élevée, faible et constante

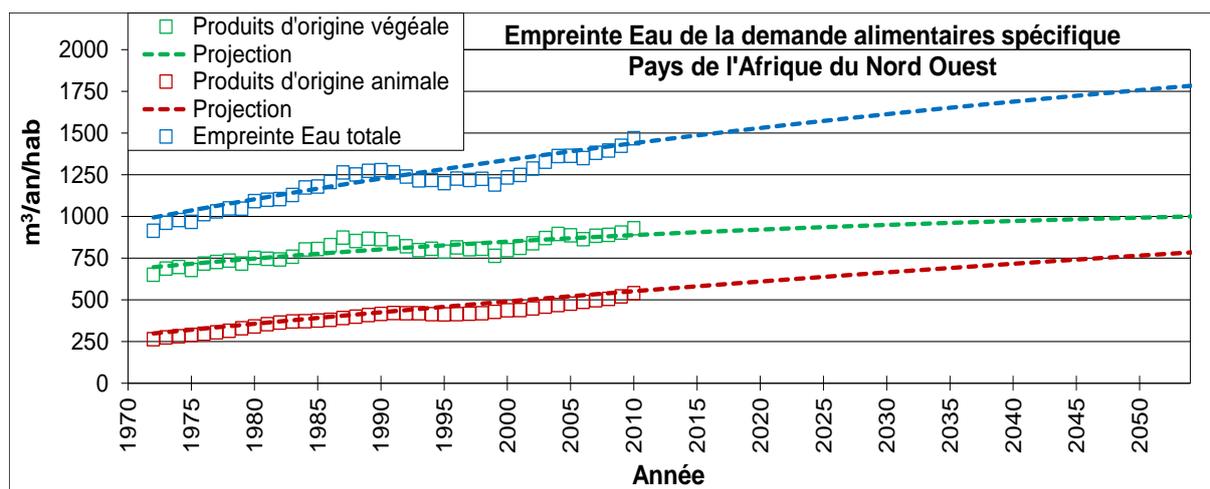


Figure 9. Préviation des besoins spécifiques en eau pour répondre à la demande alimentaire future des pays de l'Afrique du Nord-Ouest

En adoptant l'hypothèse moyenne, le Tableau (6) montre les implications de l'évolution du régime alimentaire et de la population ainsi que les besoins en eau pour la demande alimentaire future. Les besoins totaux en eau de la demande alimentaire vont continuer de croître. Ils pourront dépasser les 210 km³/an d'ici 2050, se stabilisant autour de 250 km³/an vers la fin du siècle, soit le double de son niveau de 2010. Cela vaut pour chacun des pays de l'Afrique du Nord-Ouest qui, compte tenu de l'état des ressources en eaux de surface et souterraines, doivent imaginer de nouvelles approches pour faire face à cette croissance de la demande en ressources hydriques et au défi de production alimentaire qui en résulte. Etablir des projections à long et très long termes est une tâche délicate et difficile et elle est potentiellement sujette à un degré élevé d'incertitude. Les projections, avec des hypothèses différentes sur l'évolution de la population, donnent des résultats variables d'une hypothèse à l'autre et d'un pays à l'autre. Les résultats des projections à long terme (aux horizons 2050 et 2100) sont présentés dans le Tableau 7.

Année		2010	2020	2030	2040	2050
Algerie	Population [Million]	36	43	48.3	52.5	56.5
	SWR* [m ³ /an/hab]	1439	1495	1583	1674	1746
	WR** [km ³ /an]	51.8	64.3	76.5	87.9	98.6
Libye	Population [Million]	6.3	6.7	7.4	8	8.4
	SWR* [m ³ /an/hab]	1520	1620	1700	1734	1782
	WR** [km ³ /an]	9.6	10.9	12.6	13.9	15.0
Maroc	Population [Million]	32.1	36.4	39.8	42.1	43.7
	SWR* [m ³ /an/hab]	1449	1528	1607	1680	1746
	WR** [km ³ /an]	46.5	55.6	64.0	70.7	76.3
Tunisie	Population [Million]	10.6	11.8	12.7	13.2	13.5
	SWR* [m ³ /an/hab]	1583	1635	1707	1772	1829
	WR** [km ³ /an]	16.8	19.3	21.7	23.4	24.7
Pays NWA	Population [Million]	85	97.9	108.2	115.8	122.1
	SWR* [m ³ /an/hab]	1468	1533	1615	1691	1758
	WR** [km ³ /an]	125	150	175	196	214

Data source FAOSTAT & United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2015)
 *Demande en eau spécifique des besoins alimentaires (Specific Water Requirements, SWR)
 ** Demande en eau des besoins alimentaires (Water Requirements, WR)

Tableau 6. Préviation des besoins en eau pour la demande alimentaire dans les pays de l'Afrique du Nord-Ouest

Projections Démographiques		Hypothèse Moyenne			Hypothèse Basse		Hypothèse Haute		Fertilité constante	
		2015	2050	2100	2050	2100	2050	2100	2050	2100
Algerie	Population*	39.7	56.5	61.1	50.6	39.8	62.5	89.7	57.8	119.8
	WR**	57.5	98.5	124.5	88.2	81.1	108.9	182.8	100.7	244.2
Libye	Population*	6.3	8.4	8.1	7.5	5.2	9.3	12.2	8.6	13.9
	WR**	9.8	15.0	16.1	13.4	10.3	16.6	24.2	15.3	27.5
Maroc	Population*	34.4	43.7	40.9	39.1	24.9	48.8	63.0	45.1	69.7
	WR**	50.9	76.3	82.1	68.3	50.0	85.2	126.4	78.7	139.9
Tunisie	Population*	11.3	13.5	12.5	12.2	7.7	15.0	19.0	13.6	16.2
	WR**	18.0	24.7	25.7	22.3	15.8	27.4	39.0	24.9	33.3
Pays NWA	Population*	91.6	122.0	122.6	109.4	77.6	135.6	183.9	125.1	219.6
	WR**	136	214	248	192	157	238	373	220	445

Source données, United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2015).
* Population [Million], ** Besoins en eau pour la demande alimentaire (Water Requirements, WR) [km³/an]

Tableau 7. Projections démographiques et prévisions des besoins en eau pour la demande alimentaire des pays de l'Afrique du Nord-Ouest

Les projections démographiques élaborées par l'ONU prévoient des évolutions démographiques contrastées. Les projections démographiques de la variante moyenne prévoient, pour les quatre pays, une stabilisation à l'horizon 2050 suivie d'une légère baisse progressive. Les projections avec la variante à fécondité constante, qui prolonge l'évolution démographique actuelle, accentuent le contraste entre les évolutions dans les quatre pays : la population algérienne triplerait entre 2015 et 2100 alors que la population tunisienne n'augmenterait que de 43 % sur la même période. Des recherches récentes suggèrent que la décélération significative des taux de fécondité qui a marqué les dernières décennies du siècle dernier dans les pays de l'Afrique du Nord-Ouest s'est ralentie (Ouadah-Bedidi & Vallin, 2013). Ces auteurs ont montré que la fécondité reste supérieure au niveau de remplacement dans tous les pays de l'Afrique du Nord-Ouest.

Les évolutions contrastées de la fécondité dans les pays de l'Afrique du Nord-Ouest ont déjà commencé à avoir un impact sur les projections démographiques de chacun des pays de la région. Par exemple, le Population Reference Bureau (2016) a actualisé ses hypothèses pour les projections démographiques dans les pays de l'Afrique du Nord-Ouest : les prévisions pour 2050 sont proches des projections démographiques de l'ONU de 2015 avec l'hypothèse élevée pour l'Algérie et la Tunisie ; alors qu'elles sont inférieures aux projections de l'ONU avec l'hypothèse moyenne pour Maroc et Libye. Si les tendances récentes se poursuivent, la variante à fécondité constante serait plus appropriée pour les projections à long terme. Le Tableau 7 montre que le taux de fécondité constant donne des résultats comparables à ceux de l'hypothèse moyenne pour 2050, en revanche les projections révèlent une image complètement différente pour 2100. Quant aux besoins en eau de la demande alimentaire des pays de l'Afrique du Nord-Ouest, ils atteindraient près de 450 km³/an d'ici 2100, soit 3,5 fois plus que son niveau de 2010 ; celui de l'Algérie dépasserait 4,7 fois et celui de la Tunisie serait d'environ deux fois sa valeur en 2010.

5- EMPREINTE EAU DE LA DEMANDE ALIMENTAIRE DES PAYS DE L'AFRIQUE DU NORD-OUEST, FAITS MARQUANTS ET LEÇONS A TIRER

Eau Bleue et Eau Verte

La décennie 2004-2013 est la dernière décennie pour laquelle FAOSTAT fournit des données complètes pour les quatre pays. Les données montrent que le volume total d'eau consacré à la production alimentaire - l'Empreinte Eau - dans la région est de 66,9 km³/an, dont 17 % d'Eau Bleue

(11,5 km³) et 83 % d'Eau Verte (55,4 km³). Il existe au sein du groupe des pays de l'Afrique du Nord Ouest, une forte disparité dans la proportion d'Eau Bleue dans l'Empreinte Eau de la production alimentaire, 12% en Algérie, 14% en Tunisie, 18% au Maroc et 54% en Libye.

Efficacité globale de l'irrigation

L'Empreinte Eau Bleue, y compris l'Eau Géologique, de la production agroalimentaire est estimée à 11,5 km³/an, tandis que les prélèvements alloués à l'agriculture s'élèvent à 21,5 km³/an (Tableau 1). Rappelons que l'Empreinte Eau est le volume d'eau douce effectivement utilisé dans les différentes phases du cycle de production végétale. En irrigation, on peut considérer que cela correspond au volume réellement consommé par la plante, par exemple dans les systèmes d'irrigation au goutte-à-goutte. En pratique, les pays l'Afrique du Nord-Ouest ne sont que partiellement et inégalement équipés de systèmes d'économie d'eau d'irrigation. Si l'on soustrait les volumes d'eau consacrés à l'élevage et à l'aquaculture, ainsi que les quantités d'eau allouées à l'agriculture et non consommées, l'efficacité globale des systèmes d'irrigation de la région - le rapport Empreinte Eau par le volume alloué à l'irrigation - peut être estimée à 55 % en moyenne.

Composantes de l'Empreinte Eau de la production agricole

Les principales composantes de l'Empreinte Eau de la production agricole dans les pays de l'Afrique du Nord Ouest sont : 1) céréales : 26,2 km³/an, soit 41 % ; 2) fruits & légumes : 15,5 km³/an, soit 24 % des produits alimentaires. On trouve ensuite la production des parcours : 13,3 km³/an, soit 20%, les olives : 4,8 km³/an (8%), puis les dattes : 2,3 km³/an (4%). Il est utile de noter que les céréales, les productions des parcours et les olives sont majoritairement, sinon totalement, cultivées en pluvial (Eau Verte), alors que les fruits et légumes sont majoritairement irrigués et leur culture dépendent des allocations de l'Eau Bleue et l'Eau géologique.

Empreinte Eau Verte et variabilité des précipitations

L'Empreinte Eau Verte est particulièrement variable car déterminée par les précipitations. A titre d'exemple, la Figure 10 montre pour la Tunisie comment l'Empreinte Eau Verte est directement liée aux précipitations annuelles moyennes pondérées spatialement.

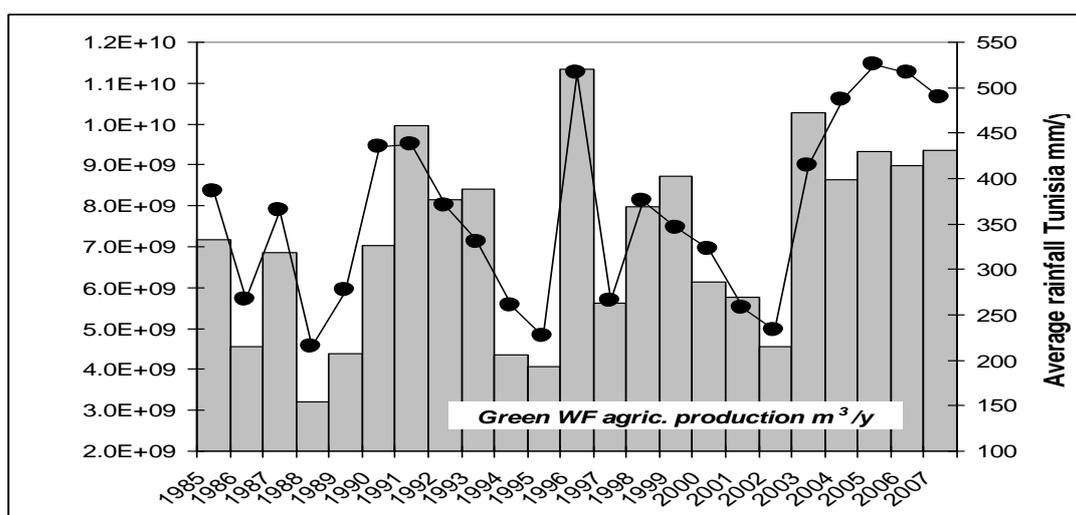


Figure 10. Empreinte Eau Verte de la production agricole en Tunisie [m³/an] et précipitations annuelles moyennes pondérées [mm] (1985 à 2017)

Exploitation acceptable de l'Eau Géologique non renouvelable

L'eau souterraine allouée à l'agriculture dans les pays de l'Afrique du Nord Ouest est de 12,4 km³/an, ce qui représente 82 % des prélèvements totaux d'eau souterraine. Sur ces prélèvements, on estime que le déficit, calculé par rapport au potentiel en ressources renouvelables, à 7,35 km³/an, soit 60 % de l'utilisation agricole des eaux souterraines. Ainsi, au niveau régional, près des deux tiers de l'irrigation dépendent de l'eau géologique. L'eau est exploitée et surexploitée, c'est en tout cas le cas de l'eau non renouvelable. Ces pratiques sont insoutenables. Les 11,5 km³ d'Eau Bleue allouée à l'irrigation produisent des légumes, des fruits et des dattes. La production de dattes, dont l'Empreinte Eau est estimée à 2,3 km³/an ou un cinquième de l'Empreinte Eau Bleue totale, provient presque exclusivement des oasis puisant dans l'Eau Géologique. La pérennité de la production de dattes sera à plus ou moins long terme compromise ou remise en question.

Tendances de la consommation d'Eau Bleue et d'Eau Verte

Les Empreintes Eau Bleue et Eau Verte ont augmenté au cours des cinquante dernières années (Figure 11). Alors que la superficie totale équipée pour l'irrigation a presque triplé dans tous les pays de l'Afrique du Nord Ouest, la superficie totale cultivée en pluvial est restée presque stable (Tableau 2). L'augmentation significative de la production sur les terres pluviales s'explique principalement par l'amélioration des rendements des cultures pluviales. L'irrigation qui continue à prendre de l'expansion se heurte aux limites physiques de la ressource. Premièrement, en raison des ressources limitées en Eau Bleue et de la surexploitation des eaux souterraines partout dans la région. Deuxièmement, en raison de l'augmentation de la demande en eau d'autres secteurs - municipalités, industrie et tourisme - auxquels la priorité est donnée dans l'allocation de l'eau. La production agricole pluviale a un potentiel supplémentaire car l'amélioration des rendements devrait se poursuivre à l'avenir.

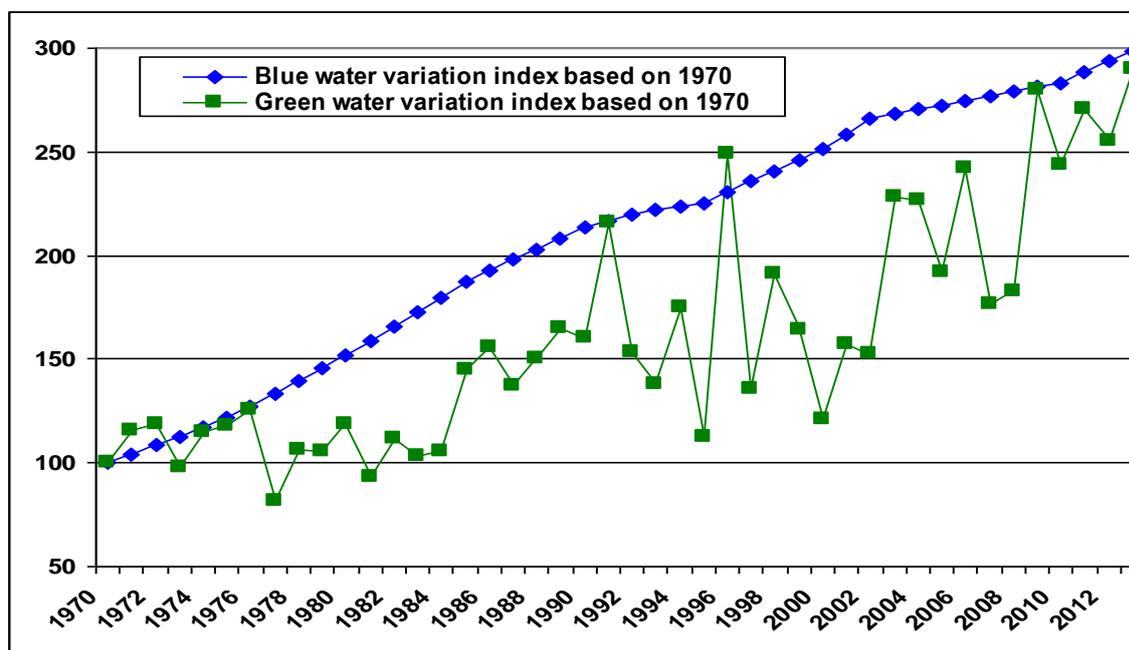


Figure 11. Indices de variation de l'Eau Bleue et de l'Eau Verte de 1970 à 2013 (Indice 1970 = 100)

Eau Virtuelle

Au cours de la période 2004-2013, la région de l'Afrique du Nord-Ouest a été un importateur net d'Eau Virtuelle. L'importation d'Eau Virtuelle est estimée à 59,1 km³/an, avec une valeur moyenne de 0,25

US\$/m³. Durant la même période, l'exportation d'Eau Virtuelle de la région a représenté en moyenne 5,3 km³/an, avec une valeur de l'eau de 0,62 US\$/m³.

Dépendance alimentaire

En important des produits au lieu de les produire localement, la région n'utilise pas 59,1 km³/an de ressources en eau locales, soit l'équivalent de 93% de l'Empreinte Eau de la production des pays de l'Afrique du Nord Ouest. Cependant, l'augmentation des importations alimentaires pour soulager la pression sur les ressources en eau locales augmente la dépendance alimentaire et peut avoir des effets négatifs sur les systèmes agricoles nationaux. Ainsi, le ratio des importations totales par rapport quantités produites, exprimé en Empreinte Eau, est de 140% en Algérie, 170% en Libye, 54% au Maroc, 82% en Tunisie et 93% pour l'ensemble des pays de l'Afrique du Nord Ouest.

Poids du blé dans le commerce alimentaire

Il est important de noter que les importations de blé, dont près de 90 % sont destinées à l'alimentation humaine dans la région, ont atteint un volume moyen de 21,8 km³/an au cours de la décennie 2004-2013. L'Empreinte Eau des importations de blé équivaut environ 120 % de la production de blé de la région - 65 % au Maroc, 100 % en Tunisie, 223 % en Algérie et 326 % en Libye (Figure 12).

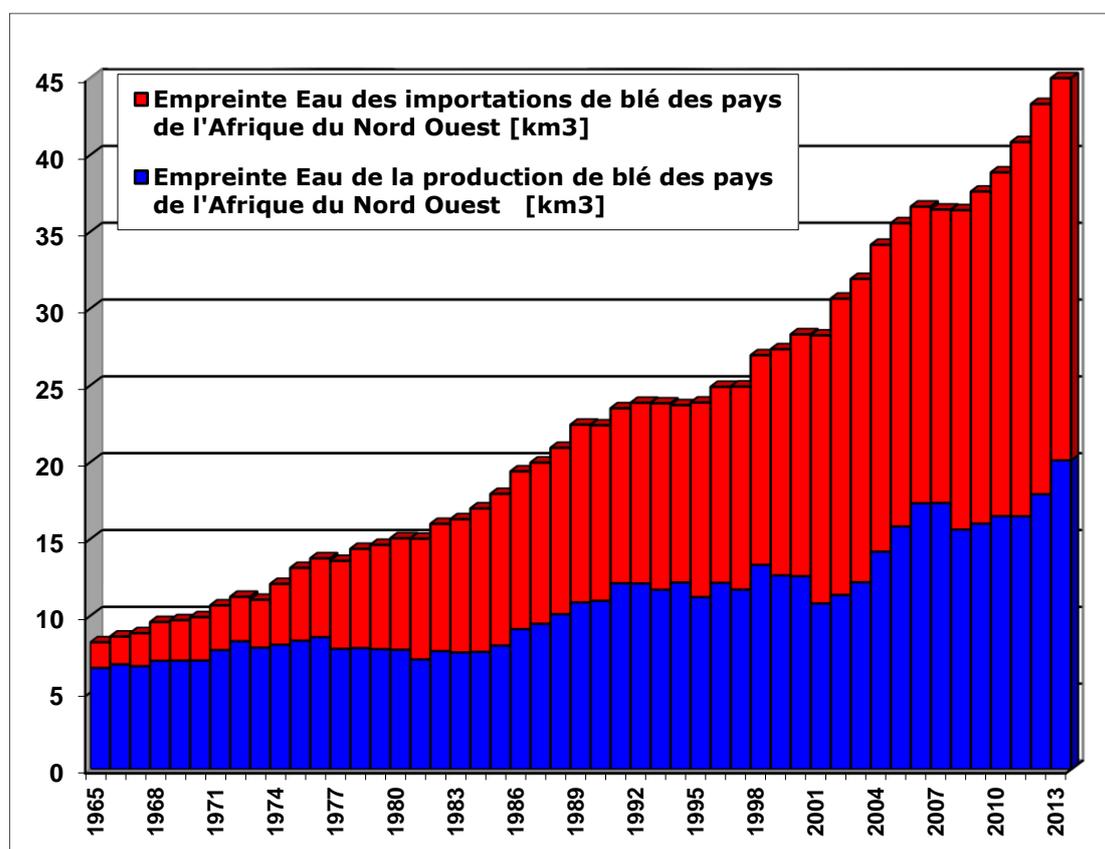


Figure 12. Empreintes Eau de la production et des importations de blé de la région de l'Afrique du Nord-Ouest, km³/an de 1965 à 2013 (Source données, FAOSTAT).

Amélioration des rendements

Le risque de pénurie alimentaire a été considérablement atténué par les politiques agricoles menées par les pays de l'Afrique du Nord Ouest, et un certain nombre d'incitations ont également porté leurs fruits, notamment en ce qui concerne l'augmentation des rendements agricoles. Le blé est le principal exemple, mais d'autres cultures ont connu des augmentations similaires - orge, fruits, légumes et

production des parcours. La Figure 13 montre comment les rendements ont augmenté - jusqu'à plus du double -, avec une période de déclin au Maroc causée par de graves sécheresses dans les années 1990.

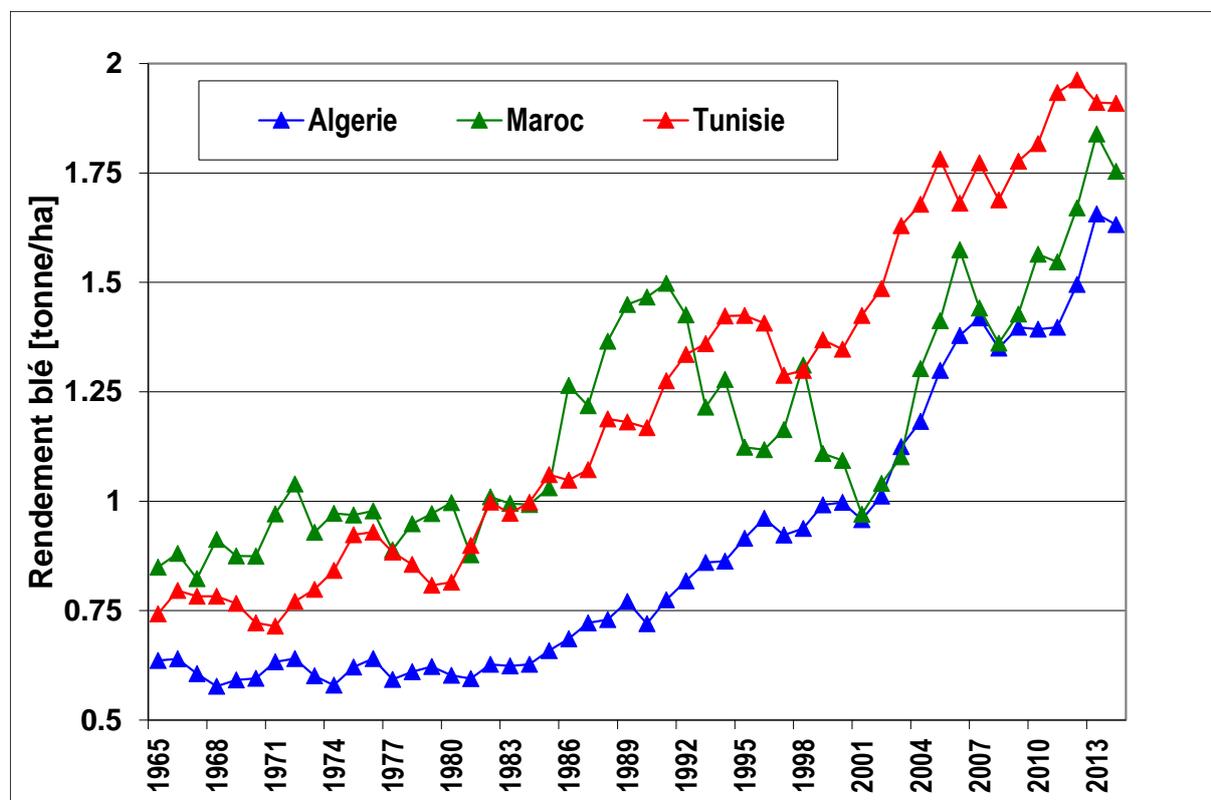


Figure 13. Evolution des rendements du blé dans les pays de l'Afrique du Nord-Ouest (Source données, FAOSTAT).

Gestion de la demande alimentaire

Malgré les progrès dans les divers secteurs agricoles, la région de l'Afrique du Nord-Ouest doit s'efforcer de garantir un degré de sécurité alimentaire de base à des coûts acceptables. En ce qui concerne les céréales et l'agriculture vivrière en général, des études approfondies devraient être entreprises pour déterminer les niveaux « stratégiques » des productions nationales et des importations alimentaires et le rôle des ressources en eau dans la conception des options politiques. Comme dans toutes les économies, les déchets se produisent à divers endroits de la chaîne de valeur des denrées alimentaires. Il est essentiel de concevoir et de mettre en œuvre une politique de « gestion de la demande alimentaire », qui vise à faire comprendre aux consommateurs les conséquences du gaspillage ou des mauvaises utilisations des denrées alimentaires. Ces derniers ont pour conséquences, des pressions inutiles sur l'eau et sur les écosystèmes puisque la production alimentaire est étroitement liée à la question de l'eau. Il est également nécessaire d'amener les agriculteurs à reconnaître les conséquences en aval de leurs pratiques de gestion des terres et de l'eau (Hamdane, 2014 ; Besbes, Chahed et Hamdane, 2009)

Les principales conclusions suivantes peuvent être notées concernant la production et le commerce des aliments dans la région de l'Afrique du Nord-Ouest

Production alimentaire

Du fait de ses plus grandes ressources pluviométriques, le Maroc est sans conteste le plus grand producteur de produits agricoles de la région avec une Empreinte Eau de 30,3 km³/an, soit 45% de

celle de la production de la région. Les céréales ont une Empreinte Eau de 14,2 km³/an (54 % de celle de la région) ; celle des olives est de 1,85 km³/an, soit 39 % de l'Empreinte Eau de la région. La Tunisie a une production d'olives quasiment égale à celle du Maroc, avec une Empreinte Eau de 1,82 km³/an soit 38% de celle la région. L'Algérie est le leader des productions de fruits et légumes dont l'Empreinte Eau s'élève 5,5 km³/an et 41% de celle la région. Les dattes algériennes ont une Empreinte Eau de 1,4 km³/an et représentent 61% de l'Empreinte Eau de la production de dattes de la région. L'Empreinte Eau des productions des parcours (ovins & caprins) s'élève à 6,3 km³/an et 47% de celle la région.

Importations alimentaires

Les produits céréaliers, en particulier le blé, dont l'Algérie est le deuxième importateur mondial, sont les principales importations de produits alimentaires de la région. Le Maroc est le 9ème importateur mondial de céréales, et la région de l'Afrique du Nord Ouest, avec 10,9 Millions de tonnes est un importateur mondial majeur. L'Algérie a des niveaux très élevés d'importations de produits alimentaires représentant 29,5 km³/an d'eau virtuelle, soit 50% des importations de la région. Dans le détail le blé représente 11,7 km³/an d'Eau Virtuelle, soit 5,8 Millions de tonnes (54 % de la région) et l'ensemble des céréales 14,8 km³/an (48 % de la région). Les importations de sucre représentent 4,1 km³/an d'Eau Virtuelle (46 % de la région) et les huiles végétales 3,2 km³/an d'Eau Virtuelle (38 % de la région).

Exportations alimentaires

Les exportations de denrées alimentaires de la région sont très faibles par rapport aux importations. En termes d'Eau Virtuelle, le ratio est de 9 % pour l'ensemble de la région, 0,1 % en Libye, 2 % en Algérie, 11 % au Maroc et 34 % en Tunisie. La Tunisie occupe la première place avec 2,83 km³/an d'Eau Virtuelle exportée, représentant 53% du total des exportations régionales. Les détails de l'Empreinte Eau des exportations Tunisiennes sont : olive 1,64 km³/an (85 % de la région), produits céréaliers 0,29 km³/an (42 % de la région) et dattes 0,18 km³/an (75 % de la région). Le Maroc exporte des fruits et légumes avec 0,16 km³/an d'Eau Virtuelle (60 % de la région) et des agrumes avec 0,27 km³/an (95 % de la région). L'Algérie exporte des produits sucriers pour 0,38 km³/an (77% de la région).

La région de l'Afrique du Nord Ouest peut-elle améliorer sa sécurité alimentaire ?

Dans les circonstances démographiques, sociales et géostratégiques auxquelles sont confrontés les peuples et les gouvernements des pays de l'Afrique du Nord-Ouest, il est légitime de se poser la question : les pays l'Afrique du Nord-Ouest peuvent-ils, à terme, augmenter leur production de céréales, notamment de blé, minimiser les charge des importations et améliorer leur indépendance alimentaire ? Au cours de la décennie 2004-2013, le blé a été cultivé sur 5,6 Million ha, soit 22% des terres cultivées, produisant 8,8 Million t/an, avec une Empreinte Eau de 18 km³/an ; soit 27% de l'Empreinte Eau de l'ensemble des terres agricoles. Cette production de blé représente une valeur de 1880 M\$/an contre 15950 M\$/an pour l'ensemble de la production agricole, soit 12%. Au cours de la même période, les importations de blé ont atteint en moyenne 10,9 Millions de t/an, soit 21,8 km³/an d'Eau Virtuelle représentant 37 % du total de toutes les importations alimentaires. Les deux principales céréales (blé & orge) occupent 36% des terres cultivées et représentent une Empreinte Eau de 41% de celle de la production agricole. Les importations de blé et d'orge représentent 52 % de l'Eau Virtuelle totale des importations alimentaires.

Bilans prospectifs du blé des pays de l'Afrique du Nord Ouest

Quelles sont les mesures susceptibles d'avoir des impacts positifs sur la production de blé dans la région ? En plus de l'irrigation supplémentaire pour atténuer les déficits pluviométriques pendant la saison de croissance, de nombreux problèmes ont été identifiés pour lesquels il convient de trouver des solutions. Les budgets de la recherche scientifique doivent être maintenus et renforcés. L'optimisation des variétés des semences et leur adaptation aux contextes bioclimatiques sont essentiels, tout comme l'extension des méthodes d'agriculture de conservation en particulier dans les zones pluviales. Il

convient également d'engager des réformes foncières et de mettre en place des systèmes efficaces de manutention et de stockage des récoltes pour réduire les pertes.

Malgré des pratiques agricoles non optimales et la nécessité de réformes structurelles et sociales, la production de blé dans la région est passée d'une moyenne de 4 Millions de tonnes dans les années 1970 à 9 Millions de tonnes dans les années 2010, soit une augmentation de 2,2 fois. Les surfaces ensemencées n'ayant pas changé, cette progression s'explique par l'amélioration des rendements. En admettant que taux de croissance des rendements se maintient à horizon 2050 pour l'ensemble de la région, le rendement serait de 3,43 tonnes/ha en 2050 (Tableau 7). Dans un tel scénario et en supposant que la consommation spécifique de blé reste constante, les importations conserveraient leur niveau actuel. La production de blé devra plus que doubler, nécessitant des ressources en eau de plus de 38 km³/an, un volume très important pour cette région pauvre en eau. Une stratégie de l'Eau Verte est la seule option possible.

Bilan blé dans les pays NWA		1970	2004 – 2013*	2050
Population *1000		37600	83760	122000
Superficie cultivée [ha]		5.25	5.6	5.6
Rendement [t/ha]		0.72	1.57	3.43
Demande de la région [Kg/an/hab]		133	233	233
Production	[M tonnes]	3.78	8.8	19.2
	Empreinte Eau [Km ³]	7.6	17.6	38.4
Besoins	[M tonnes]	5.08	19.4	28.4
	Empreinte Eau [Km ³]	10.2	38.8	56.9
Exportations	[M tonnes]	0.006	0.3	0.5
	Eau Virtuelle [Km ³]	0.01	0.6	1.0
Importations	[M tonnes]	1.15	10.9	9.7
	Eau Virtuelle [Km ³]	2.3	21.8	19.4
Source données FAOSTAT et estimations propres ; * Moyenne sur la décennie 2004 - 2013				

Tableau 7. Analyse prospective du bilan blé dans les pays de l'Afrique du Nord-Ouest

Culture du blé et agriculture pluviale

Les augmentations de la production de blé au cours des quatre dernières décennies ont contribué à une relative maîtrise des importations de céréales. Les données du Tableau 7 suggèrent que les augmentations futures de la production de blé devraient répondre à l'augmentation future de la demande due à la croissance démographique. Comme les céréales sont principalement cultivées en conditions pluviales, le rôle des agriculteurs dans les zones pluviales doit être apprécié et soutenu par les décideurs politiques.

CONCLUSION

Pour faire face à la croissance démographique et aux demandes en eau et en nourriture qui en résultent, les pays de l'Afrique du Nord-Ouest ont fait d'énormes efforts pour développer les ressources en eau afin de soutenir le développement socio-économique. La promotion de l'agriculture irriguée intensive pour augmenter la production alimentaire locale a été un élément important de la politique agricole dans la région. Dans le cadre de ces politiques, l'intensification agricole a renforcé les productions agroalimentaires locales, permettant de contenir la montée de la dépendance alimentaire. Mais il existe aujourd'hui des preuves incontestables qui indiquent que la pression sur les ressources en eau augmente dans toute la région à mesure que la demande augmente : la mobilisation des eaux de surface a atteint des niveaux critiques et les eaux souterraines sont partout surexploitées. Par

conséquent, il devient alors difficile de poursuivre à développer l'agriculture irriguée à grande échelle sans conséquences sur la durabilité des ressources en eau et en sol.

L'irrigation consomme 72 % de l'Eau Bleue exploitée et fournit 26 % de l'Empreinte Eau des productions végétales. L'agriculture pluviale et la production des parcours fournissent près des trois quarts de l'Empreinte Eau de la production alimentaire et conserve encore un potentiel d'expansion soit par l'extension des surfaces cultivées - mais dans une marge très faible - soit par l'amélioration des rendements. De plus, l'agriculture pluviale représente une part importante des exportations de produits alimentaires ; l'exemple le plus édifiant est celui de l'huile d'olive.

L'amélioration des rendements des parcours et le développement de l'agriculture pluviale constituent des opportunités réalistes pour concilier la production alimentaire future avec les limites environnementales des ressources en eau douce. Néanmoins, malgré le rôle important de l'agriculture pluviale et de la production des parcours dans l'atteinte des objectifs de la sécurité alimentaire, l'Eau Verte n'est pas encore prise en compte dans les stratégies nationales et la gestion de l'eau continue à s'inscrire largement dans une vision hydraulique des ressources. L'aménagement systématique de l'Eau Verte nécessite, au même titre que les ressources en eau conventionnelles : une évaluation minutieuse de son potentiel, une description de sa répartition spatiale et une caractérisation de sa variabilité temporelle. L'objectif est de rendre ce potentiel hydrique plus visible et plus concret afin de l'intégrer systématiquement dans les perspectives de développement et d'exploitation des ressources en eau et en sol. Pour jeter les bases de nouveaux progrès dans cette direction et renforcer la sécurité hydrique nationale de l'eau, les hydrologues, les hydrogéologues, les pédologues et les agronomes devront élargir leur champ d'action au-delà de l'approche classique des ressources en eau.

Il en va de même pour les flux d'Eau Virtuelle liés au commerce international des denrées alimentaires. Les pays de l'Afrique du Nord Ouest vont continuer à recourir aux importations de denrées alimentaires et de produits de base pour combler l'écart entre la production locale et la demande. Cela détermine l'Indice de Dépendance Hydrique : le rapport entre l'Eau Virtuelle nette et les besoins totaux en eau de la demande alimentaire. Les projections démographiques à long terme et les prévisions de la demande alimentaire et en eau aux horizons 2050-2100 indiquent que l'amélioration de la sécurité alimentaire va dépendre de la capacité de la région à faire face à la question de la raréfaction des ressources en eau et à contrôler l'augmentation des besoins en eau liée à la demande alimentaire. L'enjeu crucial est d'optimiser les débits d'Eau Virtuelle. Cela devrait se traduire par un commerce agroalimentaire qui favorise les importations de produits à fortes Empreintes Eau Bleue et l'exportation de produits à faibles Empreintes Eau Bleue et/ou à fortes Empreintes Eau Verte. Tous ces objectifs vont nécessiter des réformes structurelles et sociales audacieuses et profondes du milieu agraire, de nouveaux modes de pensée, de nouvelles capacités scientifiques et techniques en termes de connaissance et de gestion des risques climatiques, ainsi que des investissements intellectuels et matériels considérables.

REFERENCES

Aldaya, M.M., Garrido, A., Llamas, M.R., Varelo-Ortega, C., Novo, P., & Casado, R.R. (2010). Water footprint and virtual water trade in Spain, In: A. Garrido and M.R. Llamas (eds.), *Water policy in Spain*, CRC Press, Leiden, The Netherlands, pp. 49-59

Allan, J. (1998). Virtual Water: A Strategic Resource; Global Solutions to Regional Deficits, *Ground Water*, 36(4), pp.545-546

AQUASTAT (2017). Retrieved from http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/DZA/printfra1.stm ; consulted 13 January 2017.

AQUASTAT (2017). Retrieved from

http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/MAR/printfra1.stm ; consulted 1 May 2017.

Besbes, M., Chahed, J., & Hamdane, A. (2009). Water 2050 in Tunisia: Water balance, optimal uses and water institutions at the horizon 2030 ; *int. rep.* Tunisian Institute for Strategic Studies, Tunis.

- Besbes, M., Chahed, J., & Hamdane, A. (2014). *Sécurité hydrique de la Tunisie, Gérer l'eau en conditions de pénurie*. Ed. L'Harmattan
- Besbes, M., Chahed, J., Hamdane, A., & De Marsily, G. (2010). Changing water resources and food supply in arid Zones: Tunisia. In: G. Schneider-Madanés & M.F Courel (eds.), *Water and Sustainability in Arid Regions*. Springer.
- Besbes, M., Chahed, J., Bargaoui, Z., Matoussi, M. S., & Mhiri, A. (2002). Water future, a new challenge for Tunisia, *Int. Rep. Tunisian Institute for Strategic Studies*, in French, Tunis
- CEDARE (2014). Libya Water Sector Rapid Assessment Report, Monitoring & Evaluation for Water In North Africa (MEWINA).
- Chahed J., Hamdane A., & Besbes M. (2008). A comprehensive water balance of Tunisia: blue water, green water, and virtual water; *Water International*, 33(4), 415- 424
- Chahed J., Besbes M., & Hamdane A. (2011). Alleviating water scarcity by optimizing Green Virtual-Water: the case of Tunisia., *Value of Water Research Report Series, No. 54*, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands, 99-114.
- Chouchane, H., Hoekstra, A. Y., Krol, M. S., & Mekonnen, M. M. (2015). The water footprint of Tunisia from an economic perspective. *Ecological indicators*, 52, 311-319.
- Ercin, A.E., Mekonnen, M.M & Hoekstra, A.Y. (2012). The water footprint of France, *Value of Water Research Report Series No. 56*, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands.
- FAOSTAT (2017). Retrieved from <http://www.fao.org/faostat/en/#data> ; consulted May and June 2017.
- Hamdane , A. (2013). La Triade eau bleue, eau verte, eau virtuelle, Demeter 2013 Paris- Economie et stratégies agricoles
- Hoekstra A.Y., & Mekonnen M. (2011). The water footprint of humanity ; Edited by Peter H. Gleick, Pacific Institute for Studies in Development, Environment and Security, Retrieved from <http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1109936109>
- Hoekstra, A.Y., & Chapagain, A.K. (2007). Water footprints of nations: water use by people as a function of their consumption pattern, *Water Resources Management* 21(1), 35-48
- Kampman, D.A., Hoekstra, A.Y. & Krol, M.S. (2008). The water footprint of India, *Value of Water Research, Report Series No.32*, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands
- Le Mouël C., Forslund, A., Marty, P., Manceron, S., Marajo-Petizon, E., Caillaud, M.A., & Chmitt, B. (2015). Le système agricole et alimentaire de la région Afrique du Nord – Moyen-Orient à l'horizon 2050 : projections de tendance et analyse de sensibilité. *Rapport final de l'étude réalisée pour le compte de Pluriagri*, Paris et Rennes : INRA-DEPE & INRA-SAE2, 133 p.
- Liu J., & Savenije H.H.G. (2008). Food consumption patterns and their effect on water requirement in China, *Hydrology and Earth System Sciences* 12(3): 887-898
- Ouadah-Bedidi, Z. & Vallin, J. (2013). Toward replacement level: unexpected recent changes in Maghrebian fertility, *XXVII IUSSP International Population Conference, 26-31 August 2013*. Busan, Republic of Korea, Retrieved from https://iussp.org/sites/default/files/event_call_for_papers/Recent-fecundity-changes-Maghreb-Busan-2013-long-summary-English.pdf
- Population Reference Bureau (2016). 2016 World population data sheet with a special focus on human needs and sustainable resources, Retrieved from <http://www.prb.org/pdf16/prb-wpds2016-web-2016.pdf>
- Renault D., & Wallender. W.W. (2000). Nutritional Water Productivity and Diets : From crop per drop towards nutrition per drop. *Agricultural Water Management*, 45:,275-296

Schyns, J. F., & Hoekstra, A. Y. (2014). The water footprint in Morocco; The added value of Water Footprint Assessment for national water policy, *Value of Water Research Report Series No. 67*, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands.

SSO (2003). The shared circum-saharan great basins, Sahara & Sahel Observatory (SSO), Tunis.

United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2015): World Population Prospects: *The 2015 Revision, Volume I: Comprehensive Tables (ST/ESA/SER.A/379)*.

Van Oel, P.R., Mekonnen M.M., & Hoekstra, A.Y. (2009). The external water footprint of the Netherlands: Geographically-explicit quantification and impact assessment, *Ecological Economics* 69(1), 82-92

Vincent D., De Caritat A.K., Stijn Bruers S., Chapagain A., Weiler P., & Laurent A. (2011). Belgium and its water footprint, WWF-Belgium, Brussels

Zimmer D. (2013). *L'empreinte-eau*. Mayer Charles Leopold Eds.