ResearchGate

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: https://www.researchgate.net/publication/274072038

Une vision intégrale du bilan hydrique de la Tunisie : Eau Bleue, Eau Verte, Eau virtuelle

Conference Paper · September 2005

CITATIONS
0

READS
532

3 authors:

Jamel Chahed
University of Tunis El Manar
124 PUBLICATIONS **469** CITATIONS
SEE PROFILE

Abdelkader Hamdane
Institut national agronomique de Tunisie (INAT)
49 PUBLICATIONS **138** CITATIONS
SEE PROFILE

Mounir Besbes
University of Tunis El Manar
98 PUBLICATIONS **287** CITATIONS
SEE PROFILE

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

Project Coupled atmospheric dispersion modeling View project

Project National Water Security View project

All content following this page was uploaded by Jamel Chahed on 26 March 2015.

The user has requested enhancement of the downloaded file.

Une vision intégrale du bilan hydrique de la Tunisie : Eau Bleue, Eau Verte, Eau virtuelle

Jamel Chahed*[1] , Abdelkader Hamdane**, Mutapha Besbes*
**Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis, BP N 37, Le Bélvédère, 1002 Tunis, Tunisie.*
*** Ministère de l'Agriculture et des Ressources Hydrauliques, Direction Générale du Génie Rural et de l'Exploitation des Eaux, Rue Alain Savary, Tunis, Tunisie.*

Abstract: In the integral water vision developed in this paper all kind of water resources are considered: mobilized water "Blue Water", Equivalent-Water of the rain fed agriculture "Green Water" and the Equivalent-Water of the import-export food balance "Virtual Water".

In countries where the water resources are limited, this global assessment of water resources, that goes further than the traditional concept of the blue water leads to a better comprehension of the relation between water and the agricultural production and allows to optimize the use of all the water resources.

The global assessment of water resources gives a real evaluation of the possibility of the agricultural production. When applied to the Tunisian water balance, this analysis indicates that, the improvement of food security will depend, in the future, on the capacity to manage all the available water in particular by improving the potential of the rain fed agriculture.

Key words: water resources - blue water - green water – virtual water - food security

1. INTRODUCTION

L'agriculture a beaucoup évolué au cours des dernières décennies. Le développement de l'irrigation, l'usage des engrais chimiques et des pesticides, la mise au point de Variétés à Hauts Rendements (VHR) ont permis des progrès significatifs dans l'amélioration de la production des

[1] Tél : 216-71-874700, Fax : 216-71-872729. e-mail : jamel.chahed@enit.rnu.tn

cultures. L'introduction de cette agriculture moderne dans les pays du Sud a pris le nom de "Révolution Verte" ; très significatif de l'espoir que suscite la perspective de pouvoir accroître la production agricole pour faire face à la demande alimentaire en forte croissance dans les pays en développement.

Plus que dans les pays mieux nantis en ressources en eau, le rôle de l'agriculture irriguée apparaît comme salutaire dans les pays à climats aride et semi-aride : elle permet l'accroissement et la stabilisation de la production agricole et joue de ce fait un rôle déterminant dans les politiques de développement de ces pays. Les résultas spectaculaires de la révolution verte et ses incidences sur la production agricole ont conduit à l'idée largement admise que les besoins alimentaires supplémentaires, induits par la croissance démographique ou par l'amélioration du niveau de vie de la population, devront dans l'avenir être produits essentiellement par l'agriculture irriguée. A mesure que les populations s'accroissent et que les demandes en eau des différents secteurs socio-économiques s'amplifient, il devient plus difficile et plus coûteux de mobiliser l'eau en particulier lorsque les potentialités des ressources en eau sont limitées. D'une façon générale, le taux de prélèvement (qui compare le volume d'eau prélevé au volume théoriquement mobilisable) indique la marge sur laquelle il est possible de compter pour accroître l'offre. Quand cette marge se rétrécit, la pression sur la ressource en eau se fait de plus en plus forte et la sensibilité des usages aux risques de pénurie de plus en plus concrète.

La demande directe en en eau pour couvrir les besoins urbains et industriels dépend du niveau de vie et du niveau d'industrialisation mais reste en général modérée. En revanche, la demande en eau de la production agro-alimentaire est élevée ; elle dépend du régime nutritionnel et évolue au rythme du changement des modes d'alimentation. Abstraction faite de l'origine de l'eau, il faut environ 1 m^3 d'eau pour produire 1 kg de céréales alors que 20 m^3 sont nécessaires pour produire 1 kg de viande de bœuf. Il en résulte que dans les pays où l'alimentation est plutôt basée sur les céréales ou d'autres produits d'origine végétale, l'équivalent eau des besoins alimentaires d'une personne durant une année est de l'ordre de 1000 m^3. Il est beaucoup plus élevé dans les pays où la part des produits carnés dans la structure de l'alimentation est plus importante. Il faut, par exemple, environ 2200 m^3 d'eau pour nourrir un californien-type.

Dans plusieurs pays semi-arides, une grande part des besoins alimentaires est assurée par les cultures pluviales. On parle "d'Eau Verte" : les plantes cultivées en sec permettent de valoriser une part considérable des ressources en eau contenues dans les réserves utiles du sol. Lorsque les ressources en eau sont un facteur limitant pour la production agricole, l'importation de produits alimentaires est une façon de combler le déficit en eau. On parle alors d'"Eau Virtuelle". Ce concept signifie que l'importation de denrées alimentaires est assimilable à l'importation d'une quantité d'eau équivalente au volume qui aurait servi à les produire

localement. Dans certains pays, la contribution de ces apports en eau à caractère fictif est vitale ; elle participe souvent de manière déterminante à la sécurité alimentaire de ces pays.

Paradoxalement, ces aspects importants des bilans hydriques ne sont pas pris en considération de manière directe dans les études de prospectives et dans les politiques de l'eau. Des exercices de prospectives dans le secteur de l'eau ont été réalisés au cours de la dernière décennie à l'échelle mondiale, à l'échelle régionale et dans certains pays. L'ensemble des ces études s'inscrit dans le cadre d'une vision classique de la question de l'eau et qui consiste à exprimer le bilan hydrique en terme d'adéquation offre-demande des ressources en eau mobilisables "Eau Bleue". Dans un contexte où les ressources en eaux sont limitées, cette vision reste incomplète : elle ne prend pas en compte le potentiel hydrique global des ressources et ne s'appuie pas sur l'évaluation réelle de la demande. En effet, l'eau pluviale effectivement "mobilisée" par l'agriculture en sec et par les pâturages participe, au même titre que l'eau d'irrigation, à la production alimentaire ; son apport, souvent considérable, n'est pas comptabilisé dans les bilans hydriques.

Le fait d'élargir les bilans hydriques à l'eau pluviale mobilisée directement par les cultures en sec donne une autre dimension aux ressources en eau. Les potentialités d'eau mobilisable dépassent alors les quantités d' " Eau Bleu " pour couvrir l'ensemble des ressources en eau pouvant participer à la production alimentaire. Le potentiel d'"Eau Verte" intègre donc toutes les précipitations sur les superficies potentiellement utilisables pour l'agriculture. Si d'un autre coté on prend compte l'ensemble des besoins en eau de la demande alimentaire, on aboutirait à une confrontation de la totalité des besoins à l'ensemble des ressources pouvant être mobilisées y compris les réserves utiles du sol.

Cette vision plus large des ressources hydriques et plus complète de la demande en eau, conduit à relativiser les critères et indicateurs utilisés pour caractériser les situations de stress hydrique. Il est conventionnellement admis que l'on peut parler de stress hydrique lorsque les ressources d'eau douce renouvelables tombent en dessous de la barre de 1700 m^3 par habitant et par an. On considère également que l'eau devient un facteur limitant du développement socio-économique en dessous du quota de 1000 m^3 d'eau douce renouvelable par an et par habitant. Cette classification, appliquée à l'ensemble des pays du globe, est discutable voire même, à certains égards, contestable. Il est en effet difficile d'appliquer ce concept de manière uniforme à tous les pays compte tenu des disparités qui caractérisent la ressource en eau, le mode de son exploitation et de son emploi, les ressources humaines et matérielles employées dans sa gestion. Il est par ailleurs difficilement justifiable de parler de stress hydrique sans se référer à la totalité des ressources en eau et sans les confronter à l'ensemble des demandes en eau, très variables notamment pour ce qui concerne les besoins alimentaires.

Dans les pays où l'offre en ressources mobilisables "Eau Bleue" est limitée, cette perception intégrale de la question de l'eau permet d'interpréter les bilans hydriques vis-à-vis des possibilités réelles de la production agricole. Cela permet, le cas échéant, d'agir sur l'ensemble des moyens de production pour assurer un niveau de sécurité alimentaire en cherchant à mieux équilibrer les bilans de la balance agro-alimentaire par l'optimisation des flux d'"Eau Virtuelle". Cette vision suppose que l'on doit compter avec toutes les formes de ressources en eau (valorisation de l'agriculture pluviale, développement de ressources alternatives, etc.), mais aussi avec les apports en terme d'équivalent en eau du bilan des importations et des exportations des produits agroalimentaires "Eau Virtuelle".

2. DEVELOPPEMENT DE L'OFFRE ET GESTION DE LA DEMANDE DES RESSOURCES EN EAU EN TUNISIE

Les ressources pluviales de la Tunisie sont estimées à 36 Milliards m^3/an. La partie mobilisable correspond à un potentiel 4.7 Milliards de m^3/an, dont 2.7 Milliards d'eau de surface et 2.0 Milliards d'eau souterraine. Sur ce potentiel, la part des ressources exploitables représente un volume annuel de 3,3 Milliards m^3/an. Lorsque la demande en eau était modeste et, vis-à-vis de cette demande, la ressource -alors peu exploitée- était abondante, les pouvoirs publics avaient mis en œuvre une politique pragmatique de développement systématique de la ressource en eau. L'objectif essentiel de cette politique était la mobilisation de la totalité de la ressource en vue de la mettre au service du développement socio-économique du pays. Ainsi, un vaste programme de grande hydraulique a été réalisé ; il a doté le pays d'aménagements hydrauliques, de barrages, de forages et de systèmes de transfert. Cette politique de mobilisation de la ressource a joué un rôle déterminant dans le développement des différents secteurs de l'économie à l'échelle nationale : elle a considérablement réduit la vulnérabilité du pays vis à vis des aléas naturels (sécheresses, inondations) et permis de compenser les déficits en eau des zones peuplées et industrialisées des régions côtières. La desserte en eau potable s'est généralisée et l'approvisionnement des différents secteurs de l'économie est aujourd'hui assuré avec une certaine sécurité. L'irrigation a connu un essor important, les surfaces irriguées ont été multipliées par six au cours des quatre dernières décennies ; elles concernent actuellement 380000 hectares, ce qui représente environ 7 % de la superficie agricole du pays [1].

Quand les potentialités de la ressource sont suffisantes vis-à-vis des demandes, la politique de développement de la ressource est simple ; elle consiste à exprimer le bilan hydrique en terme d'adéquation offre-demande, demande qu'on définit à priori et qu'on cherche à satisfaire en

augmentant le taux de mobilisation de la ressource. La mise en équation simplifiée de ce bilan s'écrit :

$$REX(n)=EIR(n)+(1-TR(n))ED(0)(1+\alpha_P+\alpha_{ED})^n+ENV(0)(1+\alpha_{ENV})^n \quad (1)$$

qui exprime le bilan offre – emploi des ressources exploitables (REX) à l'année (n) en fonction de l'évolution de la population P (taux d'accroissement α_P), de la demande de l'irrigation EIR, de la demande environnementale ENV (taux d'accroissement α_{ENV}) et de la demande directe (ED) d'eau potable, d'eau industrielle et d'eau touristique (taux d'accroissement α_{ED}). Ces eaux sont recyclées à un taux TR (taux d'accroissement du taux de recyclage α_{TR}). Dans ce bilan, les taux d'accroissement sont supposés constants sur n années comptées à partir de l'année de référence notée (0).

Cependant, la politique de l'eau fondée sur le développement de l'offre est en passe d'atteindre ses limites : les prélèvements en eau approchent aujourd'hui l'ordre de grandeur des potentialités de la ressource, et de nouveaux défis se profilent pour la Tunisie qui doit s'engager dans une nouvelle étape de développement et de gestion de ses ressources en eau. L'ensemble des études réalisées au cours de la dernière décennie, [2],[3], montre que la politique de l'eau essentiellement fondée sur la gestion de l'offre, doit laisser la place à autre approche axée sur la gestion de la demande pour valoriser au mieux les ressources et définir des modes adaptés d'allocation. Ces études proposent des solutions en termes techniques et économiques (protection de la ressource, réduction des pertes, amélioration de l'efficience des usages, tarification appropriée..) ; elles proposent de même des approches globales en terme de principes d'administration et de gestion de la ressource. Dans plusieurs domaines, les idées qui se dégagent de ces propositions ont déjà été adoptées et des mesures pratiques couvrant des aspects techniques, institutionnels et socio-économiques ont déjà été mises en place. Les résultats des ces réformes sont dores et déjà remarquables en ce qui concerne les indicateurs relatifs à la conservation de la ressource (réduction des pertes, amélioration de l'efficience des usages etc.) tant dans le domaine de l'eau potable que celui de l'eau agricole. A plus long terme les projections de l'étude "Eau 21" [3] misent sur une gestion très rigoureuse des ressources en eau.

En tenant compte de l'ensemble des programmes et de l'amélioration prévisible de la gestion de la ressource, les données relatives à la ressource établies dans l'étude "Eau-21" sont récapitulées dans les tableaux (1a,1b) ; l'allocation de ces ressources entre les différents usages est récapitulée dans le tableau (2) :

	Ressources potentielles				**Ressources mobilisées**			
Année	**1996**	**2010**	**2020**	**2030**	**1996**	**2010**	**2020**	**2030**
Eau de surface	2700	2700	2700	2700	1405	1900	1820	1800
Nappe.Phréatique	720	720	720	720	720	720	720	720
Nappe profonde	1250	1250	1250	1250	997	1250	1250	1250
Total Ressources conventionnelles	**4670**	**4670**	**4670**	**4670**	**3122**	**3870**	**3790**	**3770**
Eau usée traitée	250	400	380	440	120	200	290	340
Dessalement	0	0	0	0	0	10	24	49
Total Ress. non conventionnelles	**250**	**400**	**380**	**440**	**120**	**210**	**314**	**389**
Total des Ressources	**4920**	**5070**	**5050**	**5110**	**3242**	**4080**	**4104**	**4159**

Tableau 1a. Evolution des ressources en eau, en 10^6 m^3, (source : Eau 21[3])

	Ressources mobilisées				**Ressources exploitables**			
Année	**1996**	**2010**	**2020**	**2030**	**1996**	**2010**	**2020**	**2030**
Eau de surface	1405	1900	1820	1800	930	1220	1173	1182,5
Nappe.Phréatique	720	720	720	720	720	720	620	550
Nappe profonde	997	1250	1250	1250	997	1150	1000	1000
Total Ressources conventionnelles	**3122**	**3870**	**3790**	**3770**	**2647**	**3090**	**2793**	**2732,5**
Eau usée traitée	120	200	290	340	120	200	290	340
Dessalement	0	10	24	49	0	10	24	49
Total Ress. non conventionnelles	**120**	**210**	**314**	**389**	**120**	**210**	**314**	**389**
Total des Ressources	**3242**	**4080**	**4104**	**4159**	**2767**	**3300**	**3107**	**3121,5**

Tableau 2b. Evolution des ressources en eau, en 10^6 m^3, (source : Eau 21[3])

Année	**1996**	**2010**	**2015**	**2020**	**2025**	**2030**	**TAAM***
Eau potable	290	381	410	438	464	491	1,60%
Eau industrielle	104	136	150	164	183	203	2%
Eau touristique	19	31	33	36	39	41	2,30%
Total usages directs	**413**	**548**	**593**	**638**	**686**	**735**	
Eau agricole	2115	2141	2115	2082	2058	2035	-0,25%
Total des usages	**2528**	**2689**	**2708**	**2720**	**2744**	**2770**	

*TAAM: Taux d'Accroissement Annuel Moyen

Tableau 2. Projection des demandes en eau en 10^6 m^3, (Source, Eau 21[3])

3. BILANS HYDRIQUES GLOBAUX.

Les projections "Eau 21" s'inscrivent dans le cadre d'une vision classique de la gestion de l'eau qui ne considère que les eaux mobilisables "Eau Bleue". Cette vision est à la base de la plupart des politiques

actuelles de l'eau et de la plupart des études prospectives [5],[6] réalisées, à l'échelle internationale au cours de la dernière décennie. L'agriculture pluviale et les échanges de produits agroalimentaires, qui sont des facteurs essentiels de la sécurité alimentaire dans les pays semi-arides ne sont traditionnellement pas pris en compte dans la planification des ressources en eau.

On assiste au cours des cinq dernières années à une nouvelle formulation de ces questions et certains travaux interprètent déjà le degré de dépendance alimentaire (ou hydrique) des pays en analysant leurs échanges de produits agroalimentaires exprimés en terme d'Equivalent-Eau [7], [8]. Cette interprétation permet de prendre en compte ces apports dans les bilans hydriques et d'interpréter ces bilans vis-à-vis des possibilités des pays en terme de capacité de production compte tenu des potentialités de toutes les ressources en eau et en sol.

En s'appuyant sur différentes sources d'informations, en particulier celles fournies par l'annuaire des statistiques agricoles pour ce qui concerne la production et les échanges de produits alimentaires de 1990 à 1997, un premier calcul permet de dresser comme suit le bilan estimatif de la comptabilité nationale des demandes en eau de la Tunisie

Secteur	**Demande en 10^9 m^3/an**
Irrigation[2]	2. 1
Cultures pluviales [3]	6
Déficit Hydrique de la Balance Alimentaire[4]	3.7
Equivalent-Eau de la demande alimentaire	**11,8**
Collectivités	0. 4
Industries	0. 1
Forêts et Parcours	5. 5
Epargne- sècheresse	0.6
Environnement	0. 1
Total des demandes en eau de la Tunisie	**19. Milliards m^3/an**

Tableau 3. Bilan hydrique global de la Tunisie en année moyenne (base 1990-1997)

Rapporté à la population, L'Equivalent-Eau de l'ensemble des besoins en denrées alimentaires, y compris ceux du secteur touristique, indique que les besoins en eau nécessaires à la production alimentaire sont évalués à 1287 m^3/an/hab. soit Environ 25 fois la demande en eau potable. Ces besoins englobent l'"Equivalent-Eau" de la production de l'agriculture

[2] quantité allouée à l'irrigation
[3] Equivalent-Eau de la production alimentaire nationale en pluvial
[4] calculé à partir de l'Equivalent-Eau de la balance alimentaire

(pluviale et irriguée) et du bilan importation-exportation des produits agro-alimentaire du marché international. La Tunisie exporte de son coté des produits agricoles (agrumes, dattes, primeurs, huile d'olive etc.) qui assurent, en terme d'"Equivalent-Eau", un taux de couverture de près de 30%.

Ces considérations nous conduisent à élargir le bilan hydrique aux apports de l'agriculture pluviale et ceux de la balance agroalimentaire. Exprimé en Equivalent-Eau, le taux de couverture des besoins alimentaires (EALI, Taux d'accroissement α_{ALI}) à l'année n, par la production de l'agriculture en sec (EV, Taux d'accroissement α_{EV}) et irriguée (exprimé en fonction de l'évolution de l'offre et de la demande des différents usages) s'écrit sous la forme :

$$\begin{aligned}\rho(n) \approx \frac{EV(0)}{EALI(0)}\left[\frac{1+\alpha_{EV}}{1+\alpha_P+\alpha_{ALI}}\right]^n + k_{EB}(0)\left[\frac{REX(n)}{EALI(0)}\left[\frac{1+\alpha_{EB}}{1+\alpha_P+\alpha_{ALI}}\right]^n\right] \\ - k_{EB}(0)\left[(1-TR(n))\frac{ED(0)}{EALI(0)}\left[\frac{1+\alpha_P+\alpha_{ED}+\alpha_{EB}}{1+\alpha_P+\alpha_{ALI}}\right]^n\right] \\ - k_{EB}(0)\left[\frac{ENV(0}{EALI(0)}\left[\frac{1+\alpha_{ENV}+\alpha_{EB}}{1+\alpha_P+\alpha_{ALI}}\right]^n\right]\end{aligned} \quad (2)$$

k_{EB} représente la conversion de l'allocation agricole en Equivalent-Eau de la production du secteur de l'irrigation ; son évolution (au taux α_{EB}) traduit l'évolution de l'efficience de l'usage de l'eau du secteur. Le déficit, vis-à-vis des besoins alimentaires et qui représente l'apport en "Eau Virtuelle" (EVRT, Equivalent Eau du bilan Importation-Exportation de produits agroalimentaire), s'exprime par :

$$\begin{aligned}EVRT(n) \approx EALI(0)(1+\alpha_P+\alpha_{ALI})^n - EV(0)(1+\alpha_{EV})^n \\ - k_{EB}(0)\left[REX(n)(1+\alpha_{EB})^n\right] \\ + k_{EB}(0)\left[(1-TR(n))ED(0)(1+\alpha_P+\alpha_{ED}+\alpha_{EB})^n\right] \\ + k_{EB}(0)\left[ENV(0)(1+\alpha_{ENV}+\alpha_{EB})^n\right]\end{aligned} \quad (3)$$

Cette formulation simplifiée s'avère très intéressante : elle permet une interprétation aisée des facteurs qui jouent un rôle essentiel dans ce bilan et qui sont souvent ou ignorés ou peu pris en considération dans les

projections classiques. L'ajustement de ces bilans vis-à-vis des données relatives au bilan Hydrique de la Tunisie permet d'estimer d'une manière globale la contribution des différentes formes de la ressource au bilan hydrique et de mesurer les poids respectifs des déférents facteurs qui déterminent le taux de couverture de la demande alimentaire par la production agricole locale, et par conséquent le déficit comblé par les apports de la balance agroalimentaire.

$$\begin{aligned}\rho(n) \approx 0{,}509&\left[\frac{1+\alpha_{EV}}{1+\alpha_P+\alpha_{ALI}}\right]^n + 0{,}214\left[\frac{1+\alpha_{EB}}{1+\alpha_P+\alpha_{ALI}}\right]^n \\ &- 0{,}035(1-TR(n))\left[\frac{1+\alpha_P+\alpha_{ED}+\alpha_{EB}}{1+\alpha_P+\alpha_{ALI}}\right]^n \\ &- 0{,}008\left[\frac{1+\alpha_{ENV}+\alpha_{EB}}{1+\alpha_P+\alpha_{ALI}}\right]^n\end{aligned} \qquad (4)$$

Ce bilan donne, en période initiale, un taux de couverture hydrique de $\rho(n)\approx 0{,}69$. La contribution de la balance agroalimentaire s'élevant à près de 31 % des besoins alimentaires exprimés en Equivalent-Eau soit un apport en "Eau Virtuelle" de près de $EVRT(0)=3{,}7$ Milliard de m^3.

Les mises en équations de l'évolution du taux de couverture des besoins alimentaires et des apports de la balance agroalimentaire exprimés en Equivalent-Eau indiquent que le facteur qui, compte tenu de sa pondération, pèse le plus sur ces bilans est bien celui de la demande alimentaire dont l'évolution suit l'accroissement de la population et de la consommation alimentaire spécifique. L'amélioration du taux de couverture est pour l'essentiel contrôlée par la production de l'agriculture pluviale et dans une moindre mesure par l'amélioration de l'apport du secteur irrigué. Il apparaît d'autre part que, pour une ressource donnée, la demande directe des secteurs de l'eau potable, de l'industrie et du tourisme ainsi que la demande environnementale ont des effets relativement faibles sur les bilans globaux ; même si au plan sectoriel, ces facteurs ont des effets socio-économiques majeurs..

4. BILANS HYDRIQUES A FLUX CONSTANT

Dans un contexte de plafonnement des ressources exploitables, les approches basées sur le développement de l'offre et la gestion de la demande conduisent à pousser à la limite la logique de développement de l'offre en poussant au maximum les possibilités d'emploi de la ressource mobilisable. Quand l'offre devient un facteur limitant, ces approches ne peuvent être qu'incomplètes. En effet, les demandes en eau des secteurs de l'eau potable, de l'industrie et du tourisme bénéficient d'une priorité

absolue dans l'allocation de la ressource ; il en résulte que la définition des besoins en eau du secteur de l'agriculture irriguée ne peut être que relative puisqu'elle doit tout simplement s'accommoder des disponibilités en eau une fois les besoins directs assurés (Equation 1).

$$\begin{aligned} EIR(n) \approx REX - (1 - TR(n))ED(0)(1 + \alpha_P + \alpha_{ED})^n \\ - ENV(0)(1 + \alpha_{ENV})^n \end{aligned} \quad (5)$$

REX représente la ressource maximale qu'il est possible d'allouer et TR est le taux maximum de recyclage possible. Ce bilan indique que dans un contexte de stabilisation de l'offre, l'augmentation des allocations des usages directs ne peut s'effectuer qu'au détriment de l'usage agricole : l'allocation agricole va diminuer au rythme de l'augmentation de la demande des autres secteurs ; elle va également se dégrader en qualité puisque les eaux de bonne qualité sont en priorité affectées aux usages directs notamment pour la fourniture d'eau potable.

L'Etude "Eau 21" indique que le niveau maximum d'allocation des ressources en eau va s'établir à un niveau avoisinant 2,7 Milliard de m3 à partir de 2010. L'adéquation offre-demande proposée dans la projection "Eau 21" suppose une évolution plutôt modérée de la demande en eau (potable, industrielle, touristique) et sur une maîtrise drastique de tous les usages. Selon les hypothèses de l'étude et en moyenne nationale, la consommation d'eau potable par habitant dépassera à peine la barre des 100 l/hab/jour en 2030 et l'allocation à l'hectare en eau d'irrigation serait fortement réduite ; elle passerait de 6320 m3/an en 1996 à 4335 m3/an à l'horizon 2030 ; les superficies irriguées passant pour la même période de 335000 ha à 467000 ha ; l'allocation totale au secteur serait ainsi revue à la baisse passant de 2100 Mm3/an en 1996 à 2030 Mm3/an en 1996, tableau (4).

Année	**2000**	**2005**	**2010**	**2015**	**2020**	**2025**	**2030**
Allocation agricole m^3/ha	6020	5666	5323	5058	4809	4575	4355
Surface irriguée ha	353282	377968	402200	417285	433145	449825	467370

Tableau 4. Evolution des allocations agricoles et des superficies irriguées (source, Eau 21[3])

Tout au plus pourrait-on espérer, à long terme, qu'à flux constant, l'accroissement de l'efficience de l'usage de l'eau agricole pourrait compenser l'évolution des prélèvements des autres secteurs. Cela se traduit en terme de bilan hydriques par la stabilisation de l'Equivalent-Eau de la production du secteur irrigué en dépit de la diminution prévisible de l'allocation agricole ; ce qui constituerait à long terme une performance à laquelle il convient de se préparer pour mettre au point des stratégies

capables de relever ce défit. En terme de bilan, la stabilisation de la production de l'agriculture irriguée s'écrit :

$$\begin{aligned} REX(0) - (1 - TR(0))ED(0) - ENV(0) = REX(1 + \alpha_{EB})^n \\ - (1 - TR)ED(0)(1 + \alpha_P + \alpha_{ED} + \alpha_{EB})^n \\ - ENV(0)(1 + \alpha_{ENV} + \alpha_{EB})^n \end{aligned} \quad (5)$$

Dans ces conditions l'apport en "Eau Virtuelle" se réduit à:

$$\begin{aligned} EVRT(n) \approx EVRT(0) + EALI(0)\left[(1 + \alpha_P + \alpha_{ALI})^n - 1\right] \\ - EV(0)\left[(1 + \alpha_{EV})^n - 1\right] \end{aligned} \quad (6)$$

Ce bilan indique que l'évolution des apports en "Eau Virtuelle" va dépendre de l'accroissement des besoins alimentaires. Dans des conditions de stabilisation de la production du secteur irrigué, le seul moyen pour faire face à cet accroissement réside dans l'amélioration de la production de l'agriculture pluviale. La condition de non-accroissement de l'Equivalent-Eau des importations de produits agroalimentaires qui en résulte peut alors être calculée, pour des taux d'accroissement faibles sur des durées modérées, par l'approximation suivante :

$$\alpha_{EV} \geq \frac{EALI(0)}{EV(0)}(\alpha_P + \alpha_{ALI}) \approx 2(\alpha_P + \alpha_{ALI}) \quad (7)$$

Ce résultat signifie tout simplement que pour faire face à l'accroissement de la demande alimentaire et dans l'hypothèse de la stabilisation de la production de l'agriculture irriguée, l'agriculture pluviale qui contribue pour environ 50 % de l'Equivalent-Eau des besoins alimentaires doit enregistrer un taux d'accroissement au moins égal à deux fois celui de la demande alimentaire pour conserver le bilan de la balance agroalimentaire (en volume) à son niveau initial. Le même raisonnement conduit à définir la condition de non accroissement du taux de couverture de la balance agroalimentaire ; en terme de bilan hydrique elle s'exprime par l'approximation suivante :

$$\alpha_{EV} \geq \rho(0)\frac{EALI(0)}{EV(0)}(\alpha_P + \alpha_{ALI}) \quad (8)$$

Soit : $\alpha_{EV} \geq 2\rho(0)(\alpha_P + \alpha_{ALI}) \approx 1{,}2(\alpha_P + \alpha_{ALI})$

Celle-ci indique que pour conserver le taux de couverture initial de la balance agroalimentaire exprimé en bilan hydrique, le développement de l'agriculture pluviale doit à lui seul compenser l'accroissement de la demande alimentaire au prorata du taux de couverture initial. Il en résulte que les importations agroalimentaires exprimées en Equivalent-Eau vont s'accroître au rythme de l'accroissement de la population et de sa consommation alimentaire spécifique.

5. PERSPECTIVES D'AMELIORATION DU BILAN HYDRIQUE NATIONAL

Le bilan hydrique fondé sur une gestion intégrée de l'"Eau Verte", de l'"Eau Bleue" et de l'"Eau Virtuelle" indique que, dans le futur, l'amélioration de la sécurité alimentaire sera liée à la capacité du pays à gérer l'eau disponible notamment celle en rapport avec l'agriculture pluviale. Inversement, cette dépendance alimentaire risque de s'amplifier au rythme du changement des modes alimentaires. Paradoxalement ces aspects importants ne sont pas pris en considération de manière directe dans les politiques actuelle et future de l'eau.

La question de l'eau ne peut, en effet, être appréhendée qu'en relation avec la productivité hydrique de l'agriculture pluviale et irriguée, des bilans de la balance agroalimentaire, de l'évolution des habitudes alimentaires ; en somme vis-à-vis des objectifs de la politique agricole en terme de sécurité alimentaire.

Compte tenu de l'état actuel de la gestion et de l'exploitation des ressources en eau, il apparaît que l'amélioration des niveaux de sécurité hydrique et des bilans de la balance agroalimentaire doit s'appuyer sur une meilleure compréhension de la relation déterminante entre l'eau et la production agricole pour optimiser l'emploi de toutes les ressources en eau. Cela correspond à une vision globalisante de la question de l'eau qui dépasse, du moins en ce qui concerne l'eau agricole, la notion classique de ressources mobilisables pour couvrir toutes les formes de ressources en eau (Réserves utiles du sol mobilisées par les cultures pluviales, eau virtuelle résultant des échanges commerciaux, ressources non-conventionnelles, …) et toutes les demandes y compris celles qui correspondent aux besoins alimentaires.

Dans un contexte de limitation de l'offre, cette perception plus large de la question de l'eau est la plus fertile en possibilités de développement de stratégies visant la réduction du déficit de la balance commerciale et l'amélioration du degré de sécurité alimentaire. Les progrès sont à rechercher dans (a) l'amélioration des rendements de l'usage de l'eau en particulier dans le secteur de l'irrigation, (b) la valorisation de toutes les ressources en eau notamment les réserves hydriques utiles du sol, (c) l'emploi intensif des techniques de conservation des eaux et du sol, l'amélioration génétique des variétés cultivées vis-à-vis notamment de leur adaptation à la sécheresse,… (d) la prise en compte des besoins

environnementaux, (e) la mise en place de politiques permettant de maîtriser la demande alimentaire et (f) dans l'optimisation des échanges agroalimentaires en tenant compte de leurs effets sur la balance hydrique globale. Cette dernière mesure devrait se traduire par la mise en place de dispositions qui d'une part favorisent l'importation de produits agro-alimentaires de faible valeur ajoutée mais exigeants en eau, et d'autre part encouragent à l'exportation des productions agricoles de forte valeur ajoutée mais peu exigeantes en eau.

REFERENCES

[1] Ministère de l'Environnement et de l'Aménagement du Territoire (2001), Rapport National sur l'état de l'environnement, Tunisie.

[2] Ministère de l'Agriculture, DG-EGTH (1995), Economie d'eau 2000.

[3] Ministère de l'Agriculture DG-RE (1999), Etude du secteur de l'eau.

[4] Khanfir et al (2000), Eau 21 : Stratégie du secteur de l'eau en Tunisie à long terme 2030, Ministère de l'Agriculture et des Ressources Hydrauliques, 2ème Edition.

[5] Plan Bleu (1999), Vision Méditerranéenne sur l'Eau, la population et l'environnement au 21ème siècle , MEDTAC/Plan Bleu.

[6] Roche P. A. (2001), L'eau au XXI siècle, Enjeux, Conflits, Marché, RAMSES.

[7] Hoekstra A. Y., Hang P. Q. (2003) Virtual water trade : A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade, Proceedings of the international expert meeting on Virtual Water Trade, Value of Water Research Report Series No 12, IHE-DELFT, 2003

[8] Renault D. (2002), Value of virtual water in food: principles and vitues, Workshop on Virtual Water Trade, Value of Water UNESCO- IHE-DELFT, 2002.

[9] Ministère de l'Agriculture DG-PDIA (1998), Annuaire des statistiques agricoles 1997.

View publication stats