



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
المدرسة الوطنية العليا للفلاحة
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE AGRONOMIQUE
EL-HARRACH (ALGER)

THESE

Pour l'obtention du diplôme de Doctorat En Sciences
Agronomiques

Spécialité : Hydraulique Agricole

Présentée et soutenue publiquement

Par

Réda DELLI

Titre :

**Importance du concept de l'eau virtuelle agricole pour la
gestion des ressources hydriques en Algérie : cas de la
phoeniciculture.**

Devant le jury composé de :

Président	SEMAR A.	Professeur	(ENSA, Alger)
Directeur de Thèse	MOUHOUCHE B.	Professeur	(ENSA, Alger)
Examineurs	ZELLA L.	Professeur	(Université, Blida)
	METAHRI M.	MCCA	(UMM, Tizi Ouzou)

ANNEE UNIVERSITAIRE : 2017/2018

Table des matières

Dédicaces	I
Remerciements	II
Résumés	III
Liste des figures	VI
Liste des tableaux	VIII
Liste des abréviations	X
Introduction générale	1
Première Partie : Recherche Bibliographique	
Chapitre I : Les ressources hydriques	
1. Introduction.....	5
2. Potentialités.....	5
2.1 Les ressources hydriques dans le monde.....	5
2.2 Les ressources hydriques dans le monde arabe.....	9
2.3 Les ressources hydriques dans le bassin méditerranéen.....	10
2.4 Les ressources hydriques en Afrique.....	11
2.5 Les ressources hydriques en Algérie.....	12
3. La gestion de la ressource en eau	16
4. Conclusion.....	16
Chapitre II : Le concept de l'eau virtuelle agricole	
1. Introduction.....	18
2. Importance du concept de l'eau virtuelle.....	18
3. L'eau virtuelle et la théorie de l'avantage comparatif	20
4. Le commerce de l'eau virtuelle et les ressources hydriques	21
5. Importation de l'eau virtuelle	23
5-1 Importation nette d'eau virtuelle	24
6 Conclusion.....	26
Chapitre III : La notion de l'efficacité d'utilisation de l'eau	
1. Introduction.....	28
2. La phoeniciculture.....	28
3. Le concept de l'efficacité d'utilisation de l'eau.....	30
4. Conclusion.....	31

Deuxième Partie : Matériel et Méthodes

1. Présentation du logiciel CROPWAT 8.0.....	32
2. Méthodologie d'étude.....	35
2-1 Méthodologie adoptée pour l'estimation de la teneur en eau virtuelle.....	35
2-2 Méthodologie adoptée pour l'évaluation des flux d'eau virtuelle.....	36

Troisième Partie : Résultats et Discussions

Chapitre I : L'eau virtuelle des principales cultures pratiquées

1. Introduction.....	38
2. Les cultures pluviales.....	38
3. Les cultures maraichères.....	42
4. Principales légumineuses alimentaires.....	44
5. Les arbres fruitiers à noyaux et à pépins.....	46
6. Les agrumes.....	48
7. Le figuier.....	49
8. Le palmier dattier.....	53
9. Les surfaces forestières, alfatières et des parcours.....	54
10. Conclusion.....	56

Chapitre II : Importation de l'eau virtuelle des produits alimentaires et non alimentaires

1. Introduction.....	57
2. Produits agricoles alimentaires d'importation.....	57
3. Produits agricoles non alimentaires d'importation.....	60
4. Eau virtuelle agricole totale d'importation	63
5. Eau virtuelle agricole de l'Algérie.....	64
6. Conclusion.....	65

Chapitre III : Évaluation de l'eau virtuelle de la phoeniculture algérienne pour sa meilleure utilisation.

1. Introduction.....	68
2. Matériels et Méthodes.....	70
3. Résultats et Discussions.....	72
Calcul de la quantité de l'eau virtuelle dans la phoeniculture.....	72

Calcul de la demande climatique ou l'évapotranspiration de référence ET_0	72
L'estimation de l'évapotranspiration maximale (ET_m).....	73
Calcul de la pluie efficace.....	74
Calcul des besoins en eau d'irrigation.....	75
L'efficience d'utilisation de l'eau en phoeniciculture.....	77
4. Conclusion.....	79
Conclusion Générale	81
Référence bibliographique	85
Annexes	

Dédicaces

Je dédie cette thèse :

- *A toute la famille*
- *A tous les amis*

Remerciements

Au terme de ce travail, je saisis cette occasion pour adresser mes plus vifs remerciements à Mr MOUHOUCHE Brahim qui fut pour moi un directeur de thèse attentif à son travail et disponible malgré ses nombreuses charges. Sa compétence, sa rigueur scientifique et son discernement m'ont beaucoup appris. Des orientations et conseils qu'il m'a prodigués, ont été et resteront des moteurs de mon travail de chercheur.

Les nombreuses discussions que j'ai pu avoir avec lui m'ont beaucoup apporté. Très humblement, je voudrais lui dire merci pour son soutien pendant mes périodes difficiles et pour ses multiples encouragements répétés. Sa relecture finale de chacun des chapitres m'a sans aucun doute permis de préciser mon propos.

J'exprime tous mes remerciements à l'ensemble des membres de mon jury : Mr SEMMAR H. de l'honneur qu'il m'a fait en acceptant de présider le jury de soutenance. Mr ZELLA L., Mr METAHRI M. de m'avoir honoré par leur présence dans le jury de soutenance. Je leur exprime ici ma reconnaissance et considération.

J'adresse toute ma gratitude à tous mes ami(e)s et à toutes les personnes qui m'ont aidé dans la réalisation de ce travail.

Il serait injuste de ma part de passer sous silence l'intérêt que je porte à tous les travaux de recherche que j'ai pu effectuer avec tous les étudiants de graduation. J'adresse ainsi mes remerciements à mes étudiants que j'ai encadrés dans le cadre de la réalisation de leurs mémoires de fin d'étude.

Ma reconnaissance va à ceux qui ont plus particulièrement assuré le soutien affectif de ce travail doctoral : ma famille.

Réda

Résumés

Résumé

L'Algérie est classée parmi les pays les plus pauvres en eau, avec une moyenne de 300 m³/hab./an. De ce fait, pour assurer sa sécurité alimentaire et afin de subvenir aux besoins de la population en produits alimentaires, elle a toujours eu recours à des importations de produits dits stratégiques.

Afin de mettre en exergue ce problème du manque d'eau, nous avons mené une étude des différents aspects de ce manque par l'utilisation du concept de l'eau virtuelle des produits agricoles de production nationale et d'importation. Ces importations ont toujours représenté pour l'Algérie une facture trop lourde qui a été couverte grâce à la manne pétrolière. Malheureusement, cette situation n'a pas duré longtemps, du fait du prix du pétrole sur le marché international qui a connu une chute libre.

Sur la base des statistiques agricoles et du logiciel Cropwat, nous avons utilisé ce concept de l'eau virtuelle agricole vu sa relation avec la théorie de l'avantage comparatif étudiée par Ricardo dans la gestion des ressources hydriques de l'Algérie. Notre choix s'est porté sur les dattes pour leur valeur ajoutée qui les rend compétitifs sur le marché international.

Le concept peut être utilisé comme un outil d'aide à la prise de décision pour la gestion des ressources hydriques. Notre recherche s'est articulée autour de trois principaux axes :

- L'évaluation de l'eau virtuelle agricole des principales cultures pratiquées en Algérie, qui a montré un déficit important en eau,
- Calcul de l'eau virtuelle des produits agricoles importés, qui confirme ce déficit,
- L'eau virtuelle de la phoeniculture estimée à 4733 millions m³ pour une superficie de 165378 ha, qui a montré que l'efficacité d'utilisation de l'eau demeure faible, au même titre que les autres cultures. En moyenne de 0.35 kg/m³ sur les wilayas du Sud algérien et de 0.65 kg/m³ au niveau des palmeraies situées au sud des hauts plateaux du pays.

Mots clés : Déficit hydrique, phoeniculture, eau virtuelle, efficacité d'utilisation de l'eau, Algérie,

Summary

Algeria ranks among the poorest countries in terms of water, with an average of 300 m³ / inhabitant/year. In terms of ensuring food security and meeting the needs of the population in food products, it still uses imports of strategic products.

In order to implement this problem of lack of water, we conducted a study of different aspects of this lack by using the concept of virtual water of agricultural products of national production and import.

These imports have always made for Algeria a too heavy bill that has been covered thanks to the oil windfall. Unfortunately, this situation did not last long, the price of oil on the international market that has experienced a free fall.

Based on agricultural statistics and Cropwat software, we used this concept of agricultural virtual water given its relation to Ricardo's theory of comparative advantage in managing Algeria's water resources. Our choice was for dates for their added value that makes competitors in the international market.

The concept can be used as a decision support tool for water resources management. Our research focused on three main axes:

- The evaluation of the virtual agricultural water of the main crops practiced in Algeria, which showed a significant deficit in water,
- Calculation of virtual water of imported agricultural products, which confirms this deficit,
- The virtual water of date palm farming estimated at 4733 million m³ for a total of 165378 ha, which showed that the water use efficiency remains low, in the same way as the other crops.

Keyword (s): Water deficit, date palm farming, virtual water, water use efficiency, Algeria,

الملخص

تعتبر الجزائر من بين الدول الأكثر فقرا للماء بمعدل 300 م³/ن/س. لذا تتجه عادة إلى استيراد كميات كبيرة من المواد الغذائية لتلبية حاجياتها من الغذاء وكذا تأمين غذائها و بالتالي تؤمن بلدها. هذه الإيرادات كانت تكلف الجزائر فاتورة عالية تغطيها بصفة فردية المدخول من صادرات البترول. لكن هذه الحالة لم تدم طويلا و بمجرد أن تدهورت أسعار البترول بدأ الكل يتكلم عن التقشف في الماء' في استعماله العقلاني' في ضرورة الإبقاء على هذا الأمن الغذائي إلى ما دالك من حلول مستعجلة.

من هادا المنطلق فكرنا في إمكانية استعمال فكرة المياه الافتراضية بعلاقتها بنظرية الميزة النسبية المستعملة في عالم الاقتصاد لصاحبها ريكاردو. و الفكرة أن أولا أن نجد بديل للبترول تمكننا من الحصول على ثروة مالية فنضربنا إلى ما يمكن أن يعوض هذا فوجدنا أن التمور اذا أحسن مردودها عبر الاستعمال الأنجع لمياه الري يمكن أن تكون منافسة في السوق العالمية لقيمتها المضافة و بالتالي يمكن أن تخلق لنا ثروة نستطيع بها استيراد المتوجات الأكثر استعمالا للماء و التي ما عادة تعتبر إستراتيجية.

مصطلح المياه الافتراضية يمكن استعماله كأداة تساعد في اتخاذ القرارات خاصة للتسيير العقلاني للثروات المائية.

الأطروحة إذا تحوي ثلاثة أجزاء رئيسية:

- تقييم المياه لافتراضية لبعض النباتات الأكثر استعمالا في الجزائر' بينت النتائج فقر كبير للمياه اللازمة للري'
- حساب المياه الافتراضية للمنتجات المستوردة
- و كذا حساب المياه لافتراضية للنخيل حتى يتسنى لنا كيفية رفع من إنتاجه و جعله أكثر تنافسا.

الكلمات المفتاحية: الجزائر' نقص الماء' النخيل' المياه لافتراضية' فعالية استعمال المياه.

Liste des figures

Fig. 1 : Sources d'eau utilisées au niveau mondial.....	5
Fig. 2 : Disponibilités mondiales en m ³ /hab./an	6
Fig. 3: Disponibilités d'eau au plan mondial.....	6
Fig. 4 : Stress hydrique sur une moyenne annuelle de 1981 à 2010.....	7
Fig. 5 : Rapports de prélèvement d'eau par continent.....	8
Fig. 6 : Demande d'eau mondiale : scénario de référence, 2000 et 2050.....	8
Fig. 7 : Les ressources en eau renouvelables dans le monde arabe.....	9
Fig. 8 : Taux d'exploitation des ressources hydriques en pourcentage,	10
Fig. 9 : Les ressources hydriques en Afrique.....	11
Fig. 10 : Indice d'exploitation des ressources naturelles renouvelables (période 2012-2013).....	12
Fig. 11 : Disponibilité de la ressource en eau par habitant par an (en 2012- 2013, 2030 et 2050).....	12
Fig. 12 : Les cinq régions hydrographiques.....	15
Fig. 13 : Les usages de l'Eau Verte, Bleue et Grise dans l'Agriculture.....	19
Fig. 14 : L'origine de l'avantage comparatif chez Ricardo.....	22
Fig. 15 : le flux d'eau virtuelle entre les différentes régions du monde.....	23
Fig. 16: Bilans nets des échanges d'eau virtuelle en Gm ³ des pays de la région méditerranéenne.....	25
Fig. 17 : Variation du contenu en eau virtuelle.....	27
Fig. 18: Importation nette d'eau virtuelle.....	28
Fig. 19 : Les régions phonicoles de l'Algérie	32
Fig. 20 : Répartition de la production des dattes en Algérie durant l'année 2014.....	32
Fig. 21: Production des dattes par wilaya en 2014.....	33
Fig. 22 : l'eau verte et l'eau bleue des céréales d'hiver à l'échelle nationale.....	37
Fig. 23 : l'eau verte et l'eau bleue des cultures pluviales à l'échelle nationale.....	38
Fig. 24. L'eau bleue et l'eau verte à l'échelle nationale.....	39
Fig. 25 : Evolution de la production mondiale des légumineuses sèches.....	41
Fig. 26 : L'eau bleue et l'eau verte des légumes secs à l'échelle nationale.....	43
Fig. 27 : L'eau bleue et l'eau verte à l'échelle nationale.....	45
Fig. 28 : L'eau bleue et l'eau verte des agrumes en Algérie.....	46

Fig. 29 : Répartition de la superficie figuicole par wilaya en 2015.....	47
Fig. 30 : Evolution de la production nationale des figues (2000-2015).....	48
Fig. 31 : L'eau verte et l'eau bleue du figuier en %.....	49
Fig. 32 :. Occupation du palmier dattier par rapport aux autres cultures.....	51
Fig. 33 : Evolution des quantités de produits agricoles alimentaires importés	57
Fig. 34 : Eau virtuelle des produits agricoles alimentaires importés	57
Fig.35 : Eau virtuelle des produits agricoles alimentaires importés en 2012 en %.....	58
Fig.36 : Eau virtuelle des produits agricoles alimentaires importés en 2012 en m3.....	58
Fig.37 : Evolution des quantités de produits agricoles non alimentaires importés	60
Fig. 38 : Eau virtuelle des produits agricoles non alimentaires importés	60
Fig. 39 : Eau virtuelle des produits agricoles non alimentaires importés en 2012 en %	61
Fig.40 : Eau virtuelle des produits agricoles non alimentaires importés en 2012 en m3.....	61
Fig.41 : Variation Spatio-temporelle de la demande climatique (ETo) des différentes régions.....	70
Fig.42 : Variation Spatio-temporelle des besoins en eau du palmier dattier (en mm) dans les Wilayas phoenicicoles.....	71
Fig.43 : Variation de la pluie efficace annuelle (en m3/ha) des Wilaya phoenicicoles.....	73

Liste des tableaux

Tableau 1. Transferts d'eau en Algérie	13
Tableau 2. Ressources en eau renouvelables.....	14
Tableau 3. Ressources en eau prélevées en millions de m ³	15
Tableau 4. Empreinte hydrique des quelques pays.....	20
Tableau 5. Teneur en eau virtuelle de certains produits estimée par différents auteurs en m ³ /tonne.....	21
Tableau 6. Economies nettes d'eau grâce au commerce international des produits agricoles, 1997-2001.....	24
Tableau 7. Importations d'eau virtuelle sous forme de blé (1997-2005).....	29
Tableau 8. Les cultures pluviales en Algérie et Superficies moyennes.....	36
Tableau 9. Les données liées aux cultures.....	36
Tableau 10. L'eau virtuelle totale des céréales d'hiver à l'échelle nationale en m ³	37
Tableau 11. Récapitulatif de l'eau virtuelle des cultures pluviales en Algérie en m ³	38
Tableau 12. L'eau virtuelle par culture	39
Tableau 13. Efficience d'utilisation de l'eau des principales cultures maraichères en Algérie.....	40
Tableau 14. Besoins territoriaux en eau.....	40
Tableau 15. La superficie mondiale des légumes secs.....	41
Tableau 16. Les rendements des légumes secs dans le monde.....	42
Tableau 17. Importance des légumineuses alimentaires cultivées en Algérie (moyenne 2000-2014).....	42
Tableau 18. Récapitulatif des besoins en eau des légumes secs par culture.....	42
Tableau 19. Récapitulatif de l'EUE des légumes secs à l'échelle nationale.....	43
Tableau 20. L'efficience moyenne des légumes secs dans le monde.....	44
Tableau 21. L'eau virtuelle de l'arboriculture fruitière en Algérie.....	44
Tableau 22. L'efficience de l'arboriculture fruitière en Algérie.....	45
Tableau 23. L'eau virtuelle de l'agrumiculture à l'échelle nationale en m ³	46
Tableau 24. L'efficience de l'utilisation de l'eau des agrumes en Algérie.....	46
Tableau 25. L'eau virtuelle du figuier en Algérie.....	49
Tableau 26. L'efficience d'utilisation de l'eau (EUE) du figuier en kg/m ³	50

Tableau 27. Efficience d'utilisation de l'eau des principales cultures maraichères en Algérie.....	52
Tableau 28. L'eau virtuelle des surfaces forestières, alfatières et des parcours.....	53
Tableau 29. L'eau virtuelle des produits agricoles alimentaires d'importation durant l'année 2012.....	56
Tableau 30. L'eau virtuelle des produits agricoles non alimentaires d'importation durant l'année 2012.....	59
Tableau 31. Eau virtuelle totale d'importation en millions de m ³	62
Tableau 32. Récapitulatif de l'eau virtuelle en m ³ de 2002 à 2012.....	62
Tableau 33. Les besoins en eau totaux du palmier dattier pour chaque wilaya phoenicicole.....	72
Tableau 34. Variation spatio-temporelle des besoins en eau d'irrigation en (mm).....	74
Tableau 35. Variations spatiales des besoins en eau verte et bleue du palmier dattier en Algérie.....	75
Tableau 36. L'efficience d'utilisation de l'eau des différentes régions phoenicicoles en kg/m ³ et le rendement obtenu en kg/palmier.....	76

Liste des abréviations

ABHO : Agence des Bassins Hydrographiques d'Oranie

ar-s. :Phase arrière saison

BRIICS : Brésil, Russie, Inde, Chine et Afrique du Sud.

CROPWAT : Crop Water

Dé.: Phase développement

DES : Demandes Spécifiques en Eau

Dp : percolation en profondeur

EB : Eau bleue

ET : Eau totale

ET₀ : Evapotranspiration de référence

ETM : Evapotranspiration Maximale

ETP : Evapotranspiration Potentielle

ETR : Evapotranspiration Réelle

EUE : Efficience d'utilisation de l'eau

EV : Eau virtuelle

FAO : Food and Agriculture Organization

fin.: final

Gm3 : Milliards de mètre cube

HP : Hauts Plateaux

in.: Phase initiale

int.: initial

IPEMED : : Institut de Prospective Economique du monde méditerranéen

Kc: Coefficient cultural

m³ : mètre cube

MADR : Ministères de l'Agriculture et du Développement Rural

MENA : Middle East and North Africa

MENA : Middle East and North Africa

mid: milieu

mi-s.: Phase mi-saison

MRE : Ministère des Ressources en Eau

N.T. F. : Nombre Total du Figuier

OCDE : Organisation de coopération et de développement économiques

ONM : Office National de la Météorologie

OSS : Observatoire du Sahara et du Sahel

Prod. : Production

q : Quintal

RCA: République Centrafricaine

RDC: République Démocratique du Congo

RdM : Reste du Monde

Rdt: Rendement

RU : Réserve Utile

RUT: République Unie de Tanzanie

Surf. Comp. : Surface complantée

Surf.en rap. : Surface en rapport

USDA : United States Department of Agriculture

WUE : Water Use Efficiency

INTRODUCTION

GENERALE

L'eau est, avec l'air, la seule ressource dont on ne peut pas se passer. C'est pourquoi l'eau est un droit de vie individuel et collectif, universelle et inaliénable.

Devenue préoccupation à l'échelle planétaire, l'enjeu de l'eau se posera et se pose déjà en terme de survie pour les pays arides et semi-arides. D'abord, il y a un problème important de contamination de l'eau dû aux pollutions, donc de plus en plus l'eau devient rare. Ensuite, l'eau est entrain de devenir l'une des causes principales des guerres du monde.

En Algérie, de nombreux indices permettent en effet de croire que le problème de la pénurie d'eau ira en s'aggravant : croissance démographique, augmentation du niveau de vie, accroissement de l'irrigation pour une meilleure productivité, l'industrialisation.

En moyenne, les disponibilités en eau renouvelable par habitant dans le monde sont de 6 000 à 8 000 m³/an (selon les sources) mais elles diminuent au fur et à mesure que la population mondiale augmente. Pour le cas de l'Algérie, ce chiffre est beaucoup plus faible (300 m³/hab./an). Ces ressources par habitant étant très inférieures au seuil de rareté absolue de l'eau (FAO, 2014), ce qui la place parmi les pays qui souffrent le plus du stress hydrique. Tous ces problèmes viennent s'ajouter au manque d'eau qui constitue un facteur très important pour le développement en général et pour l'agriculture en particulier qui consomme entre les 2/3 et les 4/5 des ressources mobilisées annuellement.

Des questions se posent et s'imposent sur l'absence d'une réelle gestion de l'eau en Algérie. Dans la gestion opérationnelle d'un système complexe (barrage, canaux, cours d'eau, périmètre irrigué, quelques agglomérations alimentées en eau potable), nous trouvons une gestion stratégique qui consiste, en temps réel, à adapter la demande aux ressources disponibles, et une gestion tactique qui est une gestion de la distribution de l'eau, c.-à-d. adapter les lâchers effectués à partir des ouvrages pour répondre au mieux à la demande. Une gestion globale et intégrée des ressources en eau est donc nécessaire.

Le problème de la forte dépendance de l'Algérie en produits agricoles inquiète beaucoup. L'Algérie se trouve dans une situation de déficit alimentaire dangereux pour son autonomie et sa sécurité alimentaire. D'ailleurs les pays du MENA se retrouvent dans la

même situation. Tant que l'argent du pétrole permettait à l'Algérie d'acheter des denrées alimentaires en abondance, les gens ne s'inquiétaient même pas.

Le fait d'importer un produit revient à importer de l'eau virtuelle, ce qui permettra de renforcer la ressource en eau interne. Parler de « l'eau virtuelle » revient à parler du domaine des transferts frontaliers intercontinentaux des flux d'eau. Ce concept d'eau virtuelle a été introduit pour la première fois par Allan (1998) pour indiquer le volume de l'eau utilisée pour produire un bien agricole, industriel ou de service.

Dans le cas des produits agricoles, l'eau virtuelle exprimée en m³/tonne, est l'eau évapotranspirée par les cultures durant tout leur cycle végétatif et durant la phase de transformation. Son estimation est basée sur la méthodologie du « Water Footprint Network » en suivant la méthode proposée par Hoekstra et Hung (2003). Ce concept, relativement récent, constitue un outil d'aide à la prise de décision pour la gestion des ressources en eau. C'est une nouvelle approche d'évaluation de la gestion de la ressource, à l'échelle locale ou globale.

Cependant, outre les risques associés à des stratégies fortement axées sur l'importation (pénurie de denrées sur le marché mondial, besoin en devises), nous constatons que les déterminants des échanges commerciaux de produits agricoles ne sont, en général que marginalement liés à l'eau (De Fraiture et al. 2004).

La chute des prix du pétrole révèle une réalité de cette forte dépendance de l'Algérie de l'extérieur. Si le pétrole est une richesse éphémère, les besoins alimentaires sont par contre éternels. Donc l'Algérie pour financer ses importations de produits agricoles, elle peut utiliser l'eau pour produire des denrées agricoles à haute valeur ajoutée destinées à l'exportation, tels que les dattes. Nous parlons ainsi de la théorie de l'avantage comparatif développé par Ricardo (1817). Avec un potentiel estimé à 15,1 millions de palmiers dattiers, l'Algérie occupe la 3^{ème} position en surface ainsi que la 5^{ème} position en production (plus de 9,3 millions de quintaux/an).

La partie relative à la phoeniciculture est utilisée comme support pour expliquer la méthodologie de détermination de l'eau virtuelle de tout produit fini, en ce qui nous concerne, les produits agricoles alimentaires et non alimentaires.

Pour plus de compréhension des aspects de l'eau virtuelle sous ses deux grandes formes, à savoir l'eau verte et l'eau bleue, pour les cultures irriguées intégralement l'eau bleue représente l'eau d'irrigation apportée sous forme d'irrigation intégrale et de complément.

Par contre pour les cultures rustiques, qui d'habitude sont conduites en régime pluviale ou en aridoculture, ces cultures ne sont pas ou peu irriguées par manque de ressources hydriques (cas de l'olivier, le figuier etc.), dans ce cas, l'eau bleue représente le déficit en eau que subissent toutes ces cultures non irriguées en Algérie.

En d'autres termes, l'eau bleue représente la quantité d'eau qu'il aurait fallu apporter par irrigation à ces cultures pour qu'elles soient conduites en régime de confort hydrique ou en évapotranspiration maximale, qui signifie « sans restriction hydrique », ce qui est impensable pour les zones arides et semi arides. C'est d'ailleurs pour cela que l'agriculture pluviale représente plus de 90% de la SAU et plus de 99,5% de la surface du territoire national.

C'est dans ce cadre que s'inscrit notre étude qui repose sur un scénario impliquant un produit choisi pour un avantage comparatif à condition que l'efficacité d'utilisation de l'eau soit la plus élevée possible. La comparaison de cette dernière pour différentes cultures ou différents modes de production pourrait constituer un indicateur intéressant face au défi d'augmenter la production agricole avec moins de ressources en eau (le slogan « more crop per drop » (plus de récolte par goutte d'eau)).

L'étude des aspects suivants a été faite sous forme de chapitres indépendants mais complémentaires :

Introduction générale

Recherche bibliographique

Chapitre I : Les ressources hydriques (Potentialités et gestion)

Chapitre II : Le concept de l'eau virtuelle agricole

Chapitre III : La notion de l'efficacité d'utilisation de l'eau

Matériels et Méthodes

Présentation du logiciel cropwat 8.0

Méthodologies de recherche

Résultats et Discussions

Chapitre I : L'eau virtuelle des principales cultures pratiquées

Chapitre II : Importation de l'eau virtuelle des produits alimentaires et non alimentaires sur une période de 2000 à 2012

Chapitre III : Evaluation de l'Eau virtuelle de la phoeniculture pour sa meilleure utilisation.

Conclusion générale

Première Partie

Recherche Bibliographique

CHAPITRE I

Les ressources hydriques

1. Introduction

La forte dépendance de l'Algérie de l'extérieur en termes de sécurité alimentaire trouve son explication dans le fait que l'Algérie est confrontée à l'épineuse équation entre des ressources en eaux limitées et des besoins croissants et diversifiés de la population, de l'industrie et surtout de l'agriculture. Au début de ce chapitre, nous essayons de montrer la position de l'Algérie en termes de potentialités hydriques dans le monde, en Afrique, dans le bassin méditerranéen, et dans le monde arabe. Nous évaluerons le rapport existant entre les potentialités hydriques de l'Algérie et les besoins en cette ressource chère et coûteuse qui est l'eau.

2. Potentialités

2.1 Les ressources hydriques dans le monde

En 1950, la ressource mondiale en eau était estimée à 17 000 m³ par personne et par an. La forte croissance démographique, l'industrialisation, l'urbanisation, l'intensification agricole ont changé la donne. En 1995, on estimait que la ressource en eau renouvelable et disponible n'était plus que de 7 500 m³ par personne et par an (Annexe 1 fig.1). Elle devrait chuter à moins de 5 100 m³ en 2025 (Eurostat, 2002). Son utilisation au niveau mondial est illustrée par la figure ci-dessous.

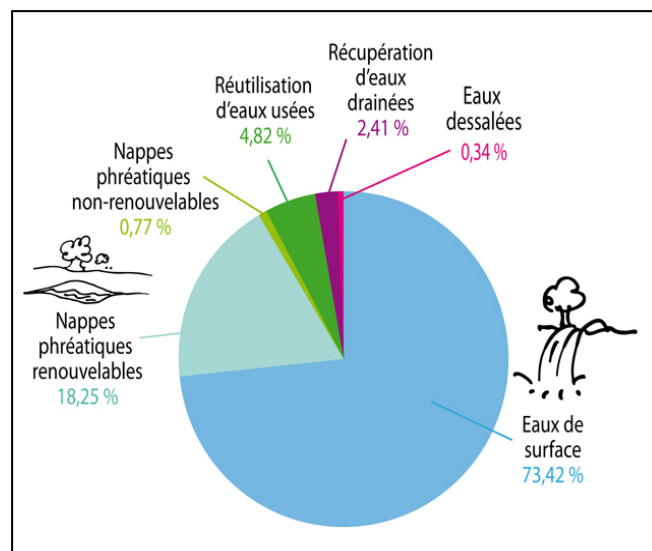


Fig. 1 : Sources d'eau utilisées au niveau mondial

Source : The United Nations World Water Development Report 3, p. 100.

Selon Ghislain de Marsily interrogé par le C.I.EAU (Centre d'Information sur l'Eau), les quantités d'eau disponibles sur Terre sont constantes. On aura autant d'eau dans un milliard

d'années que nous en avons aujourd'hui. La pénurie d'eau n'est pas la conséquence de la diminution de nos ressources en eau, mais une croissance de nos besoins alimentaires.

L'eau est devenue ces dernières années un sujet de préoccupation à l'échelle planétaire. Cette ressource indispensable et irremplaçable est particulièrement mal répartie. Sur la carte des disponibilités mondiales (Fig. 2), dans laquelle l'Afrique du Nord et le Moyen-Orient (MENA : Meadle East and North Africa) apparaissent comme la zone la plus menacée. Un constat s'impose d'emblée : 4,3% de la population mondiale ne dispose que de 0,67% des ressources en eau douce renouvelable (Mutin, 2009).

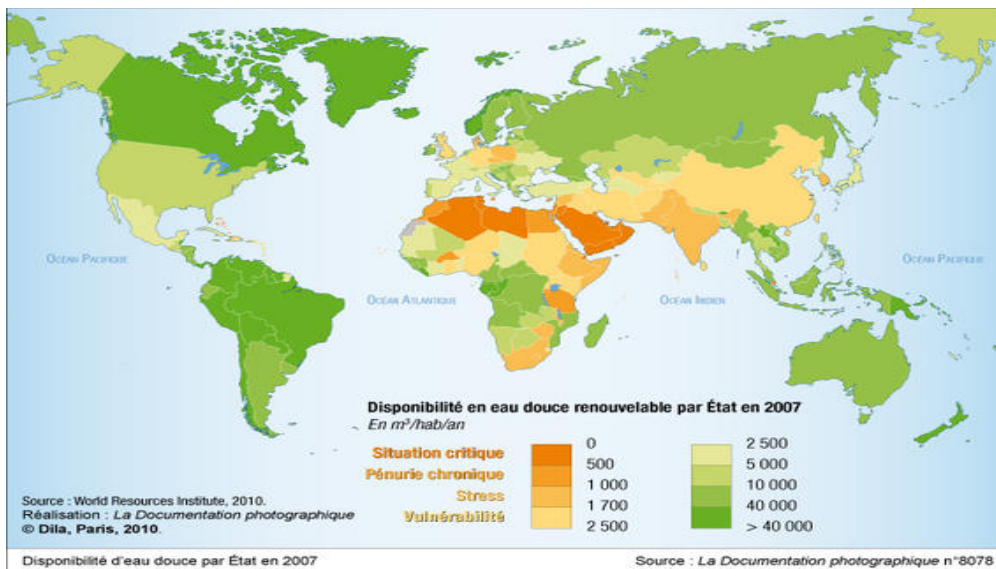


Fig. 2 : Disponibilités mondiales en m³/hab./an

Sauf que ces disponibilités d'eau selon la banque mondiale (2002) (Fig. 3) continuent de diminuer de 1950 à 2030.

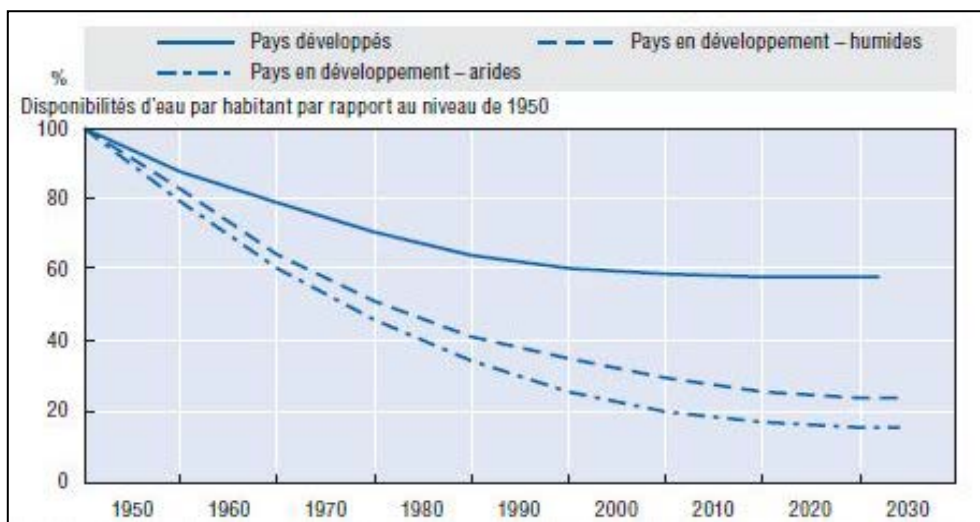


Fig. 3: Disponibilités d'eau au plan mondial

L'Organisation Mondiale de la Santé considère qu'il y a :

- stress hydrique, si un être humain dispose de moins de 1 700 m³ d'eau par an (On parle de stress hydrique dès que l'eau disponible et accessible ne suffit plus à couvrir les besoins des utilisateurs). La figure 4 montre l'Algérie en rouge (Stress hydrique élevé) avec un niveau supérieur à 0.4.

- pénurie, avec moins de 1000 m³ par an.

1,4 milliards de personnes vivent avec moins de 1000 m³ d'eau par an (BRGM, 2011).

Quasiment les trois quarts des habitants des pays arabes vivent en dessous du seuil de pénurie établi, à 1 000 m³ par an, et près de la moitié se trouvent dans une situation extrême avec moins de 500 m³, en Egypte, en Libye notamment (Rapport ONU, 2015).

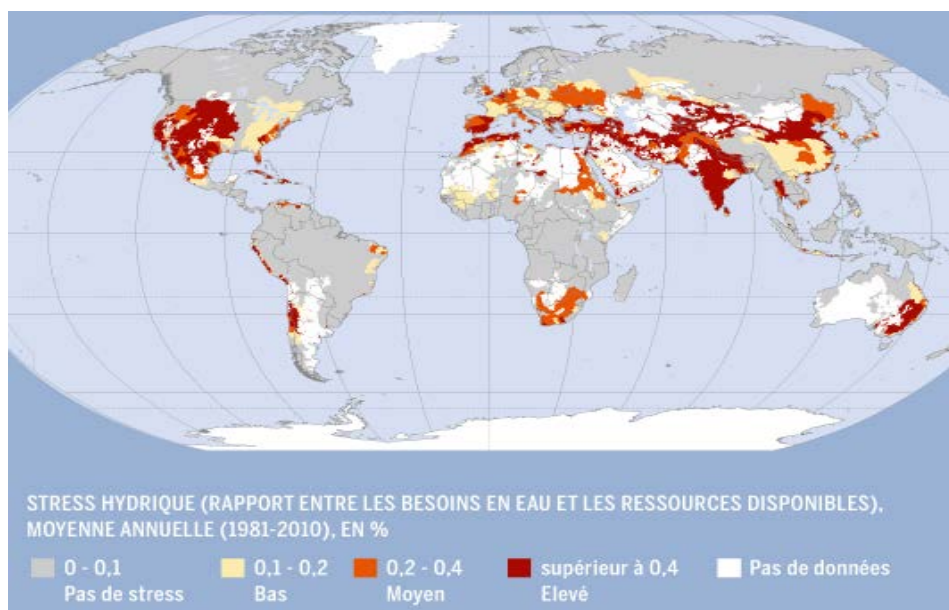


Fig. 4 : Stress hydrique sur une moyenne annuelle de 1981 à 2010.

Source : Stress hydrique dans le monde. Rapport ONU-Eau

Près de 60% des ressources naturelles renouvelables d'eau douce dans le monde sont partagées par 9 géants de l'eau : (Brésil, Fédération Russe, Indonésie, Chine, Canada, Etats-Unis, Colombie, Pérou et Inde). Par contre, un certain nombre de pays disposent de ressources extrêmement faibles, voire quasi nulles : (Koweït, Bahreïn, Emirats Arabes Unis, Malte, Libye, Singapour, Jordanie, Israël, Chypre).

Nous voyons très bien sur la figure suivante que l'agriculture étant le secteur qui consomme le plus d'eau au monde exception faite pour l'Europe, soit près de 70%.

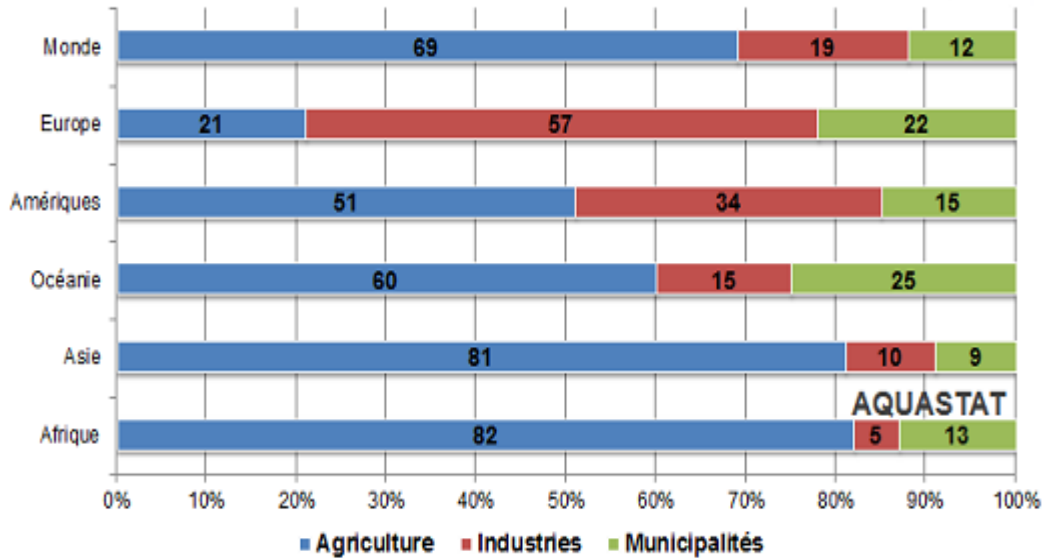


Fig. 5 : Rapports de prélèvement d’eau par continent.

Pour ce qui est de la demande en eau dans le monde, l’histogramme ci-dessous montre bien que celle-ci tend vers l’évolution à l’horizon 2050, l’exception faite pour les pays de l’OCDE (Xavier et al, 2012). Il montre également que l’Afrique se trouve en dernier en termes de demande. Les précipitations annuelles sont illustrées en fig.2 Annexe 1.

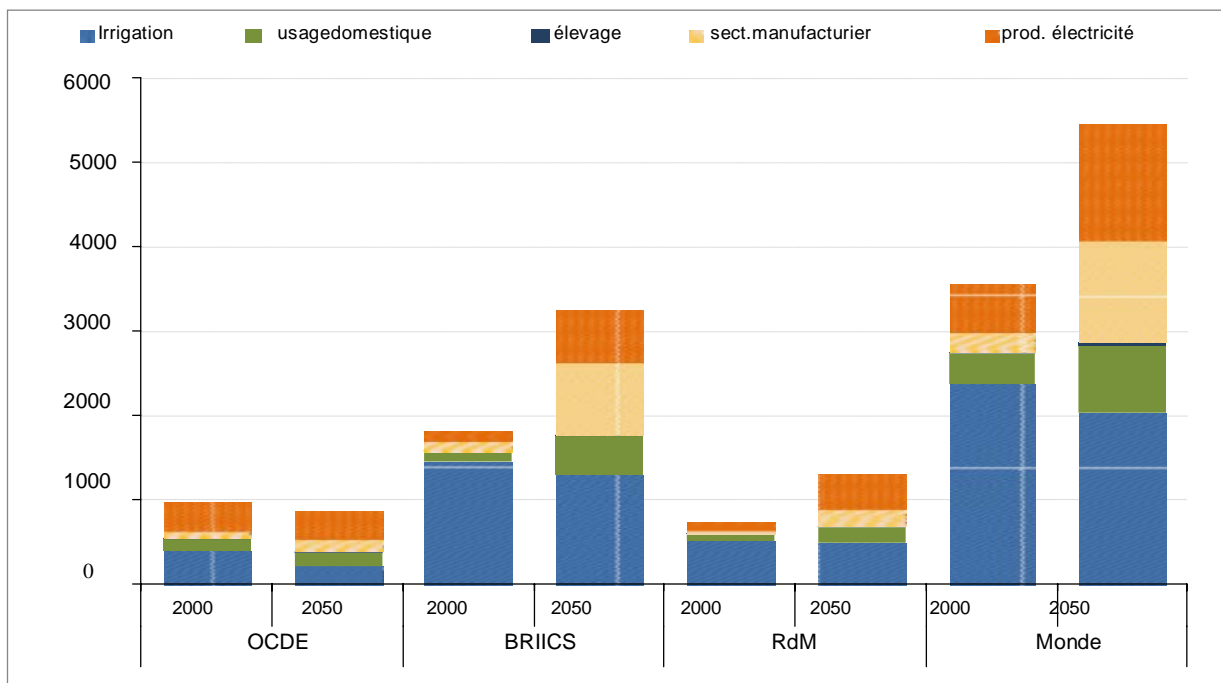


Fig. 6 : Demande d’eau mondiale : scénario de référence, 2000 et 2050

Note : Cette figure se rapporte uniquement à la mesure de la demande d’eau « bleue » et ne tient pas compte de l’agriculture pluviale.

2.2 Les ressources hydriques dans le monde arabe

Le premier risque pour la plupart des pays arabe est la rareté de la ressource en eau douce, déjà peu abondante et menacée par les changements climatiques, la croissance démographique, l'urbanisation et le développement économique (notamment celui de la production agricole).

Malgré les investissements importants dans le domaine de l'agriculture, les pays arabes importent la moitié de leur besoins en céréales, 70% en sucre et oléagineux et 25% en viande (Banque Mondiale, 1995).

Les ressources naturelles des pays arabes sont insuffisantes pour leurs besoins (fig. 7), de plus, la non maîtrise de la gestion de l'eau et surtout des techniques d'irrigation a accentué le gaspillage de l'eau dont les conséquences sur la production agricole, sur l'environnement et sur l'économie sont très défavorables (Zella et Smadhi, 2006)

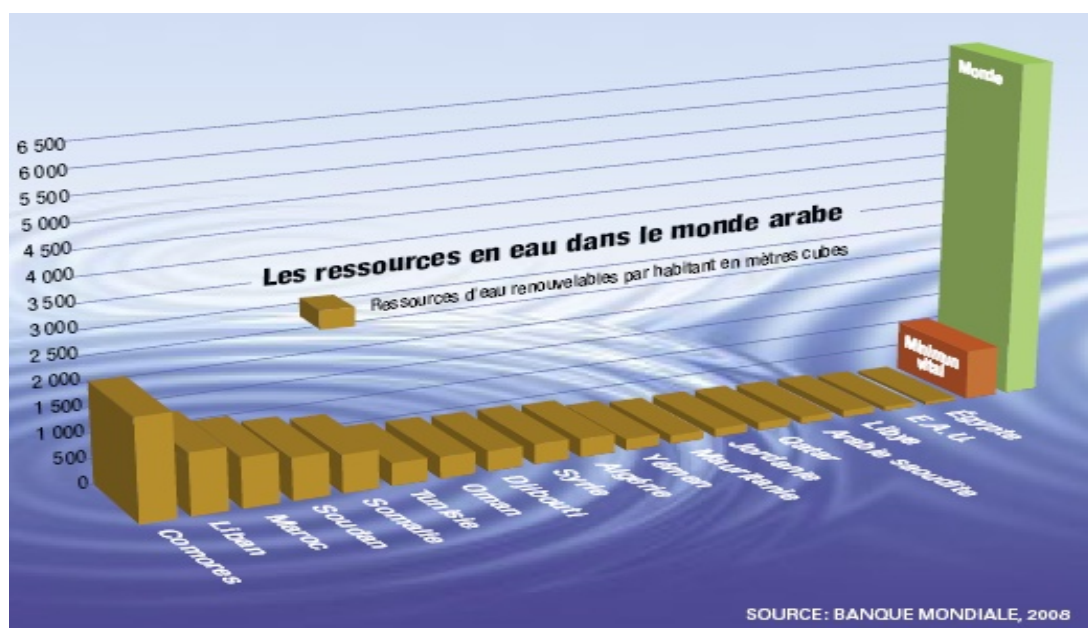


Fig. 7 : Les ressources en eau renouvelables dans le monde arabe

Les pays arabes sont dans leur majorité situés dans des régions à climat sec et désertique, qui se caractérise par une faible pluviosité et des températures élevées tout au long de l'année. Dans les Emirats Arabes Unis par exemple, le taux d'évaporation peut atteindre les 95% de l'eau verte.

Stratégiquement parlant, la question de la sécurité alimentaire des pays arabes a supplanté celle de leur sécurité hydrique bien que les deux aspects soient organiquement

liés (l'agriculture et l'élevage, source essentielle de l'alimentation, dépendant étroitement de l'approvisionnement en eau).

Aucun pays arabe n'est actuellement autosuffisant en ce qui concerne la couverture de ses besoins alimentaires. Assurer l'autosuffisance alimentaire pour les prochaines années ne peut donc qu'accentuer le déficit en eau (Kheir et Akar, 1992).

2.3 Les ressources hydriques dans le bassin méditerranéen

Depuis 50 ans, la demande en eau en Méditerranée a doublé en réponse au développement de différents secteurs économiques. Alors que les ressources en eau se raréfient, agriculture, industries, tourisme entrent en concurrence...

Dans les pays du pourtour méditerranéen, les ressources en eau sont limitées et très inégalement réparties dans l'espace et dans le temps (de 187 km³/an pour l'Italie à 0,7 km³/an pour la Libye et 0,025 pour Malte).

Les pays de la rive Sud reçoivent seulement 10 % du total des précipitations moyennes annuelles. La demande en eau de l'ensemble des pays méditerranéens a doublé durant la deuxième moitié du XX^e siècle pour atteindre, en 2005, 280 km³/an (Blinda et Thivet, 2009).

Dans la plupart des pays méditerranéens, les besoins en eau sont plus élevés que ceux des pays humides, tempérés ou intertropicaux. D'ores et déjà une part notable (Fig. 8), parfois majeure, des ressources en eau naturellement renouvelables des pays méditerranéens est utilisée (Margat, 1992).

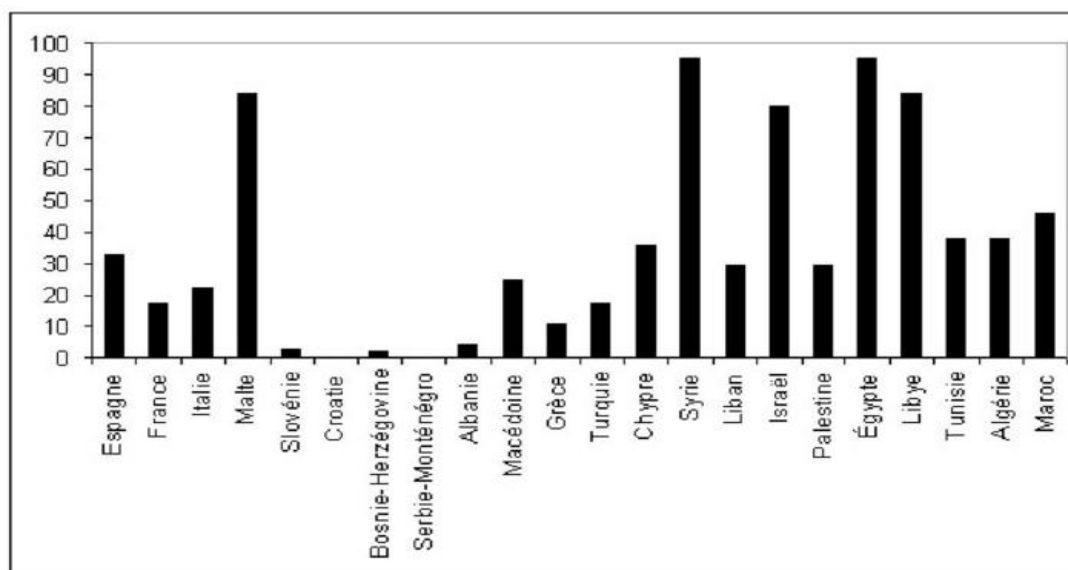


Fig. 8 : Taux d'exploitation des ressources hydriques en pourcentage, 2007

Selon une étude de l'Institut méditerranéen de l'eau, la consommation d'eau dans les pays du sud et de l'est de la Méditerranée (PSEM) est estimée à 170 km³ par ha, dont 123 km³ qui viennent des eaux de surface alimentées par les précipitations (pluie, fonte des neiges...) et 25 km³ des eaux souterraines. L'utilisation dominante est l'irrigation (72%) (Margat, 2011).

2.4 Les ressources hydriques en Afrique

Les prélèvements totaux annuels de l'Afrique s'élèvent à 215 km³, soit à peine 5.5 pour cent des ressources renouvelables du continent (fig.9). Ils représentent moins de 6 pour cent des prélèvements mondiaux. À l'échelle du continent, 86 pour cent des prélèvements recensés sont destinés à l'agriculture, valeur supérieure aux prélèvements agricoles mondiaux (70 pour cent) (AQUASTAT, 2016).

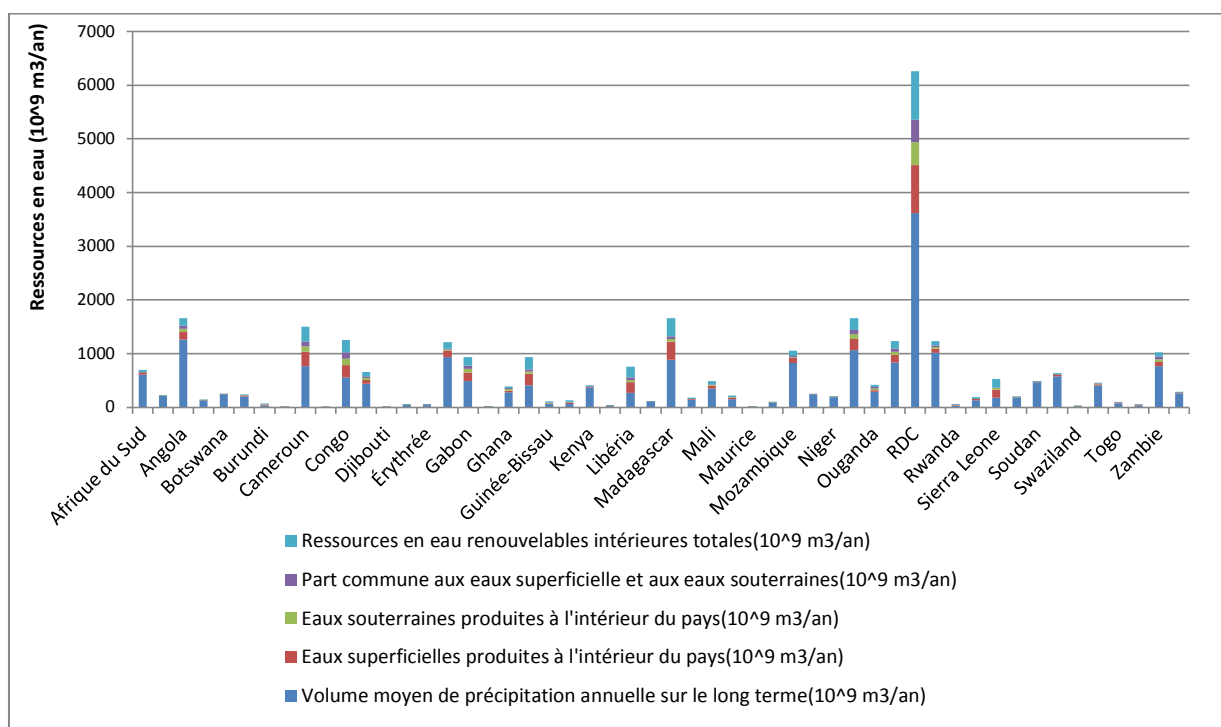


Fig. 9 : Les ressources hydriques en Afrique

L'Afrique du Nord atteint un seuil intolérable des ressources en eau utilisées (plus de 90%), ce qui signifie que ses ressources en eau n'ont plus un caractère durable (Fig. 10).

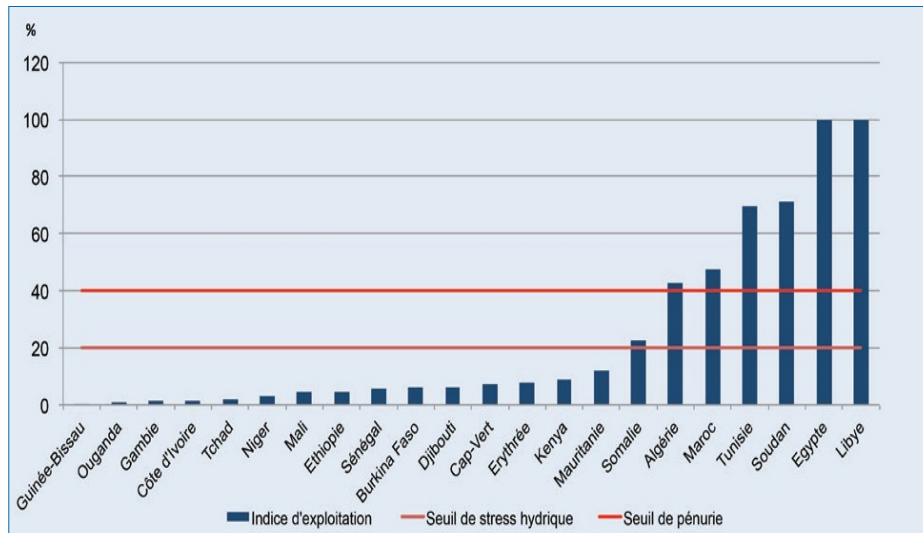


Fig. 10 : Indice d'exploitation des ressources naturelles renouvelables (période 2012-2013) Source : FAO (Aquastat), 2012-2013

Un pays qui manque d'eau (Fig. 11) est un pays qui ne peut ni nourrir sa population, ni se développer. D'ailleurs, la consommation en eau par habitant est désormais considérée comme un indicateur du développement économique d'un pays (Dris, 2005).

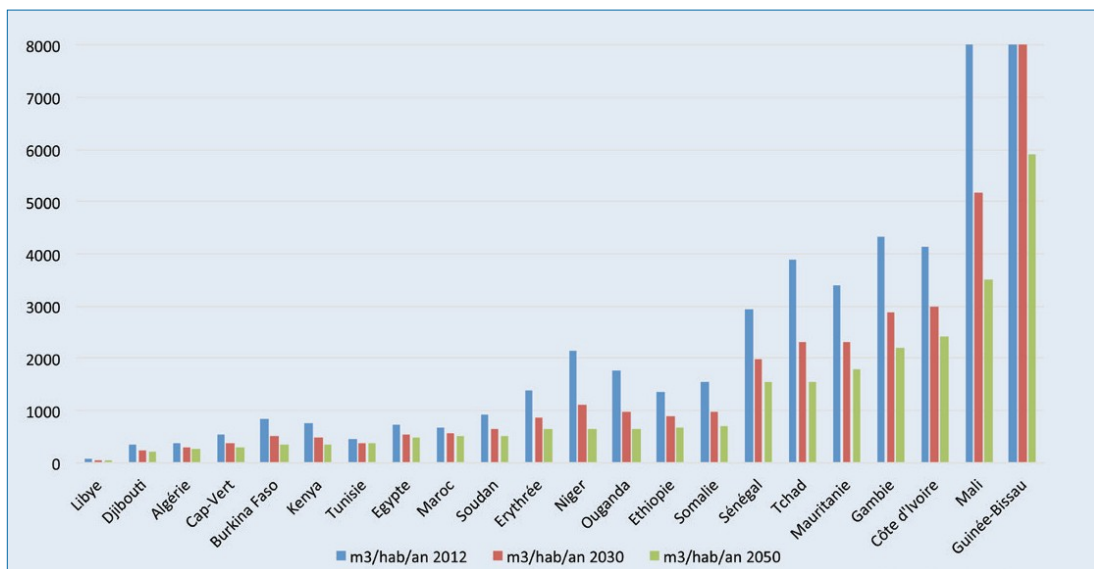


Fig. 11 : Disponibilité de la ressource en eau par habitant par an (en 2012- 2013, 2030 et 2050), Source : OSS, 2016.

2.5 Les ressources hydriques en Algérie

Les potentialités hydriques naturelles de l'Algérie sont estimées actuellement à 18 milliards de m3 par an répartis comme suit :

- 12,5 milliards de m³/an dans les régions Nord dont 10 milliards en écoulements superficiels et 2,5 milliards en ressources souterraines (renouvelables).
- 5,5 milliards de m³/an dans les régions sahariennes dont 0,5 milliard en écoulements superficiels et 5 milliards en ressources souterraines (fossiles) non renouvelables.

La majeure partie du territoire algérien est un désert (87%) où les précipitations sont quasi-nulles, mais qui recèle d'importantes ressources fossiles d'eaux souterraines non renouvelables. La partie nord, caractérisée par son climat méditerranéen, dispose de ressources en eau renouvelables, tant pour les eaux de surface que pour les nappes phréatiques. 90% des eaux de surface sont situées dans la région du Tell qui couvre environ 4% du territoire. Cependant deux éléments sont à distinguer : une variabilité en termes de pluviométrie entre l'Ouest (350 mm/an de pluie en moyenne), l'Est (1 000 mm/an), le Sahara (moyenne inférieure à 100 mm/an) et une concentration des précipitations dans le temps.

Afin de mobiliser de nouvelles ressources en eau, l'Agence nationale des barrages et transferts (ANBT) a engagé d'importants moyens pour améliorer le rendement des exploitations déjà existantes et réaliser de nouveaux ouvrages (Tableau 1).

Tableau 1. Transferts d'eau en Algérie

Désignation	Lieux d'affectations
Transferts Nord-Nord et Nord-Hauts Plateaux	
BéniHaroun	Wilayas de Mila, Constantine, Khenchela, Oum El Bouagui et Batna (504hm ³ /an)
Taksbet	Wilayas de TiziOuzou, Boumerdes et Alger 180hm ³ /an)
KoudiatAcerdoune	Wilayas Bouira, TiziOuzou, M'sila et Medéa (178hm ³ /an)
Mostaganem–Arzew-Oran(MAO)	Wilayas de Mostaganem et Oran (155hm ³ /an)
BarragesErraguène, abelloutetDraaDiss	Wilaya de Sétif (191hm ³ /an)
BarragesIghilEmdaetMahouane	Wilaya de Sétif (122hm ³ /an)
Transfert Sud-Sud	
NappeAlbiennelnSalah	Tamanrasset (36hm ³ /an)
Transfert Sud-Hauts Plateaux	
NappeAlbienne	Wilayas de Djelfa, Tiaret, M'sila, Biskra, Batna, Saïda, Tiaret et Médéa

Source : MRE.

Le taux de couverture de la demande alimentaire par la production nationale algérienne est faible. Les conséquences sur l'économie sont très défavorables. En effet, pour relever le défi de la sécurité alimentaire, l'Algérie a cherché à affecter de plus grandes ressources en eau au secteur agricole.

Le recours aux unités de dessalement permet également de réserver une partie plus importante des eaux de barrages à l'agriculture. L'Algérie compte en 2013 neuf grandes stations de dessalement en exploitation à même de produire jusqu'à 1,4 millions de m³ d'eau dessalée par jour (Mozas et Ghosn, 2013).

Les données pluviométriques enregistrées ces dernières décennies en Algérie ont permis de constater que les moyennes accusent un déficit important par rapport aux périodes antérieures (1960-1970). Cela est évalué à plus de 20 % au niveau de l'Ouest, 13 % au centre algérien et de 12 % à l'Est du pays (ABHO, 2010).

Les ressources en eau renouvelables totales sont estimées à 11 670 millions m³/an, soit 292 m³/an/habitant en 2014 (Tableau 2). Ce qui positionne l'Algérie parmi les pays qui souffrent le plus du stress hydrique (Tableau 1 Annexe1), avec des ressources par habitant très inférieur au seuil de rareté absolue de l'eau (FAO, 2014).

Tableau 2. Ressources en eau renouvelables

Ressources en eau renouvelables		
Précipitations moyennes (sur le long terme)	-	89 mm/an
	-	212 000 million m ³ /an
Ressources en eau renouvelables internes (moyenne sur le long terme)	-	11 250 million m ³ /an
Ressources en eau renouvelables totales	-	11 670 million m ³ /an
Indice de dépendance	-	4%
Ressources en eau renouvelables totales par habitant	2014	292 m ³ /an
Capacité totale des barrages	2014	8 300 million m ³ /an

Le pays est divisé en cinq bassins hydrographiques regroupant les 19 bassins versants du pays (Fig. 12).

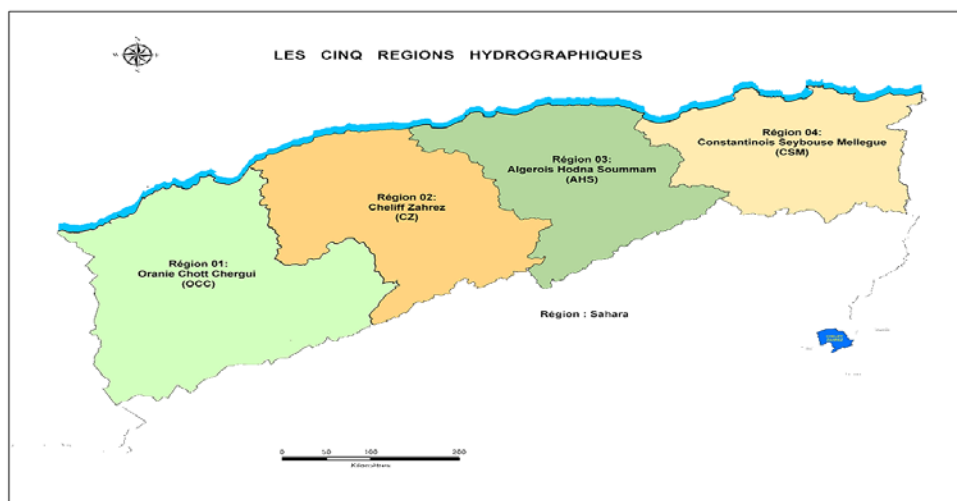


Fig. 12 : Les cinq régions hydrographiques Source : MRE.

Les ressources en eau prélevées en 2012 (Tableau 3) sont estimées à 8 425 millions m³, dont 4 800 millions m³ provenant d'eau superficielle, 3 000 millions m³ d'eau souterraine (Eurostat, 2015).

Tableau 3. Ressources en eau prélevées en millions de m3

Prélèvement en eau :			
Prélèvement total en eau	2012	8 425	millions m3/an
- Agriculture (irrigation+Elevage+Aquaculture)	2012	4 990	millions m3/an
- Municipalités	2012	3 020	millions m3/an
- Industrie	2012	415	millions m3/an
• Par habitant	2012	219	m3/an
Prélèvement d'eau de surface et souterraine	2012	7 800	millions m3/an
• En % des ressources en eau renouvelables totales	2012	67	%
Sources en eau non conventionnelles :			
Eaux usées municipales produites	2012	820	millions m3/an
Eaux usées municipales traitées	2012	324	millions m3/an
Utilisation directe des eaux usées municipales traitées	2012	10	millions m3/an
Utilisation directe d'eau de drainage agricole			millions m3/an
Eau dessalée produite	2012	615	millions m3/an

L'irrigation occupe une place importante dans la consommation d'eau (62% de la demande totale du pays). La demande en eau potable, qui a considérablement augmenté depuis les années 1970, représente quant à elle 35% de la demande totale. La part des besoins en eau du secteur industriel ne s'élève qu'à 4.92%.

En Algérie, la diminution de la pluviosité a engendré des déficits d'écoulement allant de 37 à plus de 70% de l'est vers l'ouest du pays (Meddi et Hubert, 2003).

Le stress hydrique en Algérie peut être expliqué par plusieurs facteurs parmi les plus importants :

- Le déséquilibre entre l'offre et la demande en eau (surtout dû à la croissance de la demande) ;
- La baisse de la pluviométrie depuis trois décennies, avec un pic de sécheresse en 2001-2002 (Meddi et *al.*, 2009) ;
- Le phénomène de désertification des sols qui accentue la menace de sécheresse (et d'évapotranspiration), en particulier dans l'Ouest algérien.

Cette situation pourrait être amplifiée par les effets du changement climatique qui sont susceptibles d'être plus prononcés dans le bassin méditerranéen que dans d'autres régions du monde (IPEMED, 2009).

3. La gestion de la ressource en eau

La nouvelle politique de l'eau s'est fixée comme objectifs outre la mobilisation de toutes les ressources potentielles pour satisfaire l'ensemble des besoins sectoriels, une gestion rationnelle de ces ressources. La gestion des ressources hydriques nettement insuffisantes, faiblement mobilisées et mal exploitées a conduit au gaspillage de ces dernières.

On estime les pertes totales à 50% sur les volumes prélevés dans les réseaux d'eau potable et à 40% pour l'irrigation (Talbi et Souak, 2016).

La nouvelle politique de l'eau est basée non plus sur une approche sectorielle comme celle qui a prévalu durant les décennies précédentes mais sur une approche intégrée de la gestion qui tient compte à la fois de l'adéquation des ressources par rapport aux besoins. Une gestion déséquilibrée et non durable des ressources due au mode actuel de tarification qui ne couvre pas totalement le coût total de l'eau (l'eau mobilisée, dessalée etc.).

4. Conclusion

En matière de ressources conventionnelles, c'est-à-dire eaux superficielles et eaux souterraines, les statistiques révèlent une grande insuffisance ainsi qu'une faible mobilisation et une mauvaise gestion des ressources hydriques.

Nous avons bien montré donc qu'effectivement, l'Algérie ne pourra pas atteindre l'autosuffisance ou bien même couvrir les besoins alimentaires, d'autant plus que c'est un pays qui manque beaucoup d'eau, il devra avoir recours aux importations.

Lani, 2011, a pu montrer que pour les céréales seulement, les besoins en eau sont de l'ordre de 5 Milliards de m³ d'eau (5,7 milliards comme eau de pluie et 3,8 comme eau d'irrigation). En réalité, ces deux valeurs expriment l'eau virtuelle contenue dans les céréales produites en Algérie pour une superficie de 1,7 millions ha. Ce qui veut dire que pour subvenir à nos besoins alimentaires actuellement, il nous faudra mobiliser 3 fois plus d'eau destinée à l'irrigation, soit entre 10 à 12 milliards de m³/an (Mouhouche et Lani, 2011).

L'enjeu principal de l'eau agricole est de sécuriser l'agriculture face à une volatilité des ressources en eau et d'essayer d'améliorer l'efficacité des systèmes de distribution de l'eau.

CHAPITRE II

Le concept de l'eau virtuelle agricole

1. Introduction

Depuis le début du 21^{ème} siècle, l'eau est de plus en plus considérée comme un bien économique. En plus de l'évaluation de l'eau et sa tarification, un autre concept vient renforcer les travaux dans le domaine du manque d'eau et la gestion durable des ressources hydriques, il s'agit de « l'eau virtuelle ». Ce concept, largement ignoré dans la littérature, permet de mettre en évidence la fraction invisible de l'eau nécessaire à la production d'un bien (de 37 à 57 fois plus grande que la fraction visible) (Turton, 2000). Et selon Zimmer (2003), consommer un kilogramme de blé, c'est aussi, dans les faits, consommer le millier de litres d'eau qu'il a fallu pour faire pousser cette céréale.

Pour les pays en situation de pénurie, il est plus facile de se procurer une tonne de céréales que les 1 000 m³ d'eau qui ont été nécessaires à leur production. De ce fait, leurs politiques alimentaires sont essentiellement basées sur l'importation de produits agricoles qui recèlent d'importantes quantités d'eau virtuelle. Cette importation devient ainsi une source d'eau, à côté de sources d'eau endogènes. Pour financer ses importations de produits agricoles, un pays doit trouver de l'argent. L'Algérie est confrontée à ce genre de situation d'autant plus que le prix du pétrole connaît une dégringolade d'où la nécessité de trouver un substitut et donc nous avons pensé à l'eau qui peut servir à produire des denrées agricoles à haute valeur ajoutée destinées à l'exportation telle que les dattes. C'est la théorie de l'avantage comparatif étudiée par Ricardo.

2. Importance du concept de l'eau virtuelle

Plusieurs travaux de recherches se sont intéressés à l'estimation de l'eau virtuelle (Zhao et Samson, 2012; Dominguez, 2010) et à l'étude de son importance dans l'atteinte des objectifs de sécurité alimentaire tout en mettant ce concept dans son contexte international d'importation et d'exportation des produits agro-alimentaires.

Le concept d'« eau virtuelle » est apparu au milieu des années 1990 dans les études consacrées aux ressources hydriques. Il a été introduit pour la première fois par Allan (1998) pour indiquer le volume de l'eau utilisé pour produire un bien. Son analyse s'appuie sur le déplacement du besoin en eau d'un pays consommateur et en stress hydrique vers un pays producteur possédant un surplus d'eau. Il a conclu qu'importer la ressource « eau » sous

forme de produits pourrait éviter une « guerre de l'eau » dans la région. L'utilisation de l'eau virtuelle permet d'économiser davantage d'eau, et d'accéder aux devises étrangères et aux marchés internationaux pour assurer leur propre sécurité alimentaire. L'eau virtuelle peut se définir comme l'eau qu'a nécessitée la production d'un bien. Selon Hoekstra (2003), l'eau virtuelle est définie comme l'eau qui a été réellement utilisée pour produire un bien.

Les principales composantes de l'eau virtuelle sont la verte (la pluie infiltrée et emmagasinée dans le sol) et la bleue (l'eau de surface et souterraine) telle que présentée sur la figure 13.

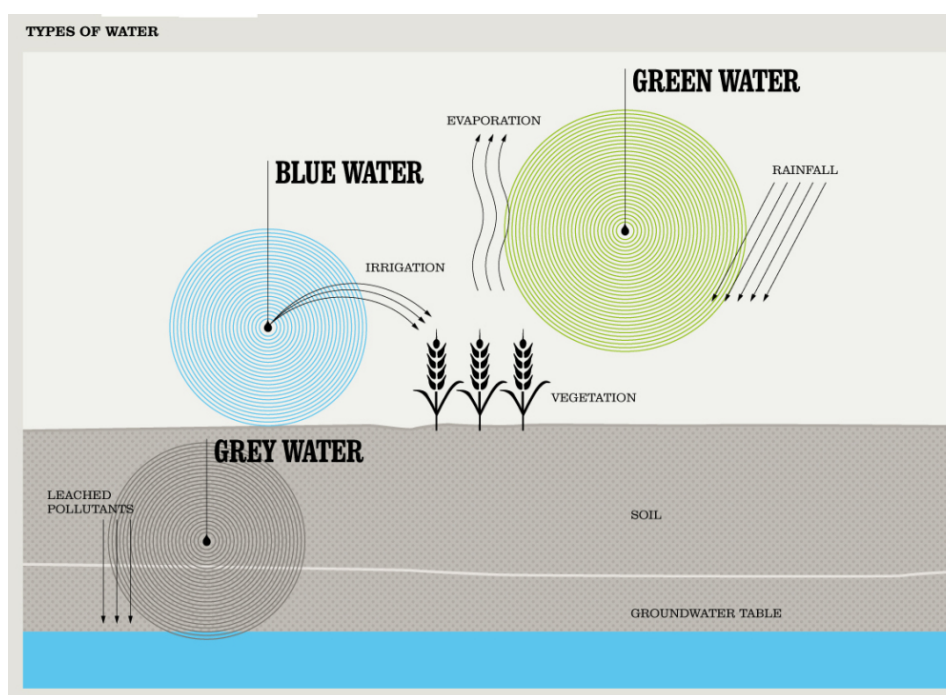


Fig. 13 : Les usages de l'Eau Verte, Bleue et Grise dans l'Agriculture

Pour rendre compte de la quantité d'eau nécessaire pour soutenir un mode de consommation donné, on a proposé le concept d'*empreinte en eau*. Développé par analogie avec le concept d'empreinte écologique, le concept d'empreinte en eau a été introduit par Hoekstra et Hung (2002) comme un indicateur qui permettrait de mesurer l'impact de l'ensemble de la consommation humaine sur les ressources mondiales en eau douce afin d'évaluer si une région ou un pays consomme ses ressources de façon durable ou non. Elle a une dimension géographique et temporelle. Le tableau suivant montre la variation et la grande disparité dans la valeur de l'empreinte hydrique de quelques pays du monde.

Tableau 4. Empreinte hydrique des quelques pays

Pays	En m ³ par personne par an
États-Unis	2483
Algérie	1300
Inde	980
Chine	702
Moyenne mondiale	1243

Source :(Chapagain et Hoekstra, 2004).

Au fait, l'empreinte de l'eau se décline en eau verte (volume d'eau de pluie ou d'humidité du sol consommé ou libéré par évapotranspiration), en eau bleue (volume d'eau de surface ou souterraine consommé ou libéré par évapotranspiration ou transféré sur un autre bassin versant) et en eau grise (volume d'eau nécessaire pour diluer les polluants). L'empreinte sur l'eau d'un pays sera égale alors à la consommation d'eau du pays, plus les importations diminuées des exportations. Au niveau individuel, l'empreinte sur l'eau est égale à la somme d'eau virtuelle contenue dans les produits consommés.

3. L'eau virtuelle et la théorie de l'avantage comparatif

Comme nous venons de voir en introduction de cette partie, un pays doit trouver de l'argent pour financer ses importations de produits agricoles. Pour ce faire, il devra utiliser l'eau soit à des fins touristiques soit l'utiliser pour produire des denrées agricoles à haute valeur ajoutée destinées à l'exportation.

La théorie de l'avantage comparatif développée au XIXe siècle par l'économiste britannique David Ricardo (1772-1823) (Ricardo, 1817), est résumée de la façon suivante: chaque pays a intérêt à se spécialiser dans la production du ou des biens pour lesquels il dispose d'un avantage comparatif par rapport aux autres pays et à acheter les biens qu'il ne produit pas. L'origine de cette théorie est résumée sur la figure 14 suivante :

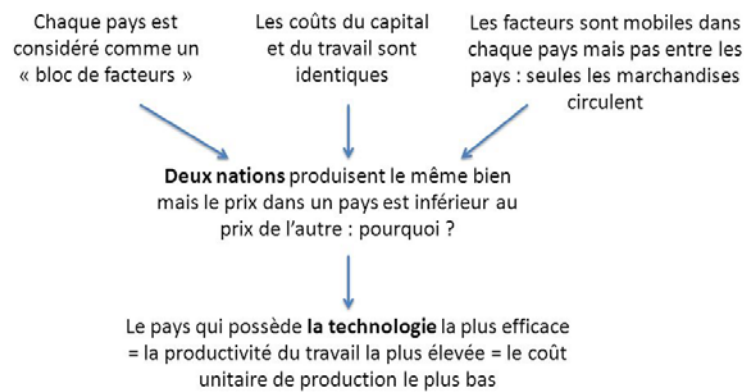


Fig. 14 : L'origine de l'avantage comparatif chez Ricardo

La théorie de l'avantage comparatif de Ricardo a été donc élargie pour expliquer l'effet de la disponibilité d'eau sur le commerce international (Wichelns, 2004). Cette théorie du « commerce de l'eau virtuelle » tend à montrer que l'importation d'un produit à forte intensité d'eau est intéressante si le coût d'opportunité de la production de ce produit est comparativement élevé en raison du manque d'eau douce ou de la faible productivité de l'eau. De même, l'exportation de ces produits est intéressante lorsque les réserves en eau douce sont abondantes ou que la productivité est élevée.

Selon Wichelns (2001) et Allan (2003), l'eau virtuelle peut être considérée comme un descendant de la théorie de l'avantage comparatif. Basée sur cette interprétation les nations qui souffrent du manque d'eau peuvent gagner en important des produits dérivés des cultures grandes consommatrices en eau tandis que leur ressource en eau limitées peuvent être utilisées pour d'autres cultures générant une plus value plus grande (Chapagain et Hoekstra, 2003 ; Wichelns, 2004).

4. Le commerce de l'eau virtuelle et les ressources hydriques

D'ailleurs, la composante économique du commerce d'eau virtuelle est liée à la théorie de l'avantage comparatif du commerce international. Le concept suggère que les pays devraient exporter des produits pour lequel ils ont un avantage comparatif dans la production, tandis qu'ils devraient importer des produits où ils ont un désavantage comparatif (Wichelns, 2001).

Le choix de développer des cultures grandes consommatrices ou, à l'inverse, économes en eau, en vue de l'exportation, peut avoir des conséquences importantes sur le plan de gestion des ressources hydriques. A travers le commerce international, cette eau virtuelle se voit transférée des pays riches en eau vers les pays en pénurie (Fig. 15), nous parlons alors de commerce d'eau virtuelle (Allan, 1996).

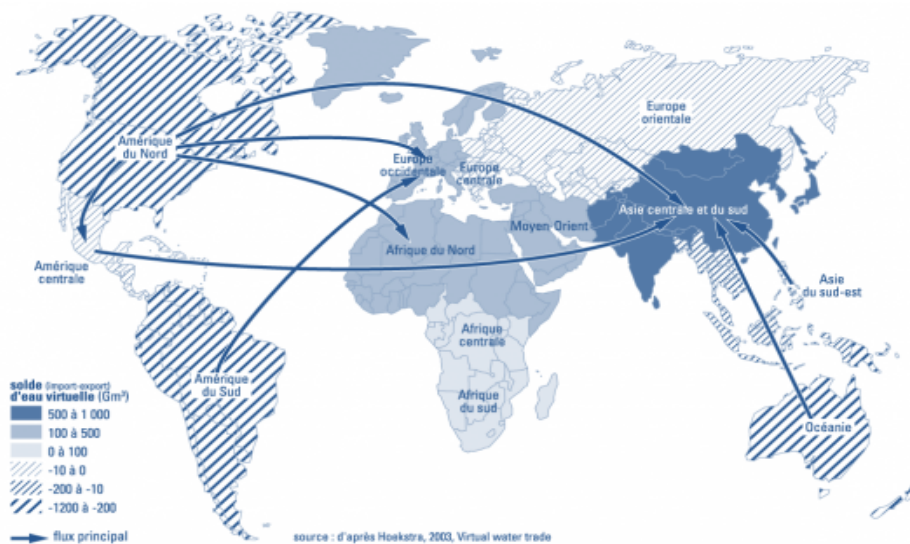


Fig. 15 : le flux d'eau virtuelle entre les différentes régions du monde
Source: d'après Hoekstra, 2003, Virtual Water Trade

Beaucoup d'efforts dans le domaine de l'eau virtuelle ont été entrepris pour quantifier les flux d'eau virtuelle dans le monde, il s'agit du « transfert silencieux de l'eau ». Zimmer et Renault, dans une étude de la FAO, ont montré que la circulation d'eau virtuelle à l'échelle internationale était de 1 340 km³ par année pour l'an 2000. Selon les premières études sur les flux mondiaux d'eau virtuelle liés au commerce agricole, près de 13% de l'eau utilisée par le secteur agricole sont exportés sous forme d'eau virtuelle (Renault et Zimmer, 2002). On attribue ainsi au commerce de l'eau virtuelle le potentiel de répondre aux pénuries locales (Yang et Zehnder, 2001), de pallier la distribution inégale de l'eau entre les différents pays (Hoekstra et Hung, 2005 ; Turton, 2000), assurer la sécurité alimentaire (Shuval, 1999), et réaliser des économies d'eau à grande échelle en produisant la nourriture là où chaque goutte d'eau est la plus efficace (Hoekstra et Hung, 2005).

Le tableau 5 montre les économies nettes d'eau réalisées grâce au commerce de l'eau virtuelle dans certains pays. Le Japon, qui était le plus gros importateur net de produits à forte intensité d'eau durant la période 1997-2001 (Tableau 3 Annexe 2), a pu économiser

près de quatre fois et demie sa consommation d'eau grâce au commerce de l'eau virtuelle (Hoekstra, 2010).

Tableau 5. Economies nettes d'eau grâce au commerce international des produits agricoles, 1997-2001.

Pays	Utilisation totale des ressources nationales en eau dans le secteur agricole ¹ (10 ⁹ m ³ /an)	Économies d'eau résultant de l'importation de produits agricoles ² (10 ⁹ m ³ /an)	Pertes d'eau résultant de l'exportation de produits agricoles ² (10 ⁹ m ³ /an)	Économies nettes d'eau résultant du commerce des produits agricoles ² (10 ⁹ m ³ /an)	Économies nettes d'eau par rapport à l'utilisation d'eau nationale (%)
Chine	733	79	23	56	8
Mexique	94	83	18	65	69
Maroc	37	29	1.6	27	73
Italie	60	87	28	59	98
Algérie	23	46	0.5	45	196
Japon	21	96	1.9	94	448

¹ Source: Hoekstra et Chapagain (2008a).

² Source: Chapagain et al. (2006). Les produits agricoles comprennent les produits végétaux et les produits de l'élevage.

Le commerce de l'eau virtuelle de quelques produits entre les nations en milliards de m³ est récapitulé dans le tableau 1 en Annexe 2. Il est montré que le blé vient en tête avec un peu plus de 30% suivi du soja (17%), le riz (15%), et le maïs de près de 8%.

5. Importation de l'eau virtuelle

La quantité d'eau virtuelle importée par un pays donne la mesure de son degré de dépendance par rapport au marché international pour assurer son approvisionnement (FAO, 2004). Il y a davantage d'eau qui pénètre dans la région MENA via les importations alimentaires par an que d'eau qui s'écoule annuellement dans le Nil et le Jourdain (Allan 1997). Sur la période 1995-1999, les régions de l'Afrique du Nord et le Moyen Orient sont classées respectivement 3^{ème} et 4^{ème} à l'échelle mondiale en terme d'importations brutes de l'eau virtuelle, alors qu'elles sont classées au bas de l'échelle pour les exportations (Annexe 2, Tableau 2). Sur la figure 16 est montrée l'eau virtuelle en milliards de m³ échangée entre ces régions durant la période 2000-2004 (Plan bleue).

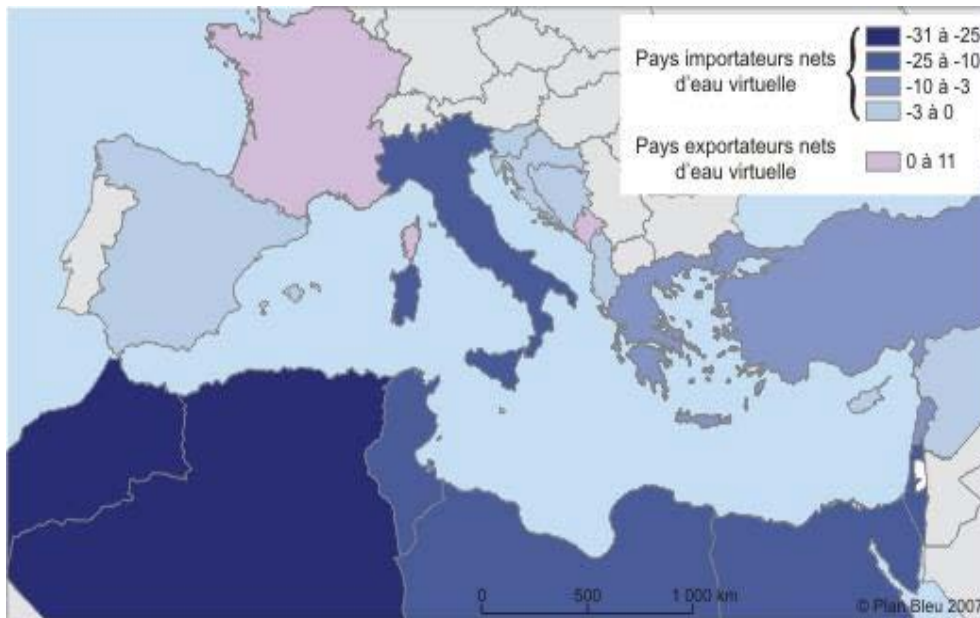


Fig. 16 : Bilans nets des échanges d'eau virtuelle en Gm³ des pays de la région méditerranéenne.

Il est établi que « dans certains pays, l'importation d'eau virtuelle, sous forme de produits agricoles dont la culture nécessite une irrigation intensive, aussi connu sous l'expression « water intensive products », peut être une démarche plus pratique et plus rentable pour garantir la sécurité alimentaire que de cultiver directement des produits ». D'après Fernandez et Thivet (2008), le commerce des produits agricoles est responsable de près de 90% des échanges d'eau virtuelle dans le monde. Ainsi, l'importation des aliments est équivalente à l'importation d'eau sous une forme condensée (Allan, 1994).

5-1. Importation nette d'eau virtuelle

Selon Oki (2004), les échanges d'eau virtuelle ont permis d'économiser cette ressource. En 2000, l'économie d'eau au niveau global a été estimée à environ 400 km³ dont 180 km³ d'eau bleue ce qui représente respectivement 3,9% et 1,7% des ressources mondiales d'eau aisément accessible estimées à 10300 km³ (Fernandez, 2007).

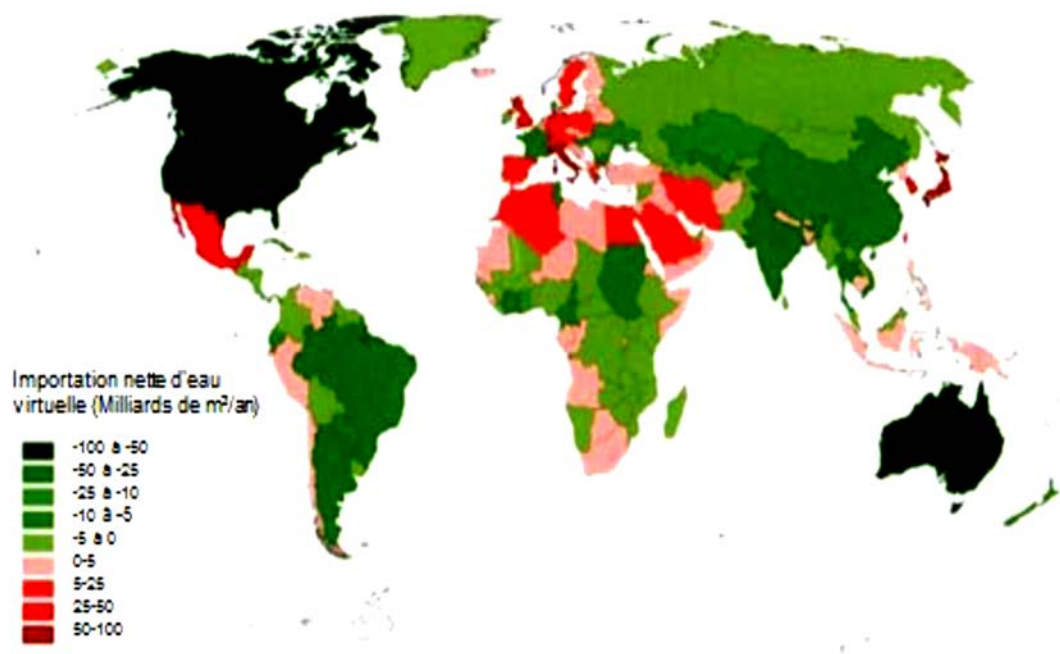


Fig. 17: Importation nette d'eau virtuelle

Sur la base de la figure 17 ci-dessus, nous observons que la plupart des pays asiatiques qui connaissent un stress hydrique sont en réalité des exportateurs d'eau virtuelle. Tel est le cas de l'Inde, du Pakistan et de la Chine. D'autre part, il y a des pays qui sont relativement abondants en eau comme l'Italie ou le Japon et qui néanmoins sont importateurs d'eau virtuelle.

D'après Rousset (2009), les estimations fondées sur les bases de données des échanges agricoles (FAO, TradeSTAT) et sur les estimations des Demandes Spécifiques en Eau (DSE) de la production de blé des pays exportateurs (Hoekstra et Hung, 2002), ont permis de calculer les importations d'eau virtuelle de l'Algérie, de l'Égypte et du Maroc entre 1997 et 2005 en se focalisant sur le blé, principale céréale importée (Tableau 6). La méthodologie suivie a évalué les flux effectifs d'eau virtuelle en se basant sur les quantités consommées selon l'origine des importations.

Tableau 6. Importations d'eau virtuelle sous forme de blé (1997-2005)

Pays	Volume cumulé sur la période (millions de m ³)	Volume annuel moyen (millions de m ³)	Intensité hydrique moyenne (m ³ /tonne)
Egypte	69 280	7 698	1 475
Algérie	52 492	5 832	1 230
Maroc	28 164	3 129	1 133
Total	149 946	16 660	1280

Sources : Calculs d'après FAO, TradeSTAT; Hoekstra et Hung (2002)

L'étude a révélé l'importance des volumes d'eau importés par le biais du commerce du blé, avoisinant les 150 Gm³ sur la période, qui constitue d'ailleurs le premier aspect qui se dégage des résultats reportés dans le tableau 6. En 2002, les importations d'eau virtuelle ont augmenté de 83 % en Algérie, et de 41 et 33 % en Egypte et au Maroc (déficits céréaliers générées par les sécheresses). En Algérie, le commerce du blé constitue un mode d'approvisionnement en eau essentiel avec une contribution de près de 35 Gm³/an. Ces importations participent ainsi indirectement à l'efficacité globale des usages de la ressource en économisant 29 Gm³/an au niveau mondial. Les importations de blé permettront ainsi d'économiser plus de 105 Gm³/an dans la région, dont 72 Gm³ en Algérie, soit un doublement par rapport au début des années 2000.

6. Conclusion

Le concept de l'eau virtuelle s'est révélé très utile pour une utilisation raisonnée des ressources hydriques. El-Sadek (2011) souligne le rôle majeur du concept d'eau virtuelle, en tant que composante de la gestion intégrée des ressources en eau, dans l'amélioration de l'efficacité de l'utilisation de l'eau interne et externe. Mais cela ne veut pas dire qu'il est sans risque, il peut justement dans le cadre du commerce international aggraver les problèmes de rareté de l'eau au lieu de les atténuer. Le concept d'eau virtuelle peut donc être considéré comme un concept à la fois utile et dangereux.

Afin de combler le déficit hydrique, l'Algérie a toujours eu recours à l'importation, de ce fait elle est classée parmi les dix premiers pays importateurs mondiaux de blé (MADR, 2007), ce qui révèle un degré de dépendance alimentaire élevé. Le commerce de l'eau virtuelle peut avoir un effet positif sur les ressources en eau limitées des régions de MENA.

Ces régions d'ailleurs sont considérées parmi les plus pauvres du monde en termes de disponibilité des ressources en eau. Ils devraient donc, importer des produits nécessitant beaucoup d'eau et exporter des produits qui nécessitent moins d'eau.

Et dans une autre logique, en adoptant la théorie de l'avantage comparatif, nous pouvons également exporter un produit tel que les dattes à condition d'avoir une productivité plus élevée. Selon De Villiers, (2000), les États-Unis qui possèdent beaucoup d'eau (9 000 m³ d'eau par habitant et par année), un pourcentage important des recettes d'exportation de céréales du pays vient de cultures produites dans les États de l'Ogallala, sur une terre aride irriguée par une nappe phréatique surexploitée.

CHAPITRE III

La notion de l'efficience d'utilisation de l'eau

1. Introduction

L'Algérie exporte des dattes issues de l'irrigation et faisant partie des exportations agro-alimentaires d'une manière relativement continue. D'autre part, la production céréalière en pluvial est encore insuffisante et des importations massives de céréales considérées à « caractère stratégique » sont réalisées chaque année pour satisfaire les besoins internes. Heureusement, ces produits sont importateurs d'eau virtuelle.

L'agriculture oasienne participe, par sa production, de façon significative au développement régional et national. Cette participation aurait été plus significative si la production à l'hectare était plus élevée et la consommation en eau plus efficiente. Ce qui revient à améliorer l'efficacité d'utilisation de l'eau.

2. La phoeniculture

En Algérie, la phoeniculture occupe une place de premier rang dans l'agriculture saharienne (Benzouche, 2008) et demeure ainsi le pivot de l'agriculture saharienne. Elle revêt une grande importance socioéconomique et environnementale dans de nombreux pays (Dubost, 1990). Durant la période 2000 à 2013, et Avec 15,1 millions de palmiers dattiers, l'Algérie occupe dans le monde la 3^{ème} position en surface, 5^{ème} en production (plus de 9,3 millions de quintaux) et malheureusement la 13^{ème} place en rendement (Annexe 3, Tableaux 1, 2, 3).

Les palmeraies s'étendent sur une superficie de 165 695 ha soit 1.95 % de la SAU nationale en 2014. Le patrimoine phoenicole de l'Algérie, avec plus de 800 variétés, atteint les 18 millions de palmiers en 2014 dont 50 % de la variété Deglet Nour et génère 9 % de la valeur de la production agricole (MADR, 2014).

Bien que le patrimoine phoenicole de l'Algérie soit reparti sur 16 wilayas du pays (fig.18), il est concentré principalement dans les wilayas de Biskra, El-Oued, Ouargla, Adrar, Béchar et Ghardaïa qui sont les principales zones phoenicoles de l'Algérie. Ces wilayas contribuent pour 93.8 % (nombre de palmiers en rapport) au patrimoine national en 2014.

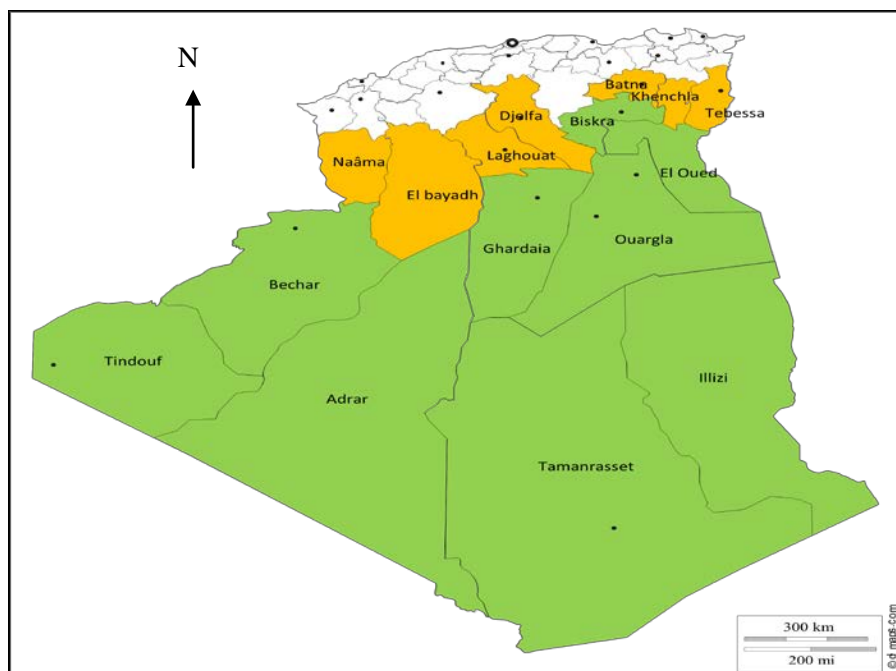


Fig. 18 : Les régions phonicoles de l'Algérie

Comme il est montré sur la figure 19, la production des dattes en Algérie est concentrée principalement dans la région Sud-est qui est à l'origine de 79 % de la production nationale. Cette concentration décroît en allant vers l'Ouest et le Sud.

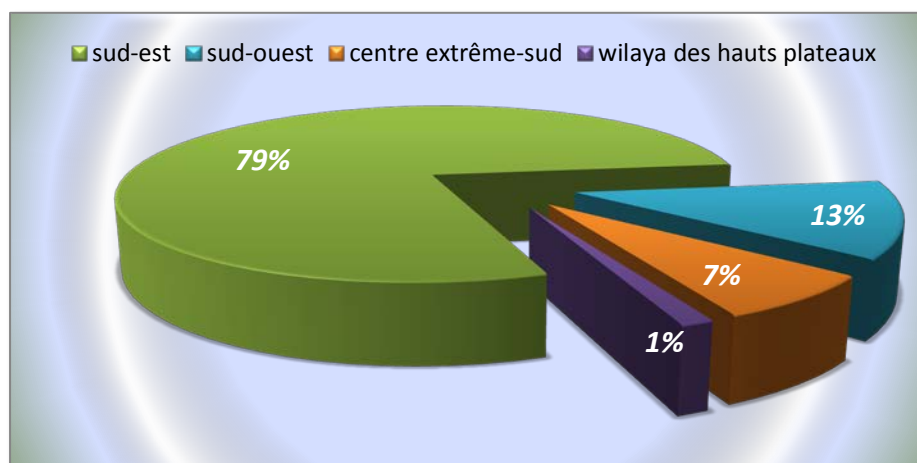


Fig. 19 : Répartition de la production des dattes en Algérie durant l'année 2014.

Source : réalisé à partir des données statistiques de MADR, 2014

La figure 20, montre que la wilaya de Biskra occupe la première place avec 40.35%, suivie en deuxième lieu par la wilaya d'El-Oued avec 24.74 % puis nous trouvons Ouargla (13.40%) en troisième place.

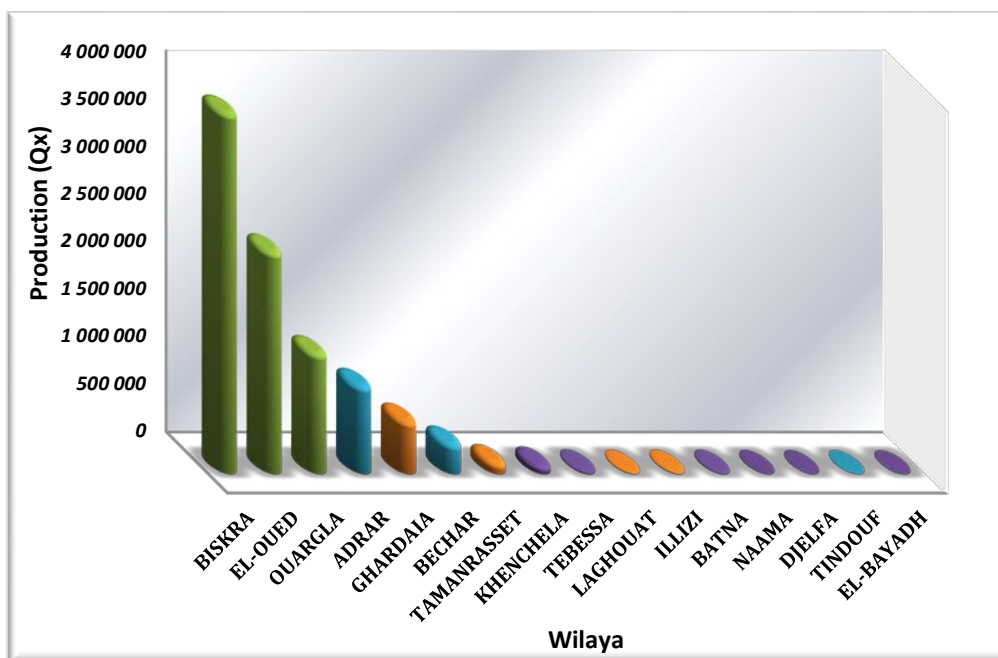


Fig. 20: Production des dattes par wilaya en 2014

Source : réalisé à partir des données statistiques de MADR, 2014

En termes de recettes d'exportation, les dattes sont le premier produit agricole exporté par le pays. Ces exportations de dattes (Annexe 3, Tableau 4), atteignent environ 22 millions d'USD (1640 millions de Da) en moyenne au cours des dernières années (2008-2014), et occupent le premier rang des exportations agroalimentaires.

3. Le concept de l'efficacité d'utilisation de l'eau

L'efficacité d'utilisation de l'eau (EUE) est un indicateur utilisé dans de nombreuses disciplines scientifiques, généralement pour rendre compte des produits générés par unité d'eau appliquée. Cette efficacité est généralement définie comme le rapport de la production à l'eau appliquée (van Halsema et Vincent, 2012).

Dans les régions arides du monde, l'eau est, par définition, le facteur limitant la production alimentaire. Ainsi, l'amélioration de l'efficacité d'utilisation de l'eau est absolument capitale pour une meilleure gestion des ressources hydriques à travers le concept de l'eau virtuelle.

En termes agricoles, il est question d'eau bleue et d'eau verte. Comme nous venons de voir au chapitre précédent, l'eau bleue est celle que cible la gestion conventionnelle des ressources en eau. L'eau verte étant la part des pluies qui s'évapore de la surface des sols ou

qui est employée par les plantes pour leur croissance et leur transpiration (Falkenmark et Rockström, 2006).

L'eau bleue étant calculée par le logiciel CROPWAT 8.0 pour windows. Cet outil d'aide à la prise de décision, développé par la FAO, permet l'évaluation des besoins en eau des cultures et des besoins d'irrigation. Le programme est basé sur l'utilisation de trois types de données, les données du climat, des cultures et du sol et permet l'élaboration du programmes d'irrigation sous différentes conditions de gestion, ainsi que le calcul des calendriers d'irrigation avec la possibilité de faire varier les systèmes de culture.

Le principe de fonctionnement et les procédures de calcul utilisés dans CROPWAT 8.0 (Annexe 3 fig.1) sont fondamentalement basés sur l'équation du bilan hydrique (Allen et *al.*, 1998) et (Doorenbos et Pruit, 1977). Ce programme informatique offre la possibilité d'utiliser des données journalières, décadaires ou mensuelles, contrairement à la plupart des logiciels d'approche similaire, qui demandent absolument des données journalières.

4. Conclusion

Les palmiers-dattiers se sont développés dans les oasis grâce à des ressources en eau à caractère quasi fossile. Leurs productions dépendent principalement des prélèvements d'eau bleue et sa gestion. La phoeniculture est donc importante par le produit financier qu'elle engendre notamment en tant que produit agricole à haute valeur ajoutée.

Dans le cas de l'Algérie, elle peut contribuer grandement, à travers la production des dattes et une utilisation rationnelle de l'eau d'irrigation, à améliorer l'efficacité d'utilisation de la ressource en eau.

Les régions phoenicoles se caractérisent par un climat désertique, d'où une forte demande climatique. Les acteurs du secteur de l'irrigation ont besoin d'indicateurs sur l'efficacité d'utilisation de l'eau afin de mettre en place des stratégies appropriées de gestion durable des ressources en eau. Toute stratégie de développement de la phoeniculture devrait chercher à doubler, de façon durable, les rendements qui demeurent toujours faibles.

Deuxième Partie

Matériel et Méthodes

1. Présentation du logiciel CROPWAT 8.0

CROPWAT 8.0 pour Windows est un programme informatique pour le calcul des besoins en eau des cultures et des besoins d'irrigation basés sur les données du sol, du climat et des cultures. C'est un logiciel d'aide à la gestion de l'irrigation, il a été mis au point par la FAO en 1992, basé sur la formule de Penman-Monteith modifiée. Il offre également la possibilité de développer un calendrier d'irrigation en fonction de diverses pratiques culturales, et d'évaluer les effets du manque d'eau sur les cultures et l'efficacité de différentes pratiques d'irrigation.

Comme point de départ, et uniquement pour être utilisé lorsque les données locales ne sont pas disponibles, CROPWAT 8.0 inclut des données standard sur les cultures et le sol. Lorsque des données locales sont disponibles, ces fichiers de données peuvent être facilement modifiés ou de nouveaux peuvent être créés. De même, si les données climatiques locales ne sont pas disponibles, elles peuvent être obtenues pour plus de 5 000 stations dans le monde à partir de CLIMWAT, la base de données climatiques associée.

Le fonctionnement de base du logiciel Cropwat repose sur quelques variables. Toutes ces variables s'articulent autour de l'équation du bilan hydrique qui s'écrit de façon générale sous la forme :

$$R_i = R_{i-1} + P_{\text{eff}} + Irr - D - ET_m$$

R_i : Réserve en eau du sol au jour i (mm)

R_{i-1} : Réserve en eau du sol au jour $i-1$ (mm)

P_{eff} , Précipitation efficace (mm)

Irr : Apport de l'irrigation (mm)

D : Drainage

ET_m : Evapotranspiration maximale

$$ETM = K_c \times ETP$$

K_c : coefficient cultural,

ETP : évapotranspiration de référence (mm).

Ces variables peuvent être mesurées ou déterminées à des pas de temps différents (journalier, mensuel, etc.). Toutefois, il est bon de noter que Cropwat ne prend en compte

que des données climatiques mensuelles et qu'il les interpole pour obtenir des valeurs journalières.

Le programme CROPWAT 8.0 est organisé en 8 modules différents, dont 5 sont des modules d'entrée (Climat/ETO, précipitation, culture, sol et assolement) et 3 sont des modules de calculs (besoins en eau des cultures, calendrier d'irrigation et l'approvisionnement du périmètre).

Les données climatiques nécessaires entrées dans le Cropwat sont représentées par la température, l'humidité relative de l'air, la vitesse du vent et la durée d'insolation.

À partir de l'équation originale de Penman-Monteith et des équations de la résistance aérodynamique et de surface, la méthode FAO Penman-Monteith est recommandée comme l'unique méthode pour estimer ETo.

$$ET_{O(mm/j)} = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)}$$

Où :

ET_O : évapotranspiration de référence [mm jour-1],

R_n : rayonnement net à la surface de la culture [MJ m⁻² jour-1],

G : densité de flux de chaleur dans le sol [MJ m⁻² jour-1],

T : température journalière moyenne de l'air à une hauteur de 2 m [°C]

u₂ : vitesse du vent à une hauteur de 2 m [m s⁻¹],

e_S : pression de vapeur saturante [kPa],

e_a : pression de vapeur réelle [kPa],

e_S-e_a : déficit de pression de vapeur saturante [kPa]

Δ : pente de la courbe de pression de vapeur saturante [kPa °C⁻¹]

γ : Constante psychrométrique [kPa °C⁻¹].

CROPWAT 8.0 utilise les données pluviométriques mensuelles pour calculer les précipitations efficaces. Pour les productions agricoles, les précipitations efficaces se réfèrent à la part des précipitations qui peuvent être effectivement utilisée par les plantes.

Pour calculer les pluies efficaces, CropWat utilise plusieurs formules, celle retenue est la formule de l'USDA (United States Department of Agriculture) :

$$P_{\text{eff}} = P_{\text{mois}} * (125 - 0.2 * P_{\text{mois}}) / 125 \quad \text{Pour des précipitations inférieure à 250 mm.}$$

$$P_{\text{eff}} = 125 + 0.1 P_{\text{mois}} \quad \text{Pour des précipitations supérieures à 250 mm.}$$

P_{eff} : précipitation efficace (mm)

P_{tot} : précipitation totale (mm)

Pour les données culturales, elles sont représentées par :

- ✓ La date de plantation ;
- ✓ La date de récolte ;
- ✓ Le coefficient cultural (kc) ;
- ✓ La profondeur d'enracinement ;
- ✓ Fraction Épuisement maximum (p) ;
- ✓ Facteur de réponse du rendement (Ky) .

Les 4 phases de développement considérées sont :

- ✓ La phase initiale ;
- ✓ La phase de développement ;
- ✓ La phase de mi-saison ;
- ✓ La phase d'arrière-saison.

Les Besoins en irrigation, exprimés en mm et calculés pour une certaine période de temps, expriment la différence entre l'Évapotranspiration de la culture dans des conditions standard (ET_m) et les contributions des Précipitations efficaces sur la même période de temps.

$$BE_{\text{irr}} = ET_m - P_{\text{eff}}$$

Les données de sol sont nécessaires dans le pilotage des irrigations pour la détermination de la réserve utile (RU) qui est liée à la texture et les profondeurs d'enracinement.

2. Méthodologie d'étude

2.1 Méthodologie adoptée pour l'estimation de la teneur en eau virtuelle

Plusieurs auteurs se sont intéressés à quantifier l'eau virtuelle de différents produits, c'est-à-dire l'eau virtuelle qui a été nécessaire à les produire. L'estimation de la teneur en eau virtuelle nécessaire à la production des différentes cultures en (m³/tonne) a été effectuée selon la méthodologie du «Water Footprint Network», en suivant la méthode proposée par Hoekstra et Hung (2003).

Dans le cas des produits agricoles, l'eau virtuelle est l'eau évapotranspirée par les cultures. Deux composantes de l'eau virtuelle peuvent alors être distinguées: l'eau provenant des précipitations et présente naturellement dans le sol, appelée eau verte, et l'eau d'irrigation ou l'eau bleue. La première étape pour calculer la teneur en eau virtuelle utilisée est d'estimer les besoins en eau d'une culture (n) récoltée (BECn), exprimée en (m³/tonne) (Chatzimpiros et Barles, 2007)

$$BECn = \frac{ETPn}{Rn} \dots\dots\dots(1)$$

Où ETPn est l'évapotranspiration potentielle de la plante (mm/période de croissance), calculée par la méthode de Penman-Monteith (Allan, 1998) et mise à disposition par la FAO.

Rn est le rendement de la dite culture exprimé en (tonne/ Ha).

En se basant sur l'équation (1), les besoins réels en eau des cultures ETR (m³/Ha) sont calculés à partir de l'ETPn ajustée avec les coefficients culturaux (Kc). Le logiciel CROPWAT [FAO, 1992] est utilisé à cette fin. La teneur en eau virtuelle (EV), est alors donnée par l'équation (2):

$$EV = \frac{ETR}{Rn} \dots\dots\dots(2)$$

Ainsi, la teneur en eau virtuelle de la culture par unité (m³/tonne) a été estimée comme le rapport entre la consommation d'eau (m³/Ha) et le rendement de la culture (tonne/Ha). Les calculs ont été effectués avec une application Excel et contrôlée par le logiciel CROPWAT basé sur la méthode modifiée de Penman-Monteith (Smith, 1992). Ce logiciel a été conçu dans le but de calculer l'évapotranspiration de référence (ET₀), la pluie efficace (eau verte), les besoins en eau des cultures et les des besoins en eau d'irrigation (eau bleue). Le tableau 7 résume les teneurs en eau virtuelle de quelques produits estimés par différents auteurs.

Tableau 7. Teneur en eau virtuelle de certains produits estimée par différents auteurs en m³/tonne.

Produits	Hoekstra & Hung (2003)*	Chapagain & Hoekstra (2003)*	Zimmer and Renault (2003)**	Oki <i>et al.</i> (2003)***
Wheat	1150	-	1160	2000
Rice	2656	-	1400	3600
Maize	450	-	710	1900
Potatoes	160	-	105	-
Soybean	2300	-	Egypt: 2750	2500
Beef	-	15977	13500	20700
Pork	-	5906	4600	5900
Poultry	-	2828	4100	4500
Eggs	-	4657	2700	3200
Milk	-	865	790	560
Cheese	-	5288	-	-

* Les chiffres donnés représentent les moyennes mondiales.

** Sauf indication contraire, les données se réfèrent à une étude pour la Californie.

*** Les données se réfèrent au Japon.

2.2 Méthodologie adoptée pour l'évaluation des flux d'eau virtuelle

Hoekstra et Hung (2005) sont les premiers à avoir développé la méthodologie pour l'estimation de la quantité de flux d'eau virtuelle entre les nations à travers le commerce des cultures et du bétail. Ils utilisent une approche de base en multipliant les produits (tonne/an pour chaque culture) par son équivalent en eau virtuelle (exprimée en m³/tonne pour chaque culture). Selon la méthode de (Hoekstra, 2003), l'estimation des flux d'eau virtuelle est basée sur l'estimation d'une teneur en eau virtuelle qui aurait été consommée si les produits importés ont été produits localement dans la zone étudiée.

Ainsi, pour ce cas, afin d'estimer l'eau virtuelle associée aux produits exportés (le cas des dattes en Algérie), on a estimé la quantité d'eau réellement utilisée pour les produire en Algérie dans les différents étages bioclimatiques. Inversement, nous avons utilisé le concept de flux d'eau virtuelle théorique pour estimer l'eau virtuelle dans les cultures importées (cas des produits alimentaires et non alimentaires : voir chapitre Importation de l'EV).

Dans notre cas, le flux d'eau virtuelle (FEV) résultant de l'échange d'un produit donné est estimé à partir de l'équation (2). Pour *les cultures exportées*, le flux d'eau virtuelle sortant est :

$$FEV_s = Ev * Qe \quad (3)$$

Où Qe représente la quantité totale exportée du produit

Pour *les cultures importées*, le flux d'eau virtuelle entrant est :

$$FEV_e = Ev * Qi \quad (4)$$

Où Qi représente la quantité totale importée du produit

Rappelons que le contenu de l'eau virtuelle est calculé par l'équation (2) suivant les étapes montrées sur la (Fig. 21) en utilisant le logiciel CROPWAT qui permet :

- d'estimer les quantités d'eau nécessaires pour produire telle ou telle récolte dans les différentes régions d'étude ;
- d'étudier l'effet d'un changement dans les quantités échangées sur les volumes d'eau virtuelle échangés.

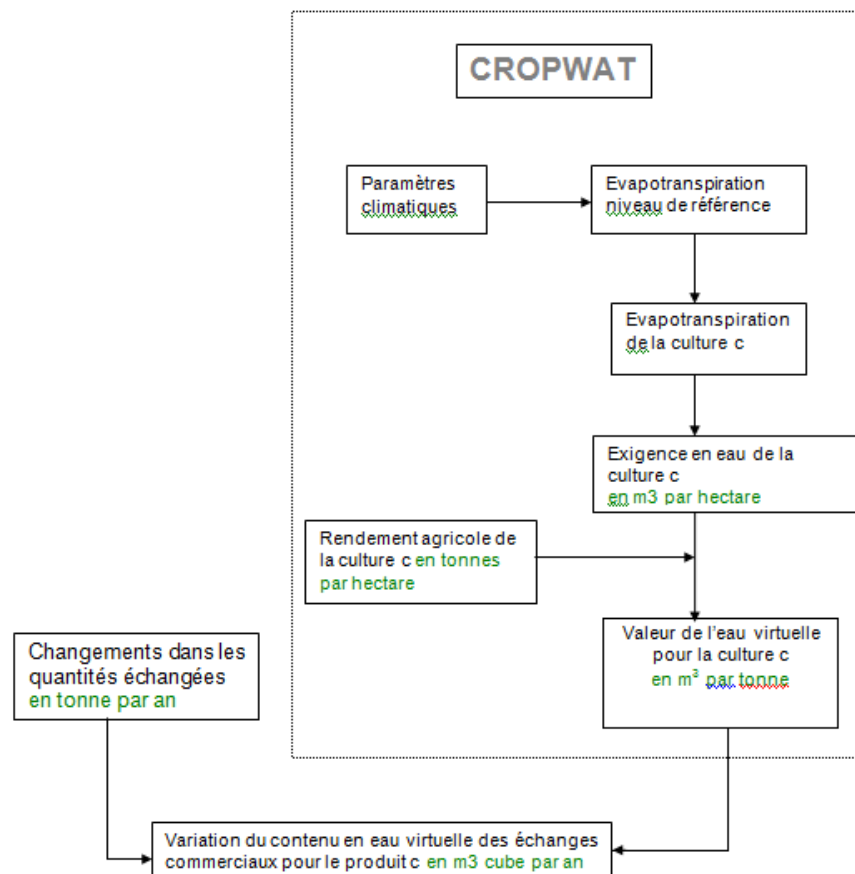


Fig. 21. Variation du contenu en eau virtuelle

Troisième Partie

Résultats et Discussions

CHAPITRE I

L'eau virtuelle des principales cultures pratiquées

1. Introduction

Dans le cadre d'un projet de recherche de l'école, nous nous sommes intéressés à l'évaluation de l'eau virtuelle des principales cultures pratiquées en Algérie, à savoir :

- Les cultures pluviales,
- Les principales cultures maraichères,
- Les principales légumineuses alimentaires,
- Les arbres fruitiers à noyaux et à pépins,
- Les agrumes,
- Le figuier,
- Le palmier dattier,
- les surfaces forestières, alfatières et des parcours,

Cette estimation a permis d'évaluer la valeur de chaque m³ d'eau consommée par ces cultures. Par la suite, nous avons dressé un tableau récapitulatif des efficacités d'utilisation de l'eau pour montrer pourquoi effectivement l'eau virtuelle est très élevée en Algérie, du fait :

- d'abord de la demande climatique qui est importante,
- ensuite l'efficacité de l'eau qui demeure pour la plupart des cultures étudiées faible.

Il s'agit donc de définir le volume d'eau qu'il faut mobiliser pour couvrir la totalité des besoins en eau par l'irrigation de l'ensemble des cultures.

2. Les cultures pluviales

Les données utilisées pour ces cultures sont celles du bulletin des statistiques agricoles Série B (2013) du Ministère de l'agriculture et du développement Rural (Tableau 8). L'étude a pour objectifs de :

- caractériser la demande climatique de chaque wilaya à travers l'évapotranspiration de référence (ET₀),
- calcul des besoins en eau (maximums ET_m, et d'irrigation) mensuels.

Chapitre I : L'eau virtuelle des principales cultures pratiquées

Tableau 8. Les cultures pluviales en Algérie et Superficies moyennes.

Cultures	Superficies (ha)	% de Superficies
Oignon	46 272	0,10 %
Céréales d'hiver	3 216 333	76,41%
Céréales d'été	372	0,01%
Choux fleurs	6 297	0,15%
Choux vert	3 940	0,09%
Prairies naturelles	25 633	0,61%
Jachères fauchées	183 447	4,36%
Vesce avoine	50 040	1,19%
Luzerne en sec	3 766	0,09%
Céréales reconverties	234 603	5,57%
Divers	241 775	5,74%
Orge, Avoine	112 571	2,67%
Autres	15 599	0,28%
Vignes a vins	26 293	0,62%
Fèves	37668	0,90%
Ail	8 556	0,20%
Total	4 209 187	100%

Source : (Statistiques agricoles, série B, 2013).

Le tableau 8 montre que les céréales d'hiver sont, de loin celles qui occupent la plus grande surface (plus de 76%), soit 3 216 333 ha sur 4209187 ha. Les données liées aux différentes cultures sont illustrées dans le tableau 9.

Tableau 9. Les données liées aux cultures.

Cultures	Dur. Pha. Dév. (jour)					kc			Dat. Sem. Pla.
	in.	dé	mi-s.	ar-s.	Durée	int.	mid	fin.	
Oignon	15	25	70	40	150	0,7	1,05	0,75	30-01
Céréales d'hiver	20	50	60	30	160	0,3	1,15	0,25	05-10
Céréales d'été	25	40	40	30	135	0,3	1,20	0,5	01-05
Choux fleurs	20	35	25	15	95	0,7	1,05	0,95	15-01
Choux vert	40	60	50	15	165	0,70	1,50	0,95	15-01
Prairies naturelles	10	30	150	35	225	0,40	0,95	0,40	01-11
Jachères fauchées	150	40	130	45	365	0,80	0,85	0,85	01-02
Vesce avoine	20	25	60	30	135	0,3	1,15	0,25	01-10
Luzerne	150	30	150	35	365	0,40	0,95	0,90	01-11
Céréales reconverties	14	25	50	30	120	0,30	1,15	0,25	13-10
Divers	20	35	40	30	125	0,30	1,20	0,35	05-10
Orge, Avoine	30	30	40	30	130	0,3	1,15	0,30	01-10
Autres	20	50	60	30	160	0,40	1,20	1,15	13-10
Vignes à vins	150	50	125	40	365	0,30	0,70	0,45	15-02
Fèves	20	30	40	20	110	0,40	1,15	0,35	16-11
Ail	15	25	70	40	150	0,7	1	0,7	01-02

Source : (Traité d'irrigation, 2003).

Chapitre I : L'eau virtuelle des principales cultures pratiquées

Puisque les céréales d'hiver occupent la première place en termes de surface, le calcul de leurs besoins en eau est une étape essentielle permettant d'illustrer la part de l'eau verte représentée par les précipitations de celle de l'eau bleue représentée par les irrigations de complément ou d'appoint (Tableau 10).

Tableau 10. L'eau virtuelle totale des céréales d'hiver à l'échelle nationale en m3.

Eau verte	Eau bleue	Eau virtuelle totale
6 718 424 405	10 489 332 343	17 207 756 748

L'eau virtuelle contenue dans les céréales d'hiver en Algérie est estimée à 17 Milliards m3, dans laquelle 6 Milliards de m3 soit 39% sont satisfaits par l'eau de pluie, tandis que, l'eau d'irrigation totalise 10 Milliards de m3 soit 61% du besoin total de la culture (Fig.22).

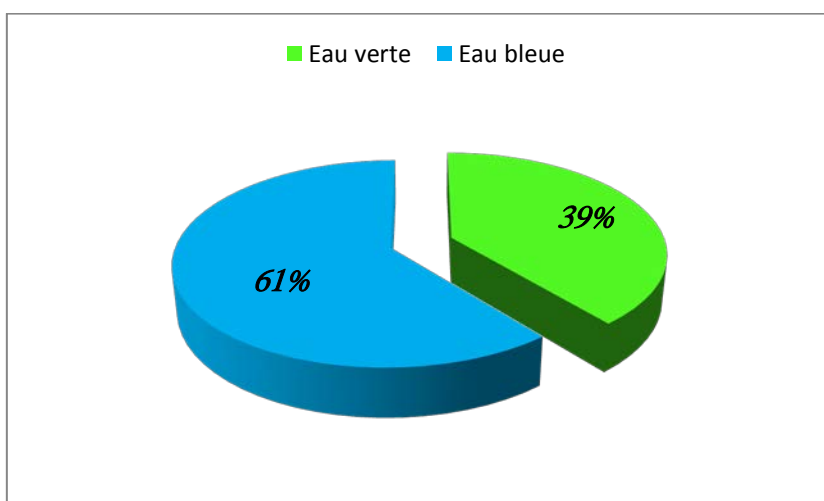


Fig. 22 : l'eau verte et l'eau bleue des céréales d'hiver à l'échelle nationale

Donc pour satisfaire les besoins en eau des céréales d'hiver en Algérie, il faut lui mobiliser 10 Milliards de m3 sous forme d'irrigation de complément. Ce qui donnera un total de presque de 25 Milliards de m3 (Tableau 11).

Chapitre I : L'eau virtuelle des principales cultures pratiquées

Tableau 11. Récapitulatif de l'eau virtuelle des cultures pluviales en Algérie en m3

Cultures	Eau verte	Eau bleue	Eau virtuelle Totale
Ail	12 522 889	46 943 180	59 466 069
Oignon	95 875 980	342 328 563	438 204 540
Choux vert	9 278 645	8 428 096	17 706 741
Choux fleur	10 625 674	18 296 356	28 922 030
Vigne à vin	89 613 404	96 955 286	186 568 690
Céréales d'hiver	6 718 424 405	10 489 332 343	17 207 756 748
Céréales d'été	300 100	5 400 740	5 700 840
Fève	53 613 174	2 258 055	55 871 229
Luzerne sec	8 641 127	14 602 717	23 243 844
Orge avoine	183 422 780	516 906 930	700 329 720
Prairie Naturelle	68 590 203	224 999 745	293 589 948
Jachères fauchées	802 206 920	1 627 302 760	2 429 509 680
Céréales reconverties	346 725 470	1 299 420 240	1 646 145 710
Vesce avoine	122 408 550	144 711 650	267 120 190
Autre	28 686 140	46 231 670	1 551 040
Divers	802 346 590	802 346 590	1 604 693 190
Total	8 538 252 142	15 639 521 741	24 906 914 140

L'eau virtuelle contenue dans les cultures pluviales en Algérie est estimée à 24,90 Milliards de m3, dans laquelle 8,5 Milliards de m3 soit 35% sont satisfaits par l'eau de pluie, tandis que, l'eau d'irrigation totalise 15,69 Milliards m3 soit 65% du besoin total des cultures (Fig. 23).

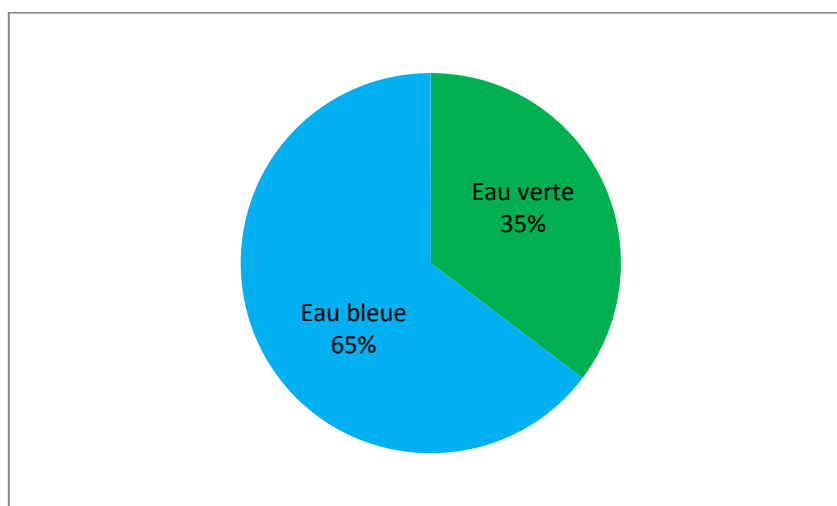


Fig. 23 : l'eau verte et l'eau bleue des cultures pluviales à l'échelle nationale

Chapitre I : L'eau virtuelle des principales cultures pratiquées

Donc pour satisfaire les besoins en eau des cultures étudiés en Algérie, on doit leur mobiliser 15,63 Milliards de m³ sous forme d'irrigation de complément.

3. Les cultures maraichères

En Algérie, les principales cultures maraichères occupent une superficie de 347 602 ha, répartie sur 48 wilayas. L'eau virtuelle contenue dans les principales cultures maraichères est estimée à 2.3 milliards de m³ pour une superficie de 347 602 ha (Tableau 12), dans laquelle 324 millions de m³ soit 14 % sont satisfaits par l'eau de pluie, alors que, l'eau d'irrigation totalise 1.9 milliard de m³ soit 86% du besoin total des cultures étudiées (Fig.24).

Tableau 12. L'eau virtuelle par culture

Culture	Superficie (ha)	Eau (m ³)		Eau virtuelle
		Verte	Bleue	
Pomme de terre	156 176	132 240 113	1 224 448 527	1356 688 640
Tomate	22 646	20 168 348	214 249 670	234 418 018
Oignon	47 982	59 072 359	181 347 573	240 419 932
Melon Pastèque	54 427	36 081 952	318 585 106	354 667 058
Fève verte	35 538	35 601 978	17 073 045	52 675 023
Petit pois	30 833	41 726 625	15 787 956	57 514 581
Total	347 602	324 891 375	1 971 491 877	2 296 383 252

Source : Réalisé à partir des données MADR

Ce qui nous ramène à dire que les principales cultures maraichères en Algérie nécessitent 1.9 milliard de m³ d'eau sous forme d'irrigation de complément.

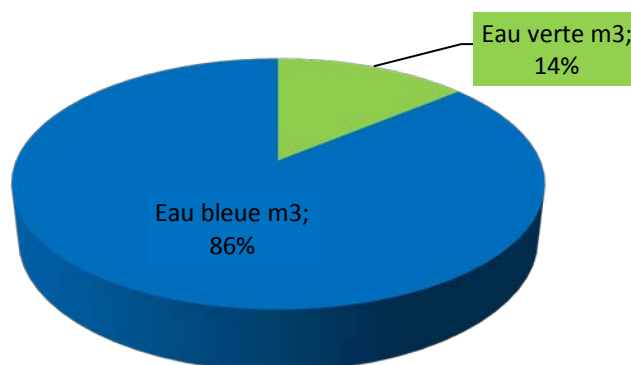


Fig. 24. L'eau bleue et l'eau verte à l'échelle nationale

Chapitre I : L'eau virtuelle des principales cultures pratiquées

L'efficacité d'utilisation de l'eau (l'EUE) est déterminée :

- en premier lieu sur la base du calcul de l'ETm annuelle des cultures à l'aide du logiciel CROPWAT.

- Et en deuxième lieu sur la base des statistiques agricoles. A cet effet, nous avons considéré la production totale des cultures maraîchères des différentes wilayas de l'année 2014.

Les valeurs de l'efficacité d'utilisation de l'eau des principales cultures maraîchères pratiquées en Algérie sont présentées dans le tableau 13, elles permettent de distinguer les cultures maraîchères les plus valorisantes en eau.

Tableau 13. Efficacité d'utilisation de l'eau des principales cultures maraîchères en Algérie.

Principales cultures maraîchères						
	Pomme de terre	Tomate	Oignon	Melon Pastèque	Fève verte	Petit pois
EUE (Kg/m³)	8,06	3,9	5,32	4,78	5,76	3,11

Selon nos résultats, nous constatons que la culture de pomme de terre présente une efficacité d'utilisation de l'eau la plus élevée dans le domaine des cultures maraîchères qui est de l'ordre de 8,06 kg/m³. Cette valeur reste élevée par rapport à d'autres espèces maraîchères telles que (la tomate, l'oignon, le melon et la pastèque, la fève verte et le petit pois).

Une autre étude sur la culture de la pomme de terre a été faite et qui confirme nos résultats. Les besoins en eau à l'échelle nationale sont représentés dans le tableau 14. Il montre la consommation en eau bleue et verte de la pomme de terre en Algérie.

Tableau 14. Besoins territoriaux en eau

	Superficies (ha)	Eau verte (m3)	Eau bleue (m3)	Besoins totaux (m3)
Total Algérie	134 638	180 403 952	584 932 029	765 335 981

Source : Sayeh et Zaidi, 2013.

Le tableau indique que le besoin total en eau de la pomme de terre en Algérie est de 765 335 981 m³, dans laquelle 180 403 952 m³ soit 23.57 % sont satisfaits par l'eau de pluie, tandis que, l'eau d'irrigation représente 584 932 029 m³ soit 76.43 % du besoin total de la culture. L'efficacité de la pomme de terre en Algérie en moyenne est de 3.6 à 8.3 kg/m³.

4. Principales légumineuses alimentaires

Les légumes secs se retrouvent dans le régime alimentaire de plusieurs millions de personnes dans le monde et sont consommés dans tous les continents. Selon les données statistiques de la FAO, 143 pays ont cultivé les légumes secs en 2014.

Les principaux pays producteurs de légumes secs sont l'Inde, le Canada, le Myanmar, et la Chine continentale. En 2014, ces 4 pays ont fourni, en moyenne, la moitié de la production mondiale.

L'analyse statistique des données FAOSTAT permet de constater que la production mondiale des légumes secs est en nette évolution au cours des quinze dernières années. De 2000 à 2014, la production mondiale a augmenté de plus de 37%, en passant de 43,5 millions de tonnes en 2000 à 59,9 millions de tonnes en 2014 (Fig.25).

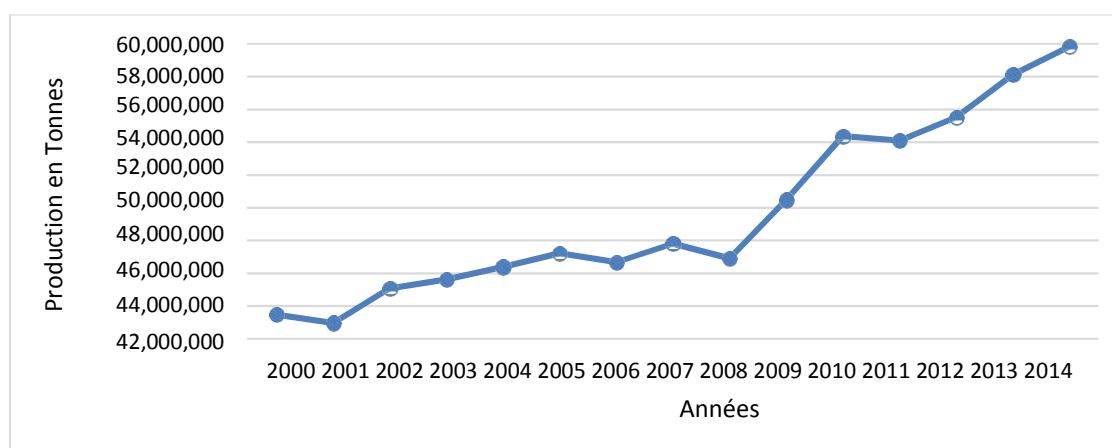


Fig. 25 : Evolution de la production mondiale des légumineuses sèches
Source : (FAO, 2015)

Selon les statistiques de la FAO, la superficie mondiale des légumes secs en 2014 a atteint 58.7 millions d'ha (Tableau 15).

Tableau 15. La superficie mondiale des légumes secs

Cultures	Haricot sec	Fève sèche	Pois sec	Pois chiche	Lentille	Total
Superficies (ha)	30 139 041	2 366 962	6 868 131	14 801 623	4 522 795	58 698 520

Source : (FAO, 2015)

Le rendement des légumes secs dans le monde est en moyenne de 12,44 q/ha durant la période 2010 à 2014 (Tableau 16).

Chapitre I : L'eau virtuelle des principales cultures pratiquées

Tableau 16. Les rendements des légumes secs dans le monde

Cultures	2010	2011	2012	2013	2014
Haricot sec	7,8	7,5	8,2	8,2	8,3
Fève sèche	16,8	18,3	18,2	17,9	18,2
Pois sec	15,9	15,9	15,1	17	16,5
Pois chiche	9,2	8,8	9,4	9,7	9,6
Lentille	10,9	10,7	10,7	11,8	10,8
Moyenne	12,1	12,24	12,3	12,9	12,6

Source : (FAO, 2015)

En Algérie, la superficie moyenne entre 2000 et 2014 est de 71 695 hectares avec une production moyenne de 593 261 quintaux. Les rendements moyens enregistrés pour les six espèces sont très faibles, de l'ordre de 7 à 9 q/ha (Tableau 17).

Tableau 17. Importance des légumineuses alimentaires cultivées en Algérie (moyenne 2000-2014)

Cultures	Superficie		Production		Rendement
	Hectares	%	Quintaux	%	(q/ha)
Fèves-fèverole	34 421	48,01%	304 983	51,41%	8,8
Pois chiche	23 892	33,32%	189 659	31,97%	7,93
Pois sec	8 823	12,31%	62 510	10,54%	7,08
Lentille	2 996	4,18%	25 206	4,25%	8.41
Haricot sec	1 401	1,95%	9 613	1,62%	6,8
Gesse	162	0,23%	1 290	0,22%	7.96
Total	71 695	100%	593 261	100%	7.83

Source : (MADR, 2014)

La quantité d'eau virtuelle contenue dans les légumes secs produits en Algérie est de 354.5 millions de m³ (Tableau 18).

Tableau 18. L'eau virtuelle des légumes secs en Algérie

Cultures	Superficie (ha)	Eau virtuelle totale (m ³)		
		Verte	Bleue	Total
National	90 227	158 454 730	196 105 572	354 560 302

L'eau virtuelle des légumes secs en Algérie est estimée à 354.5 millions de m³ pour une superficie de 90 227 ha. 45% de cette eau (158.4 millions m³) constitue l'eau verte et 55% l'eau bleue (196 millions de m³) (Fig. 26).

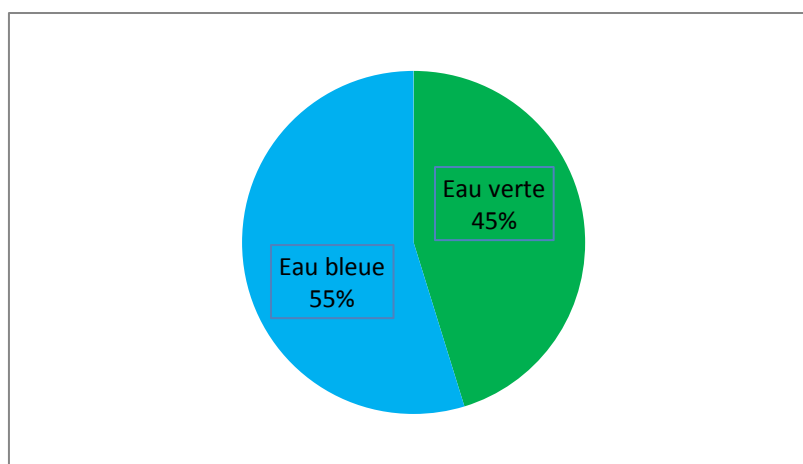


Fig. 26 : L'eau bleue et l'eau verte des légumes secs à l'échelle nationale

L'efficacité d'utilisation de l'eau des légumes secs en Algérie est répertoriée dans le tableau 19.

Tableau 19. L'EUE des légumes secs à l'échelle nationale

Cultures	Production (kg)	BEE total (m ³)	Efficience (kg/m ³)
National	93 411 800	354 560 302	0.26

Les résultats du tableau ci-dessus montrent que les légumes secs en Algérie ont enregistré une efficacité d'utilisation de l'eau moyenne de l'ordre de 0.26 kg/m³. Alors qu'au niveau mondial, elle est de 0.31 kg/m³ (Tableau 20).

Tableau 20. L'efficacité moyenne des légumes secs dans le monde.

Cultures	Production (tonne/an)	Eau virtuelle (10 ⁶ m ³ /an)	Efficience (kg/m ³)
Fève sèche	3 694 817	7 573	0.49
Pois chiche	8 241 196	26 623	0.31
Pois sec	11 286 838	16 955	0.67
Lentille	2 993 099	18 456	0.16
Haricot sec	16 625 282	70 706	0.24
Monde	42 841 232	140 313	0.31

Source : (Chapagain et Hoekstra, 2004 ; Mekonnen et Hoekstra, 2010)

5. Les arbres fruitiers à noyaux et à pépins

En Algérie, l'arboriculture fruitière à pépins et à noyau s'étend sur une superficie de 246 409 ha (Tableau 21), répartie sur 44 wilayas.

Chapitre I : L'eau virtuelle des principales cultures pratiquées

Tableau 21. L'eau virtuelle de l'arboriculture fruitière en Algérie

	Superficie ha	Eau verte (m3)	Eau bleue (m3)	Eau virtuelle totale (m3)
Surf.comp.	246 409	355 627 070	1 633 612 197	1 989 239 267
Surf. en rap.	198 679	241 998 062	1 199 398 784	1 441 396 846
Production (q)	13 598 165			

Les arbres fruitiers à noyau ont une production totale de 6272019 q, soit 46% de la production totale ; 43% représente les abricots. Les arbres fruitiers à pépins ont une production totale de 7326146 q, soit 54% de la production totale ; 55% de la production provient de la pomme.

En Algérie, l'eau virtuelle contenue dans l'arboriculture fruitière est estimée à 1.98 milliards de m3 (Tableau 21) pour une superficie de 246 409 ha, dans laquelle 355.6 millions de m3 soit 18% sont satisfaits par l'eau de pluie, alors que, l'eau d'irrigation représente 1.63 milliard de m3 soit 82% du besoin total des cultures étudiées (Fig. 27). Ce chiffre représente le volume d'eau dont on manque.

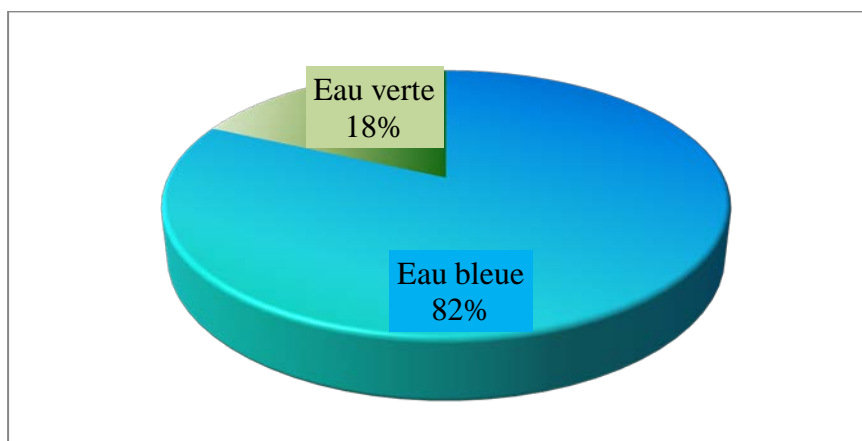


Fig. 27 : L'eau bleue et l'eau verte à l'échelle nationale

Le tableau 22 montre l'efficacité d'utilisation de l'eau de l'arboriculture fruitière en Algérie.

Tableau 22. L'efficacité de l'arboriculture fruitière en Algérie

Surface (ha)		Prod. (q)	E V (m ³)	E B (m ³)	E V (m ³)	Efficience (kg/ m ³)	
Comp.	En rap					EB	ET
246409	198679	13 598 165	241 998 062	1 199398784	1 441396846	1,13	0,94

6. Les agrumes

Les agrumes présentent un intérêt vital pour un grand nombre de pays de par leur importance économique, notamment les revenus appréciables qu'elles génèrent. Le verger agrumicole national dépasse les 65 000 ha, avec une production de plus d'un million de tonnes, relativement faible par rapport à l'importance de la superficie agrumicole. En effet, le rendement national moyen est de l'ordre de 19 T/ha (FAOSTAT, 2012). Ce niveau est faible par rapport au potentiel d'une culture bien conduite (40 T/ha).

Le tableau 23 donne l'eau virtuelle de l'agrumiculture en Algérie. L'étude a montré que la consommation totale d'eau par les agrumes, sous toutes ses formes (pluviale et/ou irriguée) est estimée à 712 Hm³/an.

Tableau 23. L'eau virtuelle de l'agrumiculture à l'échelle nationale en m³.

	Eau verte	Eau bleue	Eau virtuelle
Surface complantée	225 240 569	486 941 388	712 181 957
Surface en rapport	196 958 778	417 389 420	614 348 198

L'eau virtuelle contenue dans les agrumes en Algérie est estimée à 712 million m³ pour une superficie de 65 353 ha. 225.2 Million de m³ de cette eau soit 32% sont satisfaits par l'eau de pluie, alors que, l'eau d'irrigation représente 487 million de m³ soit 68% du besoin total de la culture (Fig.28).

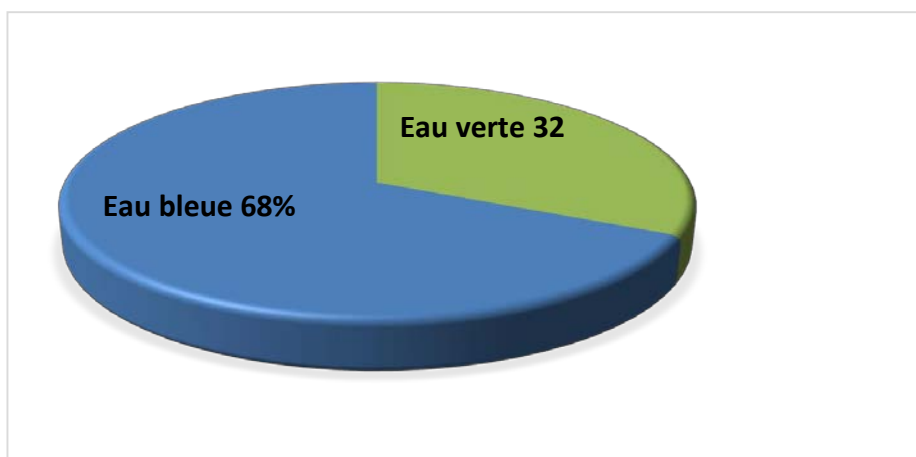


Fig. 28 : L'eau bleue et l'eau verte des agrumes en Algérie

L'efficacité d'utilisation de l'eau des agrumes varie considérablement entre les régions de l'Algérie, cette variation dépend de la production et de la consommation de

l'eau. Elle est en moyenne de 1.76 kg/m³ (Tableau 24).

Tableau 24. L'efficacité de l'utilisation de l'eau des agrumes en Algérie

Production (q)	Eau virtuelle en m ³	EUE (kg/m ³)
10 865 200	614 348 198	1.76

7. Le figuier

En Algérie, la culture du figuier est ancestrale. Cette espèce fruitière s'accommode presque à tous les étages bioclimatiques algériens, elle occupe ainsi une superficie de 43 130 ha soit 0.51% de la SAU nationale en 2015, avec plus de 28 variétés et environ 6 millions de figuiers, dont 5 235 490 en rapport (MADR, 2015).

Le patrimoine figuicole est réparti sur 44 wilayas, il est concentré dans les wilayas de Bejaia et Tizi Ouzou, ainsi qu'à Sétif et Bordj Bou Arreridj qui sont les principales zones figuicoles de l'Algérie. La région de Kabylie contribue pour 47.75% du nombre de figuiers en masse au patrimoine national 2015 (statistiques agricoles Série B, 2015).

La superficie figuicole moyenne pour la période (2000-2015) est estimée à 45890 ha. Elle a connue pendant cette période, des augmentations passant de 35 730 ha en 2000 à 43130 ha en 2015, soit 21% de plus (Statistiques agricoles Série B, 2015). La wilaya de Bejaia représente presque le quart de la surface totale, donc elle vient en tête, avant Tizi Ouzou et Sétif (Fig. 29).

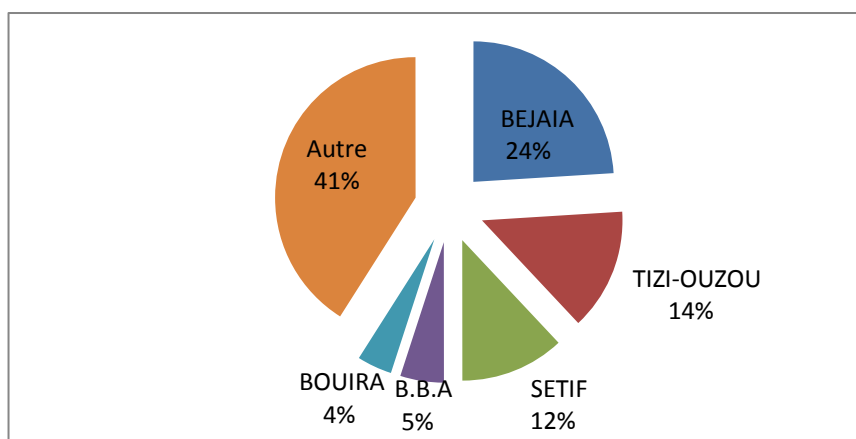


Fig. 29 : Répartition de la superficie figuicole par wilaya en 2015.

Les figuiers isolés représentent 19% du patrimoine, alors que les figuiers en masse représentent la majorité avec 81%.

Chapitre I : L'eau virtuelle des principales cultures pratiquées

La production des figues en Algérie varie selon les campagnes à cause de :

- ✓ nombre de figuiers en rapport ;
- ✓ type variétal et son poids ;
- ✓ l'itinéraire technique suivi ;
- ✓ climat.

Cette production a beaucoup évolué durant la période (2000-2015) passant de 543260 q en 2000 à 1 391 368 q en 2015, soit une hausse de 156% (Fig. 30). La production moyenne durant cette période est estimée à 880 064 q (MADR, 2015).

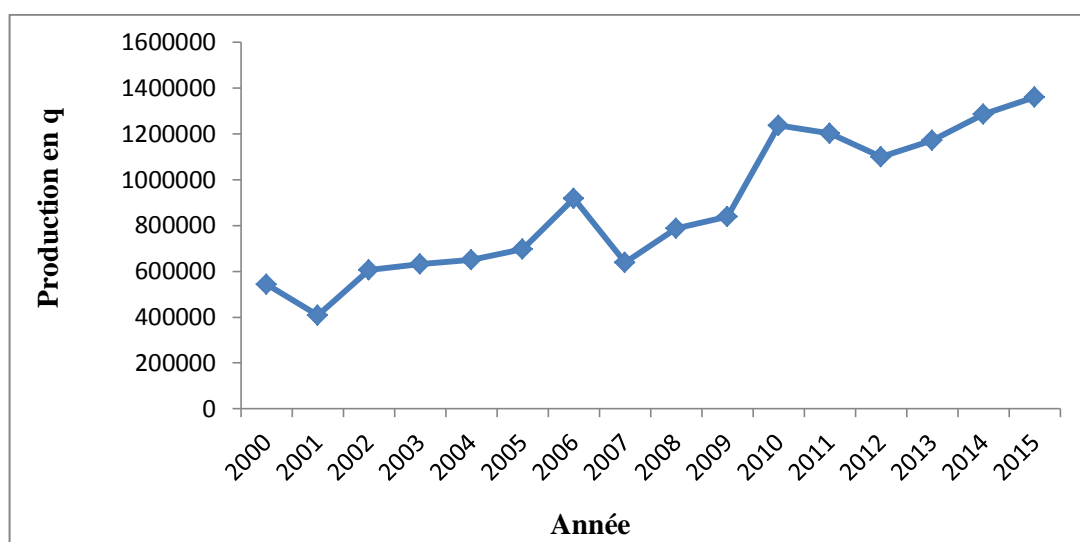


Fig. 30 : Evolution de la production nationale des figues (2000-2015)

Source : réalisé à partir des données statistiques (MADR, 2015)

En 2014, le rendement moyen national du figuier frais a été estimé à 26.6 kg/arbre. Au niveau des wilayas, les meilleurs rendements par arbre sont enregistrés dans la wilaya de Blida avec 80.2 kg/arbre et Guelma avec 73.8 kg/arbre, alors qu'ils ne dépassent pas 29.9 kg/arbre dans les figueraies de Bejaia et 19.2 kg/arbre à Tizi-Ouzou.

Le tableau 25 donne l'eau virtuelle contenue dans le figuier estimée à 555 million m³ pour une superficie de 43 129 ha.

Chapitre I : L'eau virtuelle des principales cultures pratiquées

Tableau 25. L'eau virtuelle du figuier en Algérie

Les wilayas	Sup. (Ha)	N.T.F.	Eau verte		Eau bleue		EV (m ³ /an)
			mm	m ³ /an	mm	m ³ /an	
Alger-Boumerdes	940	112 398	587	5 517 800	519	4 879 540	10 397 340
Tipaza-Blida	1 156	174 303	378	4 365 056	773	8 937 036	13 302 092
Batna-Oum ElBouaghi	217	57 263	369	801 598	805	1 747 067	2 548 665
M'sila-Djelfa	716	118 450	190	1 359 684	1 845	13 211 632	14 571 316
Annaba- El Taref	170	44 026	414	702 950	776	1 319 030	2 021 980
Chlef-Ain Defla	1 460	201 226	335	4 883 700	1 307	19 085 120	23 968 820
Constantine-Mila	255	33 262	472	1 203 345	778	1 984 410	3 187 755
Souk Ahras-Guelma	436	52 600	570	2 485 636	774	3 373 768	5 859 404
Skikda-Djijel	659	177 638	479	3 156 610	775	5 107 250	8 263 860
Tiaret-Saida	1 204	241 872	321	3 858 820	1 428	17 187 100	21 045 920
El Bayadh	1 835	389 765	231	4 229 675	1 400	25 697 340	29 927 015
Khenchela-Tébessa	1 274	190 842	423	5 389 020	1 220	15 538 978	20 927 998
Bouira-Médeä	3 208	482 368	498	15 985 464	778	24 964 656	40 950 120
Mostaghanem-Mascara	1 635	252 535	410	6 705 135	777	12 700 680	19 405 815
Ain Temouchent-Oran	953	168 693	290	2 764 653	777	7 404 810	10 169 463
Tlemcen-SBA	645	84 543	320	2 065 290	1 033	6 661 560	8 726 850
Biskra-ouargla	1 518	421 687	142	2 147 970	1 273	19 318 068	21 466 038
Tissemsilt-Rélizaine	1 389	142 558	310	4 298 955	1 036	14 388 651	18 687 606
BBA-Sétif	7 179	795 601	361	25 887 474	1 011	72 579 690	98 467 164
Bejaia	10 302	933 961	497	51 170 034	517	53 251 038	104 421 072
Tizi-Ouzou	5 978	858 552	499	29 800 330	781	46 694 158	76 494 488
Total	43 129	5 934 143	8 092	178 779 199	20 383	376 031 582	554 810 781

L'eau verte représente 179 millions m³ (soit 32%) alors que l'eau bleue est de 376 million m³ soit 68% des besoins totaux de la culture (Fig.31).

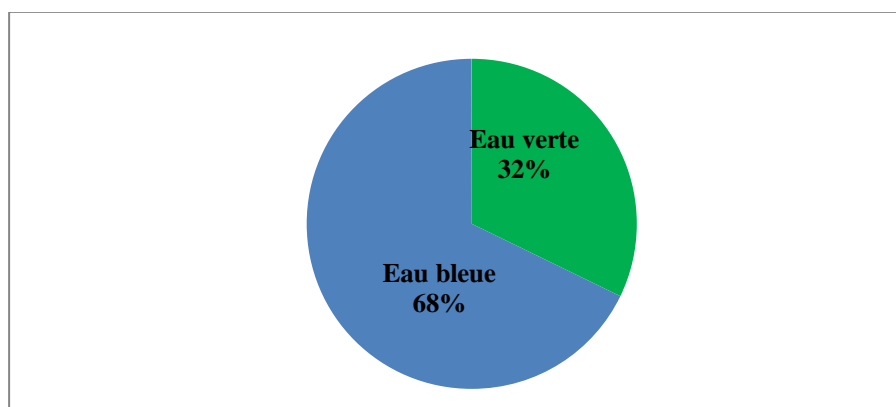


Fig. 31 : L'eau verte et l'eau bleue du figuier en %.

Chapitre I : L'eau virtuelle des principales cultures pratiquées

Pour déterminer l'efficacité d'utilisation de l'eau des figes, nous avons calculé pour les différentes wilayas :

- L'ETm annuelle en eau du figier par CROPWAT 8.0 ;
- Sur la base des statistiques agricoles, nous avons pris les rendements en figes des différentes wilayas figicoles de l'année 2014.

Les résultats de l'EUE sont représentés dans le tableau 26 où nous enregistrons une moyenne de 0.78 kg/m³ dans la plupart des wilayas. Nous remarquons également qu'elle varie de 0.50 kg/m³ à Tizi Ouzou à 2.68 kg/m³ à Oum El Bouaghi. Ce qui veut dire que le kg de fige à El Tizi Ouzou consomme 5 fois plus d'eau.

Tableau 26. L'efficacité d'utilisation de l'eau (EUE) du figier en kg/m³

N°	Groupe	Production (q)	Eau virtuelle (m ³)	EUE (kg/m ³)
1	Alger-Boumerdes	45 107	5 517 800	0,82
2	Tipaza-Blida	100 500	4 365 056	2,30
3	Batna-Oum ElBouaghi	21 496	801 598	2,68
4	M'sila-Djelfa	23 760	1 359 684	1,75
5	Annaba- El Taref	14 129	702 950	2,01
6	Chlef-Ain Defla	46 387	4 883 700	0,95
7	Constantine-Mila	14 728	1 203 345	1,22
8	Souk Ahras-Guelma	18 935	2 485 636	0,76
9	Skikda-Djijel	52 697	3 156 610	1,67
10	Tiaret-Saida	31 197	3 858 820	0,81
11	El Bayadh	32 936	4 229 675	0,78
12	Khenchela-Tébessa	52 712	5 389 020	0,98
13	Bouira-Médea	100 657	15 985 464	0,63
14	Mostaghanem-Mascara	56 336	6 705 135	0,84
15	Ain Temouchent-Oran	24 604	2 764 653	0,89
16	Tlemcen-SBA	27 636	2 065 290	1,34
17	Biskra-ouargla	55 173	2 147 970	2,57
18	Tissemsilt-Relizaine	64 823	4 298 955	1,51
19	BBA-Sétif	163 917	25 887 474	0,63
20	Tizi-Ouzou	148 639	29 800 330	0,50
21	Bejaia	295 000	51 170 034	0,58
	Total	1 391 368	178 779 199	0,78

Pour produire 1 kg de figes, il faut environ 1724 litres d'eau à Bejaia et 373 litres à Oum El Bouaghi, alors qu'il faut 2000 litres à Tizi-Ouzou.

8. Le palmier dattier

L'évaluation de l'eau virtuelle de la phoeniciculture a fait l'objet du dernier chapitre, néanmoins nous présenterons quelques indices pour l'évaluation de l'efficacité de l'utilisation de l'eau ainsi quelques données nécessaires à la phoeniciculture en Algérie.

Le Sud algérien est l'une des régions les plus attractives dans le domaine agricole, où les principales activités agro-économiques sont liées généralement aux cultures du palmier dattier et ces derniers temps aux maraichages. L'extension de l'activité agricole et son développement sont toujours liés à la disponibilité des ressources en eau dans la région.

La ressource en eau souterraine dans la région est contenue dans les deux grands systèmes aquifères qui sont : le Complexe terminal (CT) et le Continental intercalaire (CI), tous deux surmontés par la nappe phréatique qui est présente dans l'ensemble des oasis. Les statistiques du M.A.D.R. (2015), montrent que le palmier dattier occupe une part très importante par rapport aux autres plantations dans les wilayas de sud Algérien avec 88 % soit 161361 ha (Fig. 32).

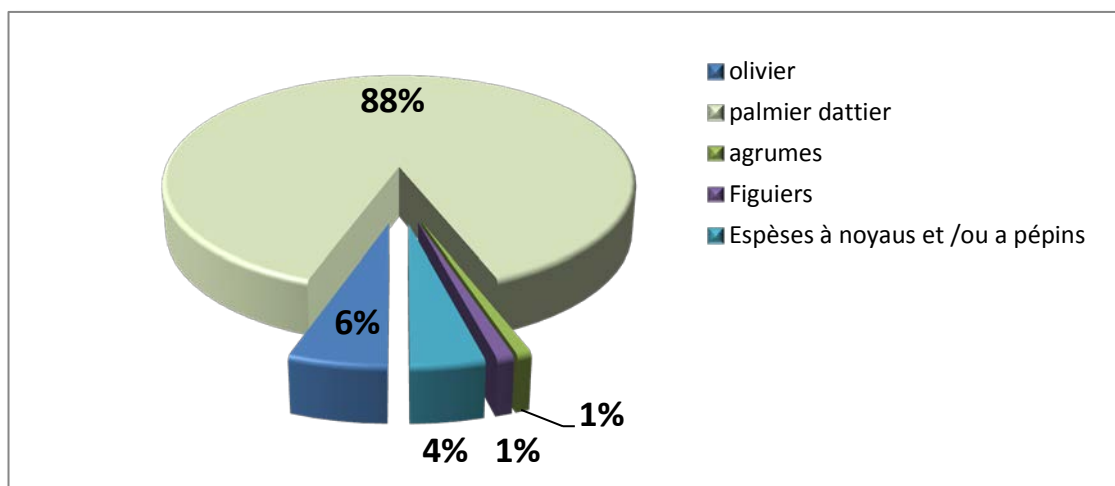


Fig. 32. Occupation du palmier dattier par rapport aux autres cultures

Source : réalisé à partir des données MADR, 2015

La plasticulture est relativement récente dans le Sud Algérien. Introduite en 1984 dans la zone D'El Ghrous, elle a connu des résultats encourageants en termes de précocité et de productivité et un accroissement important en termes de superficies. En 2013, la superficie a été estimée à 4 651.35 hectares, avec une production d'environ 4 312 804 q et un

Chapitre I : L'eau virtuelle des principales cultures pratiquées

rendement important de 542.4 Quintaux à l'hectare. Plus de 88% de ce potentiel se localise dans la wilaya de Biskra (Tableau 27).

Tableau 27. L'EUE des principales cultures maraichères en Algérie.

Wilayas du Sud	Cultures maraichères sous serres		
	Superficie (ha)	Production (qx)	Rdt (qx/ha)
Adrar	93,12	51 159	549,4
Biskra	4 094,61	4 049 848	989,1
Bechar	0,54	432	800,0
Tamanrasset	2,05	396	193,2
Ouargla	273,06	80 697	295,5
Illizi	0,32	76	237,5
Tindouf	10,20	7 366	722,2
El-Oued	176,00	122 250	694,6
Ghardaïa	1,45	580	400,0
Total Sud Algérien	4 651,35	4 312 804	542,4

Source : M.A.D.R., 2015

Par conséquent, pour répondre aux besoins en eau de la phoeniciculture en Algérie, il faut mobiliser plus de 4589 millions de m³ d'eau pour l'irrigation.

Sur la base des résultats de l'ETm et des données des statistiques agricoles (MADR 2014), nous avons calculé l'EUE des différentes wilayas phoenicoles avec les différentes variétés de dattes. De par les résultats de calcul de l'EUE, l'efficacité d'utilisation de l'eau dans la majorité des wilayas de Sud algérien est très faible, avec une efficacité moyenne de 0,35 kg/m³ soit 2857 litres d'eau pour produire 1 kg de datte.

Par contre, les wilayas des hauts plateaux ont une efficacité moyenne de 0,65 kg/m³ soit 1538 litres d'eau pour produire 1 kg de datte. L'écart pourra être plus important si on considère les efficacités des régions de Tamanrasset, Adrar et Batna avec une consommation de 12500, 7142 et 1235 litres d'eau respectivement.

9. Les surfaces forestières, alfatières et des parcours

En plus de l'eau virtuelle des produits agricoles de consommation, nous avons estimé les autres sources d'eau verte consommée par certaines cultures non utilisées directement pour l'alimentation humaine, telles que les surfaces occupées par les forêts, les nappes alfatières et les parcours (tableau 28).

Chapitre I : L'eau virtuelle des principales cultures pratiquées

Les cultures non utilisées directement pour l'alimentation humaine en Algérie englobent les surfaces forestières, alfatières et les parcours.

Pour le calcul de l'eau virtuelle de ces cultures, nous avons utilisé les surfaces données par le Bulletin statistique Série B du MADR (2012).

Comme ces cultures ne sont généralement pas irriguées, leur consommation en eau se résume à l'ETR qui correspond en général à la pluie utile ou efficace, avec un coefficient d'efficacité de 0,8. Dans ce cas, la pluie efficace est dite « eau verte » qui correspond à la fraction de pluie stockée dans les sols de culture et utilisée par le couvert végétal.

Tableau 28. L'eau virtuelle des surfaces forestières, alfatières et des parcours

Cultures	Surfaces millions d'ha	Pluie utile/an	
		E V (m3/ha)	Eau verte totale milliards (m3)
Nappes alfatières	2,5	1600	4
Forêt et maquis	4,3	3200	13,7
Packages et parcours	32	1600	52,8
Total	38,8	1820	70,5

Source : Mouhouche, 2014.

Le tableau ci-dessus montre que l'eau virtuelle des produits non consommés directement est égale à 70,5 milliards m³ par an, dont 53 pour les parcours qui occupent une surface de 32 millions d'ha recevant une pluie efficace moyenne de 160 mm, soit 1600m³/an/ha.

En effet, selon Khaldi, (2014), en Algérie, les zones steppiques sont situées entre l'Atlas tellien au nord et l'Atlas saharien au sud, avec une pluie relativement faible variant de 100 au sud à 400 mm au nord, soit une moyenne de 250 mm. Leur caractère orageux fait que leur coefficient d'efficacité est de l'ordre de 0,75 à 0,8.

Ces surfaces sont utilisées essentiellement en grande partie pour l'élevage extensif des 30 millions d'ovins, caprins et camelins (MADR, 2012).

10. Conclusion

La Teneur en eau virtuelle d'un produit agricole étant égale au rapport de la consommation en eau m³/ha et du rendement en T/ha, de ce fait, puisqu'en Algérie la consommation d'eau est élevée du fait de la demande climatique et des pertes dans le réseau, et malheureusement les rendements étant souvent faibles, résultat, l'efficacité d'utilisation de l'eau est automatiquement faible. C'est ce qui fait que la Teneur en eau virtuelle de la tonne de blé en Algérie dépasse les 7000 m³/t au lieu de 1334 m³/tonne, cette remarque étant valable pour la quasi-totalité des cultures pratiquées en Algérie.

La demande en eau douce, croît chaque année tandis que les ressources naturelles restent invariables pour ne pas dire qu'elles diminuent (problème de pollution de plus en plus grand).

Le principal Objectif des responsables du secteur a donc été de mobiliser le maximum de ressources en eau renouvelables et, si nécessaire, d'avoir recours à d'autres ressources non conventionnelles. Sinon le recours à l'importation des produits agricoles pour assurer sa sécurité alimentaires. Combien sommes-nous entrain d'importer ? Non pas en masse de produits mais plutôt en m³ d'eau, c'est-à-dire en volume d'eau ?

CHAPITRE II

Importation de l'eau virtuelle des
produits alimentaires et non
alimentaires

Chapitre II : Importation de l'eau virtuelle des produits alimentaires et non alimentaires

1. Introduction

Afin d'assurer sa sécurité alimentaire, l'Algérie importe beaucoup de produits agricoles comme les céréales (le blé en tête). En 2011, les importations du blé ont atteint un maximum de près de 7.5 millions de tonnes (CNIS, 2012). Ces importations augmentent d'année en année.

Pour quantifier l'eau virtuelle agricole externe ou d'importation de l'Algérie, nous aurons besoins des données relatives à :

- La liste des produits agricoles importés (alimentaires et non alimentaires),
- La quantité de chaque produit importé (tonnes),
- La teneur en eau virtuelle (TEV) de chaque produit en m³/tonne consommés dans le pays d'origine.

Selon la FAO, l'Algérie importe plus de 12 milliards de m³ d'eau virtuelle par an pour couvrir ses besoins alimentaires en céréales, soit environ 300 m³/hab./an. Ces chiffres représentent plus de 200% de ce que nous mobilisons annuellement et plus de 300% de l'eau destinée à l'irrigation, tous secteurs confondus.

En d'autres termes, pour subvenir à nos besoins alimentaires actuellement, il nous faudra mobiliser 3 fois plus d'eau destinée à l'irrigation, soit entre 10 à 12 milliards de m³/an (Mouhouche et Lani, 2011).

2. Produits agricoles alimentaires d'importation

Nos calculs de l'eau virtuelle des produits agricoles importés par l'Algérie ont donné 8,5 km³ pour 6,4 millions de tonnes de céréales pour l'alimentation humaine, 3,42 km³ pour 1,7 million de tonnes de sucres et sucreries, 2,7 km³ pour 0,2 million de tonnes pour le groupe du (Café, thé et épices), et 2,4 km³ pour 0,8 million de tonnes d'huiles et graisses (tableau 29).

Chapitre II : Importation de l'eau virtuelle des produits alimentaires et non alimentaires

Tableau 29. L'eau virtuelle des produits agricoles alimentaires d'importation durant l'année 2012.

Produits alimentaires	Produits importés (Tonne)	Consommation en eau virtuelle (m3/Tonne)	Quantité d'eau importée (m3)
Viandes et abats comestibles	71 757	10000	717567020
Poissons, crustacées et mollusques	20 295	10000	202946410
Laits et produits laitiers	343 083	800	274466582,4
Légumes, plants, racines et tubercules	211 815	200	42363062,8
Fruits frais et secs	452 710	500	226354876,5
Café, thé et épices	182 847	15000	2742698385
Céréales de consommation	6 404 360	1300	8325668164
Produits de la minoterie	50 459	1500	75687837
Graines et fruits oléagineux	35 705	2000	71410118
Huiles et graisses	805 865	3000	2417595012
Préparations de viandes et poissons	11 170	10000	111695940
Sucres et sucreries	1 711 094	2000	3422187948
Cacao et ses préparations	36 532	20000	730646080
Préparations à bases de céréales	55 290	2000	110579456
Conserves de légumes et fruits	176 320	500	88160083,5
Préparations alimentaires diverses	82 902	300	24870567,3
Vins et boissons	44 037	1100	48440158,8
Tabacs	29 770	2200	65494825
Total	10 726 009		19698832526

Chapitre II : Importation de l'eau virtuelle des produits alimentaires et non alimentaires

La figure 33 montre une nette évolution des produits importés suivis par une nette évolution dans l'importation de l'eau virtuelle (fig. 34). Autre remarque que nous pouvons soulever, c'est que l'eau virtuelle totale importée ne serait-ce que pour la période 2002-2012 avoisine les 177 milliards de m³, ce qui est énorme. La facture alimentaire en Dollars Américain varie de 2,5 Milliards en 2002 à 8,12 Milliards en 2012 (Tableau 1, Annexe 4).

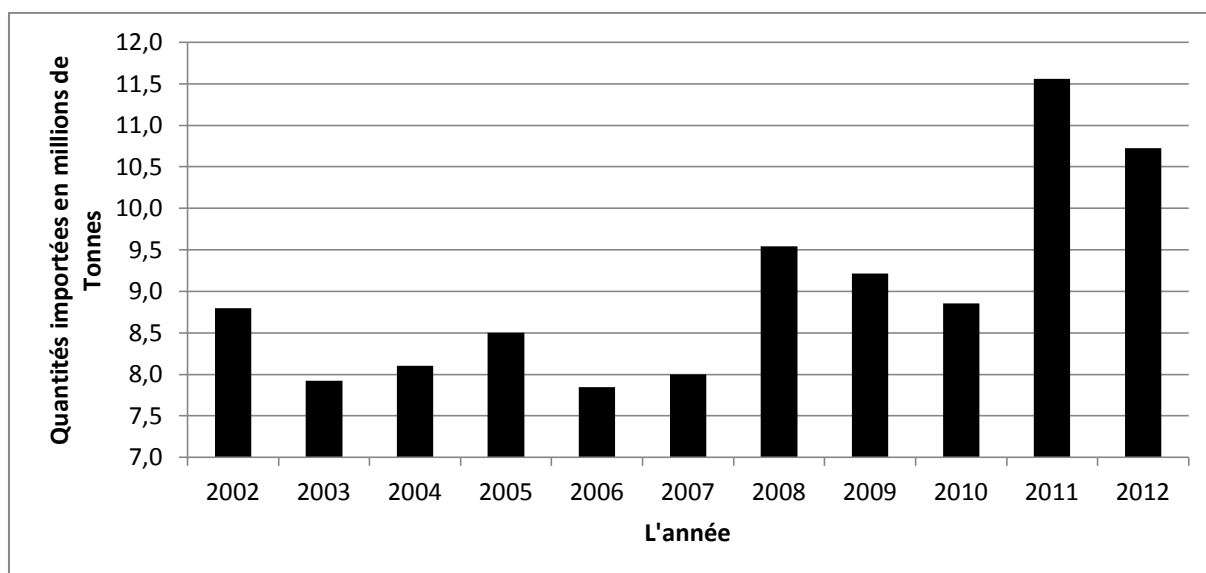


Fig. 33 : Evolution des quantités de produits agricoles alimentaires importés

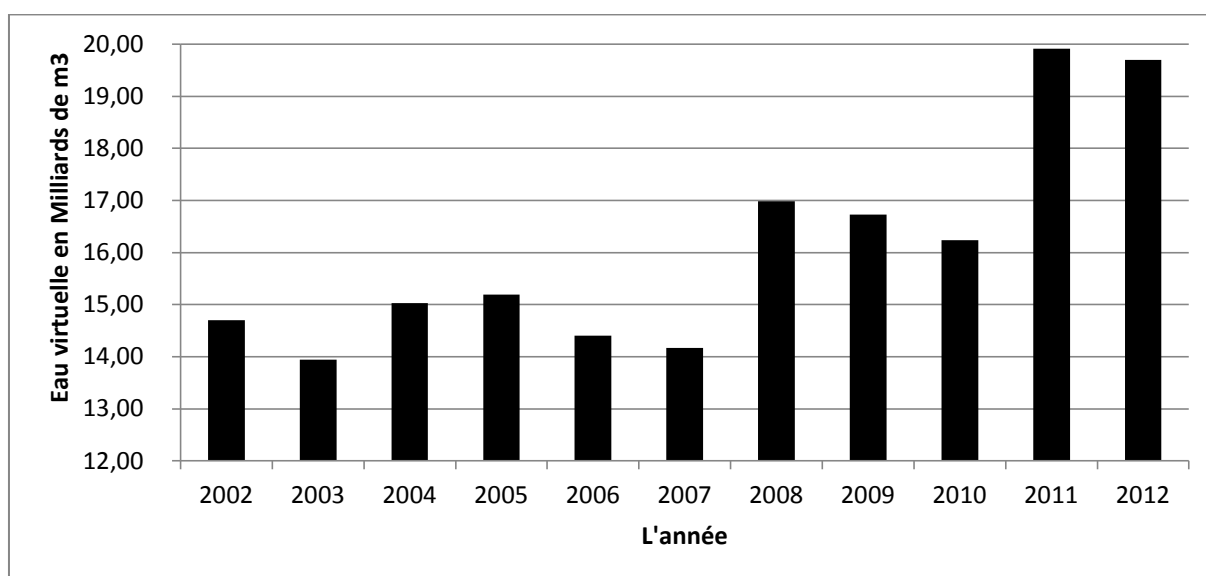


Fig. 34 : Eau virtuelle des produits agricoles alimentaires importés

La figure 35 montre bien que l'eau virtuelle des céréales de consommations vient en première position suivies par les sucres et sucreries, et les graisses et huiles alimentaires. Ce classement reste presque inchangé durant toute la période étudiée (2002-2012).

Chapitre II : Importation de l'eau virtuelle des produits alimentaires et non alimentaires

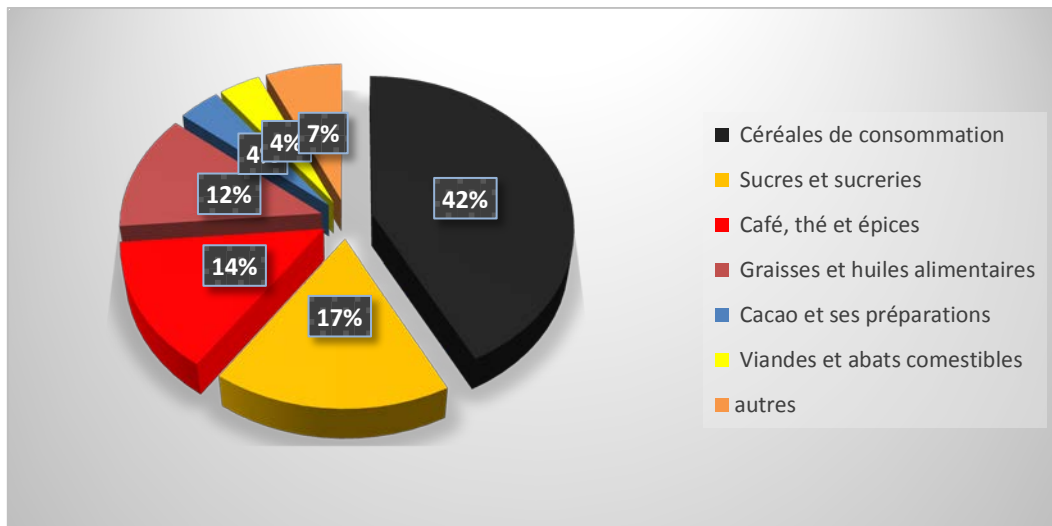


Fig. 35 : Eau virtuelle des produits agricoles alimentaires importés en 2012 en %

L'expression de l'eau virtuelle en milliards de m³ importée est représentée par la figure 36 ci-dessous montrant les céréales de consommation en premier suivies par les autres produits.

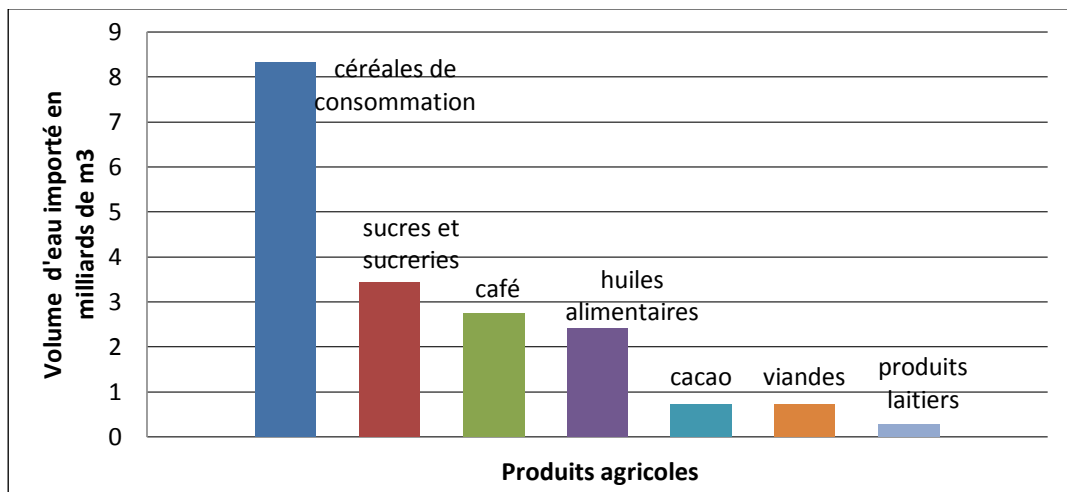


Fig. 36 : Eau virtuelle des produits agricoles alimentaires importés en 2012 en m³

3. Produits agricoles non alimentaires d'importation

A partir du tableau 30, nous pouvons constater que les bois d'importation viennent en première position suivies par les céréales de semence et alimentation animale, les résidus et aliments préparés pour animaux, c'est la même observation qui est faite quant au classement qui reste presque le même durant toute la période (2002-2012).

Chapitre II : Importation de l'eau virtuelle des produits alimentaires et non alimentaires

Tableau 30. L'eau virtuelle des produits agricoles non alimentaires d'importation durant l'année 2012.

Produits alimentaires	Produits importés (Tonne)	Consommation en eau virtuelle (m3/Tonne)	Quantité d'eau importée (m3)
Animaux vivants	22 953	10000	229529870
Poissons d'ornement	9	10000	91650
Œufs à couvrir ou à incuber	161	3400	548066,4
Produits d'origine animale	22	10000	221170
Plantes vivantes, prod, de la floriculture	1 676	2000	3351130
Légumes, plantes, racines, tubercules	155 616	400	62246246,8
Céréales de semences et l'alimentation du bétail	3 455 984	1334	4610282431
Oléagineux, graines, pailles et fourrages	9 668	2050	19819254,45
Matières à tresser et à tailler	1 844	1000	1843909
Résidus et aliments pour animaux	914 237	2000	1828473396
Peaux et cuirs	771	16600	12793586,8
Bois	1 259 035	13050	16430404192
Liège	29	13050	377288,55
Laine	14	2237	30465,703
Coton	9	5200	48094,8
Total	5 822 026		23 200 060 751

Nous constatons également qu'il n'y a pas eu beaucoup d'évolution dans l'importation des produits non alimentaires. A l'exception des années 2008 et 2010 où nous enregistrons une forte évolution (fig. 37).

Cette dernière est suivie par une forte importation de l'eau virtuelle (fig. 38) pour un total de 365 221 594 839,63 de m3, ce qui représente le double de l'eau virtuelle importée des produits alimentaires. La facture des produits non alimentaires en Dollars Américain varie de 1 Milliards en 2002 à 3,11 Milliards de Dollars en 20012.

Chapitre II : Importation de l'eau virtuelle des produits alimentaires et non alimentaires

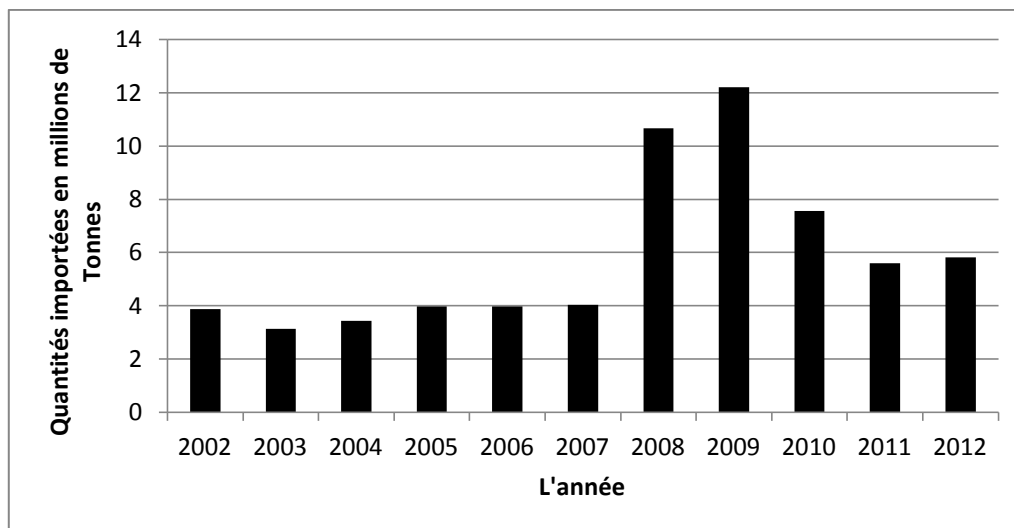


Fig. 37 : Evolution des quantités de produits agricoles non alimentaires importés

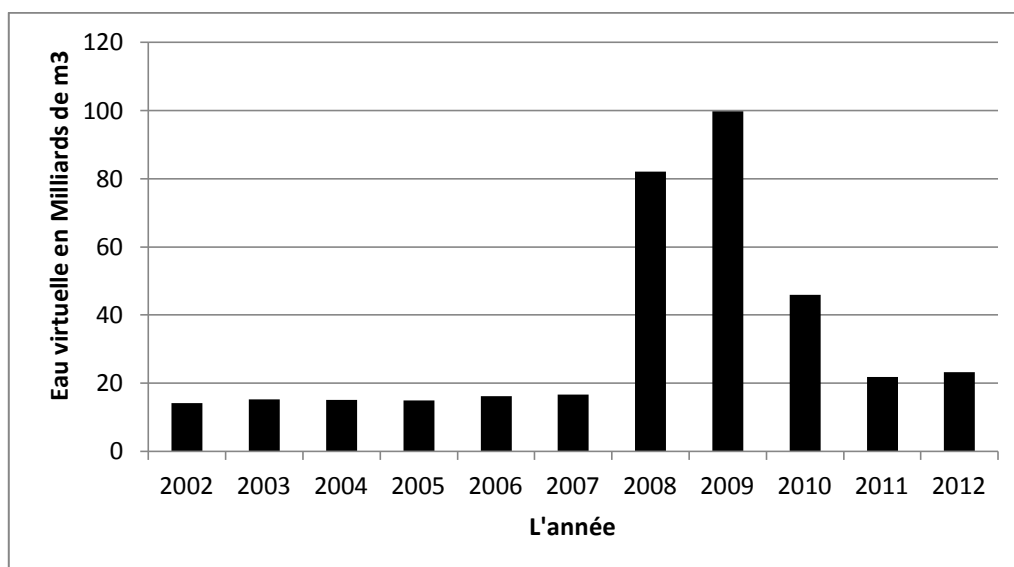


Fig. 38 : Eau virtuelle des produits agricoles non alimentaires importés

Contrairement aux idées reçues, les produits agricoles non alimentaires recèlent plus d'eau virtuelle que les produits alimentaires. En effet, l'eau virtuelle des produits agricoles non alimentaires est estimée à 23,2 Km³/an pour un poids de 5,82 millions de tonnes (tableau 30).

L'eau virtuelle des bois représente 71% de l'eau virtuelle totale ce qui la classe en premier, suivi par les céréales de semences de 20% et 8% pour les résidus et aliments pour animaux (Fig. 39).

Chapitre II : Importation de l'eau virtuelle des produits alimentaires et non alimentaires

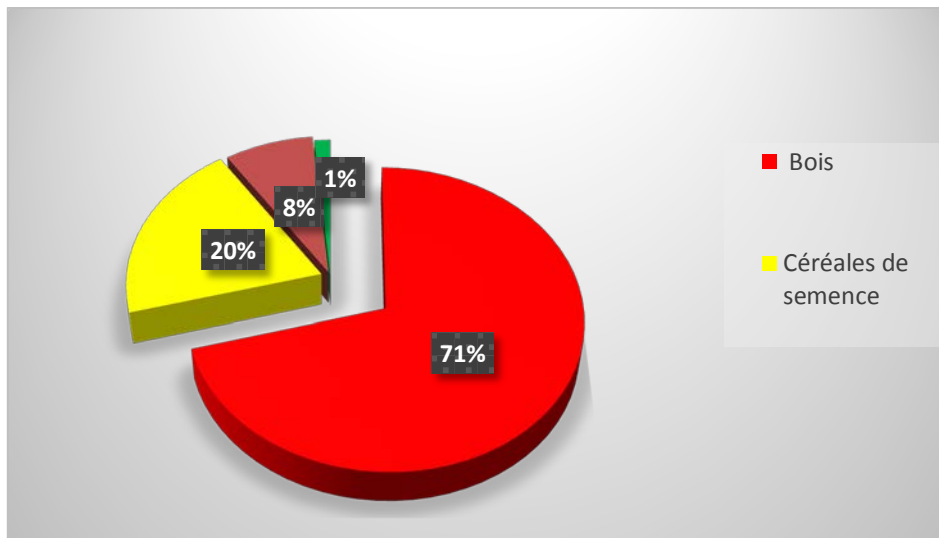


Fig. 39 : Eau virtuelle des produits agricoles non alimentaires importés en 2012 en %

L'expression en milliards de m³ de ces pourcentages est illustrée par la figure suivante représentant le volume d'eau importée.

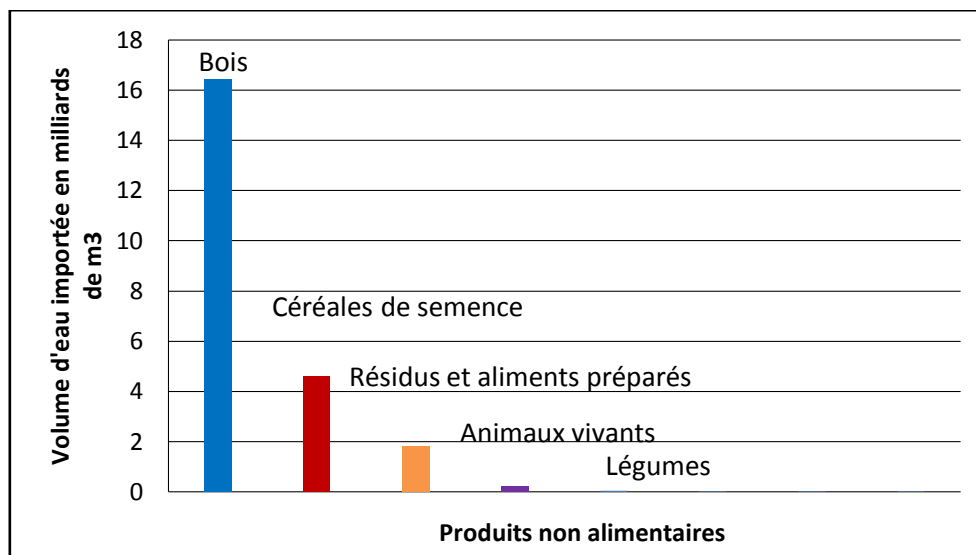


Fig. 40 : Eau virtuelle des produits agricoles non alimentaires importés en 2012 en m³

4. Eau virtuelle agricole totale d'importation

Ainsi l'eau virtuelle des produits agricoles alimentaires et non alimentaires d'importation est estimée à environ 43 Km³/an en 2012 pour un poids total de 16.6 millions de tonnes de produits importés (tableau 31), dont 9 seulement pour les céréales sous leurs différentes formes et usages, soit près de 60% des importations exprimées en poids.

Chapitre II : Importation de l'eau virtuelle des produits alimentaires et non alimentaires

Tableau 31. Eau virtuelle totale d'importation en millions de m³

Produits importés(2012)	Quantités en millier de Tonne	Eau virtuelle
Produits alimentaires	10 726	19 698
Produits non alimentaires	5 822	23 200
Total des importations	16 548	42 898

Le tableau ci-dessus montre effectivement le problème de la rareté de la ressource hydrique en Algérie et la nécessité de recourir malheureusement aux importations permettant d'assurer une sécurité alimentaire. L'eau virtuelle des produits agricoles importés dépassent les 42 milliards de m³. Ce constat étant le même observé durant la périodes de 2000 à 2012 (Tableau 32).

Tableau 32. Récapitulatif de l'eau virtuelle en m³ de 2002 à 2012

Années	Produits alimentaires	Produits non alimentaires	Total des importations
2002	14 699 961 988	14 227 537 116	28 927 499 105
2003	13 944 529 548	15 309 934 930	27 889 059 095
2004	15 029 877 805	15 061 505 398	30 091 383 203
2005	15 189 089 313	14 973 268 373	30 162 357 686
2006	14 399 337 424	16 195 540 340	30 594 877 764
2007	14 168 332 162	16 662 791 907	30 831 124 069
2008	16 985 677 972	82 074 816 067	99 060 494 039
2009	16 730 707 818	99 737 981 165	116 468 688 982
2010	16 236 257 705	45 985 312 043	62 221 569 747
2011	19 916 638 903	21 792 846 750	41 709 485 653
2012	19 698 832 526	23200 060 751	42 898 893 277

5. Eau virtuelle agricole de l'Algérie

Le calcul de l'eau virtuelle externe, nous permet finalement de calculer l'eau virtuelle agricole totale de l'Algérie, qui se subdivise en deux parties selon son origine :

- L'eau virtuelle nationale ou interne au pays,
- L'eau virtuelle externe au pays (objet de ce chapitre).

Chapitre II : Importation de l'eau virtuelle des produits alimentaires et non alimentaires

Ce qui veut dire, qu'il faut ajouter toute l'eau virtuelle interne calculée sur la base de l'eau consommée par les cultures à l'eau virtuelle externe au pays.

Si nous prenons comme exemple l'eau virtuelle interne évaluée seulement pour la céréaliculture, ainsi que l'eau virtuelle externe de l'année 2012 que nous venons de calculer, nous aurons finalement une idée sur toute l'eau virtuelle agricole de l'Algérie.

En effet, la quantité d'eau virtuelle contenue dans les céréales produites en Algérie est estimée à 5,73 milliards de m³ pour une superficie de 1 73 millions d'ha (Lani, 2011). Ce qui donne un total de 48, 63 milliards de m³.

A titre de comparaison, et si nous prenons l'eau virtuelle des produits agricoles d'importation (42,5 Km³) de celle de l'année 2012, ça représente 2,5 fois plus que l'eau totale renouvelable annuellement estimée à 17 Km³ et plus de 6 fois le volume d'eau mobilisée annuellement (6,5 Km³), ou encore plus de 10 fois l'eau destinée à l'irrigation (Mouhouche, 2014).

6. Conclusion

Ces quantités impressionnantes d'eau virtuelle importées par l'Algérie, montrent bien une réalité qui malheureusement est restée pour longtemps cachée du fait de ne pas avoir considérée la partie cachée de l'eau qu'a nécessité la production d'un bien dans la gestion de nos ressources hydriques. D'où l'intérêt du concept de l'eau virtuelle comme palliatif aux problèmes du manque d'eau.

En plus de la sécurité alimentaire que procure l'importation de l'eau virtuelle, elle assure une meilleure allocation des ressources hydriques. Ceci est réalisable en optant pour l'importation des produits agricoles grands consommateurs d'eau ayant une teneur en eau virtuelle faible et de produire les produits qui consomment moins d'eau par unité de produit. Exception faite pour les produits de base tels que les céréales qui occupe un nombre important d'agriculteurs céréaliers.

Chapitre II : Importation de l'eau virtuelle des produits alimentaires et non alimentaires

Une telle stratégie est efficace pendant les années où le prix mondial des produits céréaliers est inférieur au coût de production, surtout pour un pays comme l'Algérie. Néanmoins, l'exportation de certains produits alimentaires tels que les dattes, même si elles impliquent l'exportation d'énormes quantités d'eau virtuelle, reste vitale pour l'économie Algérienne vu son prix de vente qui est parmi les plus élevés dans les marchés internationaux, en ce qui concerne les fruits.

Chapitre III

Évaluation de l'eau virtuelle de la
phoeniciculture algérienne pour
sa meilleure utilisation.

Chapitre III : Évaluation de l'eau virtuelle de la phoeniculture algérienne pour sa meilleure utilisation.

Résumé :

En raison des problèmes liés au manque d'eau, l'Algérie a recours aux importations massives de produits alimentaires stratégiques tels que les céréales, les légumes secs, les produits laitiers et les matières grasses. Heureusement, ces produits sont importateurs d'eau virtuelle. Avec le prix du pétrole qui ne cesse de chuter, les dates provenant du palmier dattier en Algérie représentent pratiquement le seul produit agricole qui peut être exporté. Paradoxalement, même si cette culture est localisée en plein désert, elle valorise l'eau de façon plus importante que le blé due à son prix élevé. C'est dans ce cadre que s'inscrit notre étude qui consiste à calculer l'eau virtuelle à travers la détermination des besoins en eau de la culture du palmier dattier en Algérie, à l'aide du logiciel CROPWAT 8.0 servant à calculer l'efficacité d'utilisation de l'eau dans la phoeniculture algérienne. En Algérie, l'eau virtuelle contenue dans le palmier dattier est estimée à 4733 millions m^3 pour une superficie de 165378 ha, dans laquelle 144 millions m^3 , soit 3% sont satisfaits par l'eau de pluie efficace, tandis que, l'eau d'irrigation totalise 4589 millions m^3 , soit 97% des besoins totaux de la culture. La phoeniculture en Algérie enregistre des efficacités d'utilisation de l'eau très faibles, en moyenne de 0.35 kg/m^3 sur les wilayas (divisions administratives) du Sud algérien et de 0.65 kg/m^3 au niveau des palmeraies situées sur les hauts plateaux du pays.

Mot-clés : Algérie, palmier dattier, phoeniculture, eau virtuelle, efficacité d'utilisation de l'eau.

Summary

Due to water shortage problems, Algeria has resorted to "massive" importation of strategic food products such as cereals, dry legumes, dairy products and fats. Fortunately these products are importers of virtual water. With oil price decreasing, the date palm product is considered as the best alternative that could be exported. In addition, date palm presents higher water use efficiency (WUE), than wheat under Saharan conditions due to the higher price. The objective of the present study consists on estimating the virtual water of date palm under two contrasting Algerian locations (Algerian Oasis and High Plateaus) using CROPWAT 8.0 software. The virtual water is estimated at 4733 million m^3 for a total of

Chapitre III : Évaluation de l'eau virtuelle de la phoeniciculture algérienne pour sa meilleure utilisation.

165378 ha, in which only 144 million m³ (3%) are ensured by the effective rainfall while irrigation totals 4589 million m³, or 97% of the total needs of the crop. Our data analysis revealed a lower WUE under Algerian Oasis than High Plateaus (0.35 kg/m³ vs. 0.65 kg/m³ respectively). However, these values are still low and could be improved by both good irrigation and agricultural management.

Keywords: Algeria, water requirements, date palm farming, virtual water, water use efficiency.

1. INTRODUCTION

Avec 2,38 million de km², l'Algérie est l'un des pays les plus vastes à travers le monde, occupant ainsi la 10^{ème} place. Plus de 80% du territoire national se trouve dans l'étage bioclimatique dit saharien, qui constitue l'essentiel de l'agro écosystème oasien à palmiers dattiers (*Phoenix dactylifera* L.) qui existe depuis plus de 14 siècles dans 9 wilayas sahariennes et 7 wilayas présahariennes (MADR, 2014).

En ce qui concerne l'utilité écologique et environnementale du palmier dattier, il y a lieu de souligner que cette culture constitue la structure de base de l'agriculture saharienne algérienne, notamment par la création d'un microclimat indispensable au bon développement des autres composants du système de production oasien. Actuellement, tous les pays d'Afrique du Nord et du Proche-Orient (MENA) souffrent de graves pénuries d'eau dont les conséquences se répercutent sur l'agriculture irriguée, qui est le type d'agriculture utilisant la plus grande proportion d'eau dans ces régions.

Il faut souligner que la raréfaction de cette ressource et la concurrence pour l'eau représentent des menaces majeures pour la sécurité alimentaire. La quantité d'eau nécessaire pour produire un bien ou un service (l'eau virtuelle) a été étudiée par Allan (1994). C'est en effet, un concept très proche de celui de la productivité de l'eau (Troy, 2012). Dans le cas des produits agricoles, l'eau virtuelle est constituée de deux composantes: l'eau provenant des précipitations est présente naturellement dans le sol, appelée « eau verte », et l'eau d'irrigation ou « eau bleue » (Fernandez, 2007).

Chapitre III : Évaluation de l'eau virtuelle de la phoeniciculture algérienne pour sa meilleure utilisation.

Il est évident que l'importation de l'eau virtuelle, surtout pour les produits agricoles de base, augmente la sécurité alimentaire de l'Algérie. Mouhouche et Lani (2011) ont indiqué que plus de 60% des produits céréaliers sont importés chaque année. L'Algérie est classée parmi les dix premiers importateurs de céréales.

Hoekstra et Hung (2005) ont montré que 13% de l'eau utilisée pour la production agricole dans le monde est utilisée pour l'exportation (sous forme virtuelle) et non pour la consommation intérieure.

La théorie de l'avantage comparatif a été développée au XIXe siècle par l'économiste britannique David Ricardo (1772-1823) (Ricardo, 1817). Cette théorie est résumée de la façon suivante: chaque pays a intérêt à se spécialiser dans la production du ou des biens pour lesquels il dispose d'un avantage comparatif par rapport aux autres pays et à acheter les biens qu'il ne produit pas.

Avec 15,1 millions de palmiers dattiers, l'Algérie occupe la 3^{ème} position en surface ainsi que la 5^{ème} position en production (plus de 9,3 millions de quintaux). Par contre, elle occupe la 13^{ème} position en rendement. Les régions phoenicoles se caractérisent par un climat désertique, d'où une demande climatique en eau trop élevée.

En effet, la demande climatique moyenne en eau (ETP) dans les régions phoenicoles avoisine les 2500 mm/an, avec des maximas de 3600 mm et des minimas de 1400 mm, respectivement à Adrar et Batna. De plus, le rendement en dattes est relativement faible, soit 61.9 kg/arbre en moyenne (MADR, 2014).

De ce fait, l'efficacité d'utilisation de l'eau (EUE) qui est le rapport du rendement en datte en kg/ha et de la quantité d'eau consommée par ha en m³/an est très faible, dans la majorité des wilayas du Sud algérien. C'est dans ce contexte que s'inscrit notre recherche et qui consiste à déterminer l'eau virtuelle de la culture du palmier dattier dans les différentes wilayas phoenicoles de l'Algérie (Hauts plateaux et Sud Algérien).

Chapitre III : Évaluation de l'eau virtuelle de la phoeniculture algérienne pour sa meilleure utilisation.

2. MATÉRIELS ET MÉTHODES

La quantification des besoins en eau du palmier dattier en Algérie, avec la caractérisation des fractions d'eau verte, d'eau bleue et de l'efficacité d'utilisation de l'eau; ont fait l'objet de notre étude.

L'analyse des données a été réalisée sur la base des informations disponibles, liées au climat, culture et sol en utilisant le logiciel CROPWAT 8.0, basé sur la méthode modifiée de Penman-Monteith (Smith, 1992). Ce logiciel a été conçu dans le but de :

(1) Calculer l'évapotranspiration de référence (ET_0), la méthode de Penman-Monteith modifiée est exprimée par l'équation suivante:

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)} \quad (1)$$

Où:

ET_0 = évapotranspiration de référence [mm/jour],

R_n = rayonnement net à la surface de la culture [$MJ m^{-2} jour^{-1}$],

G = densité de flux de chaleur dans le sol [$MJ m^{-2} jour^{-1}$],

T = température journalière moyenne de l'air à une hauteur de 2 m [$^{\circ}C$]

u_2 = vitesse du vent à une hauteur de 2 m [m/s],

e_s = pression de vapeur saturante [kPa],

e_a = pression de vapeur réelle [kPa],

$e_s - e_a$ = déficit de pression de vapeur saturante [kPa]

Δ = pente de la courbe de pression de vapeur saturante [kPa/ $^{\circ}C$]

γ = Constante psychrométrique [kPa/ $^{\circ}C$].

CROPWAT permet à l'utilisateur soit d'entrer des valeurs de ET_0 mesurées soit d'entrer les données de température de l'air, humidité, vitesse du vent et la durée d'insolation (Annexe 5).

(2) Calcul de la pluie efficace (Eau verte) selon la méthode de l'USDA (United States Department of Agriculture) basée sur l'équation suivante:

$$P_{eff} = \frac{P_{mois} \times (125 - 0.2 \times P_{mois})}{125} \text{ pour } P_{mois} \leq 250 \text{ mm.}$$

Chapitre III : Évaluation de l'eau virtuelle de la phoeniciculture algérienne pour sa meilleure utilisation.

$$P_{eff} = 125 + 0.1 \cdot P_{mois} \quad \text{pour } P_{mois} > 250 \text{ mm}$$

Où: P_{eff} = Pluie efficace, P_{mois} = Pluie mensuelle.

(3) Les besoins en eau des cultures (eau virtuelle ou ET_m)

$$ET_m = k_c \times ET_0 \quad (3)$$

Où: K_c = Coefficient cultural.

Par définition, le coefficient cultural (K_c) est le rapport entre l'évapotranspiration de la culture (ET_m) et l'évapotranspiration potentielle (ET_0).

Le logiciel divise la vie de la culture en 4 phases (initiale, croissance, mi-saison, et enfin arrière-saison). Les données culturales pour les cultures annuelles se réfèrent aux quatre phases du cycle de la culture:

- La phase initiale s'étend du semis jusqu'à une couverture du sol d'environ 10%,
- La phase de croissance débute à 10% de couverture du sol pour finir à la couverture totale effective (début floraison),
- La phase de mi-saison, début floraison pour finir au début de la maturité,
- La phase d'arrière-saison débute au début de la maturité pour finir à la récolte.

Pour les arbres fruitiers, leurs dates de plantation doivent être remplacées par date de reverdissement, c'est-à-dire la date d'apparition de nouvelles feuilles. Selon le climat, les valeurs suggérées pour les palmiers matures sont de 0.8 à 1.0 (Doorembos et Pruitt, 1977).

(4) Calcul des besoins en eau d'irrigation ou l'eau bleue sur la base de la différence entre l'Evapotranspiration Maximale et la pluie efficace.

En plus de l'estimation de l'eau virtuelle, et dans le but de comparer la productivité du palmier dattier dans les différentes zones d'étude, l'efficacité d'utilisation d'eau (EUE) a été calculée sur la base du rapport entre le rendement en kg/palmier et la consommation totale d'eau en m^3 /an et par palmier.

L'efficacité d'utilisation de l'eau (EUE en kg/m^3) est généralement définie par:

$$EUE = \frac{\text{production (kg)}}{\text{eau appliquée ou disponible}} \quad (4)$$

(van Halsema et Vincent, 2012).

Chapitre III : Évaluation de l'eau virtuelle de la phoeniciculture algérienne pour sa meilleure utilisation.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Nos résultats ont clairement montré que l'itinéraire technique, particulièrement l'eau, est mal utilisé ce qui se répercute sur le niveau de production et de rendement.

Calcul de la quantité de l'eau virtuelle dans la phoeniciculture

Calcul de la demande climatique ou l'évapotranspiration de référence ET_0 .

Les valeurs d' ET_0 présentées dans la Fig. 41 ci-dessous fournie par le logiciel CROPWAT 8.0, sont issues des données climatiques moyennes (température, vitesse du vent, humidité relative de l'air et durée d'ensoleillement) (ONM, 2014).

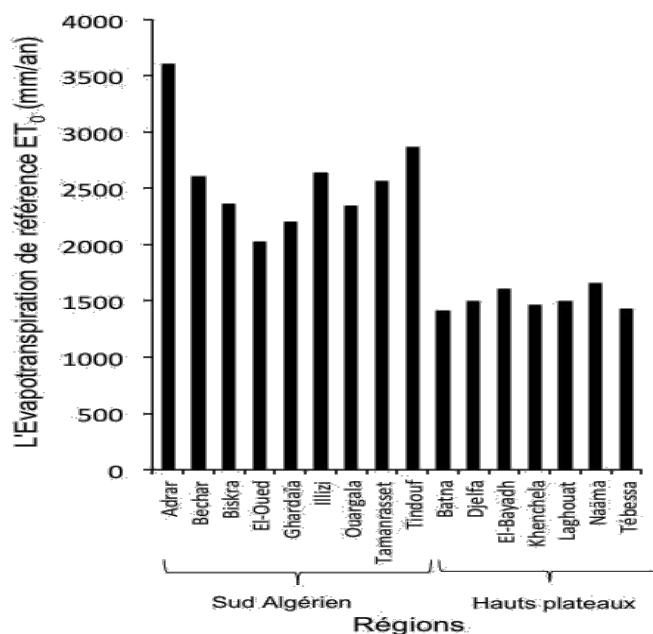


Fig. 41. Variation Spatio-temporelle de la demande climatique (ET_0) des différentes régions.

La détermination de l' ET_0 au niveau de toutes les wilayas phoenicoles du territoire algérien, montre une grande variation spatio-temporelle. Ainsi, l' ET_0 varie entre 1400 à 1650 mm/an dans les wilayas des hauts plateaux et entre 2000 à 3600 mm/an dans les wilayas du Sud.

Chapitre III : Évaluation de l'eau virtuelle de la phoeniciculture algérienne pour sa meilleure utilisation.

L'estimation de l'évapotranspiration maximale (ET_m)

Le calcul des besoins totaux de la phoeniciculture au niveau du territoire national est basé sur les données des superficies cultivées durant l'année 2014 consignées dans le bulletin statistique agricole série B du ministère de l'Agriculture et du Développement Rural (MADR, 2014).

Les besoins en eau du palmier dattier (ET_m) sont nettement supérieurs dans le Sud de l'Algérie (SA) avec une moyenne de 21300 m³/an contre 11600 m³/an dans les hauts plateaux (HP) (Fig. 42).

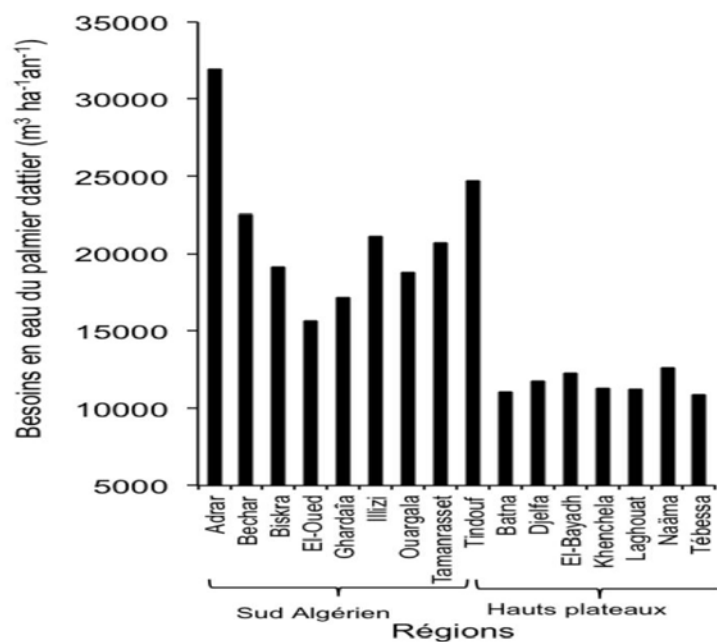


Fig. 42. Variation Spatio-temporelle des besoins en eau du palmier dattier (en mm) dans les Wilayas phoenicicoles.

Le tableau 33 montre en détail et en valeurs les besoins en eau de chaque wilaya, les surfaces et le nombre de palmiers correspondants.

Chapitre III : Évaluation de l'eau virtuelle de la phoeniciculture algérienne pour sa meilleure utilisation.

Tableau 33. Les besoins en eau totaux du palmier dattier pour chaque wilaya phoenicicole.

Les régions phoenicicoles	Surfaces (ha)	Nombre total de palmier		Besoins en eau du palmier dattier			
			m ³ ha/an	Millions de m ³ /an	m ³ /an par palmier	l/an par palmier (x10 ³)	l/j par palm
Adrar	27907	3725420	31973	892,27	240	239,50	656
Bechar	13948	1626432	22536	314,33	193	193,26	529
Biskra	42666	4286350	19160	817,48	191	190,71	523
El-Oued	36335	3747330	15665	569,18	152	151,89	416
Ghardaïa	10639	1230910	17146	182,41	148	148,19	406
Illizi	1254	129103	21117	26,48	205	205,11	562
Ouargla	21857	2562268	18804	410,99	160	160,40	439
Tamanrasset	7003	688947	20694	144,92	210	210,35	576
Tindouf	434	45206	24704	10,72	237	237,17	650
Sud Algérien	162 043	18 041 966	21 311	374,31	192,89*	192,95*	528,56*
Déviation standard					34,24	34,14	93,61
Batna	196	29146	11072	2,17	74	74,45	204
Djelfa	101	10100	11785	1,19	118	117,85	323
El-Bayadh	639	63900	12240	7,82	122	122,40	335
Khenchela	766	124042	11277	8,63	70	69,63	191
Laghouat	315	37276	11271	3,55	95	95,24	261
Naâma	506	50600	12609	6,38	126	126,09	345
Tébessa	812	61400	10859	8,81	144	143,60	393
Hauts plateaux	3 335	376 464	11 588	5,50	107*	107,04*	293,14*
Déviation standard					27,92	27,85	76,07

*: Moyenne

Calcul de la pluie efficace

Dans les régions phoenicicoles, la pluie efficace est relativement faible (Fig. 43), néanmoins une estimation fut faite par soucis de précision dans la consommation totale d'eau (Annexe 6).

Chapitre III : Évaluation de l'eau virtuelle de la phoeniciculture algérienne pour sa meilleure utilisation.

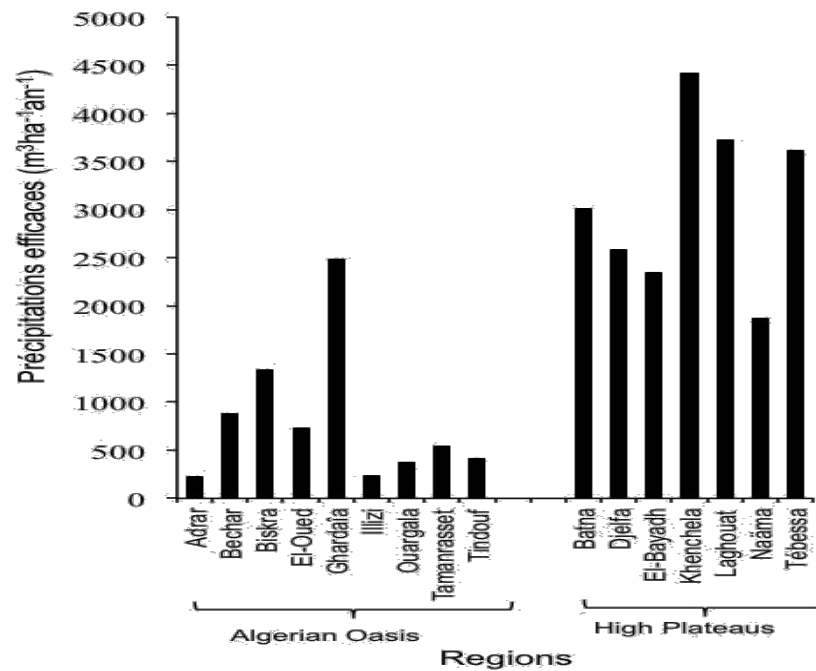


Fig. 43. Variation de la pluie efficace annuelle (en m³/ha) des Wilaya phoenicicoles.

Ainsi, pour les productions agricoles, les précipitations efficaces se réfèrent à la part des précipitations qui peuvent être utilisées par les plantes. La totalité des précipitations n'est pas disponible pour les cultures puisqu'une partie est perdue par ruissellement (Ru) et percolation en profondeur (Dp).

Calcul des besoins en eau d'irrigation

L'irrigation est primordiale en phoeniciculture. Les apports d'eau doivent être suffisants pour couvrir tous les besoins du palmier dattier, pour compenser les pertes par infiltration et par évaporation à la surface du sol, pour satisfaire les besoins des cultures intercalaires (s'il y a lieu), et pour lessiver le sol afin d'éliminer les sels accumulés. Pour une production végétale importante, dans un milieu aride, l'eau doit être fournie par une irrigation abondante (Peyron, 2000).

Le tableau 34 présente la variabilité spatio-temporelle des besoins en eau d'irrigation sur toutes les palmeraies des wilayas phoenicicoles algériennes.

Chapitre III : Évaluation de l'eau virtuelle de la phoeniciculture algérienne pour sa meilleure utilisation.

Tableau 34. Variation spatio-temporelle des besoins en eau d'irrigation en (mm).

Les régions phoenicicole	Année												Total Annuel
	Jan.	Féb.	Mar.	Apr.	Mai	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc	
Adrar	125	148	236	283	346	380	427	391	313	245	149	122	3170
Bechar	74	91	154	203	260	296	308	286	208	133	79	65	2162
Biskra	51	82	132	169	214	240	256	233	162	117	64	56	1780
El-Oued	31	66	121	161	183	200	220	195	139	89	41	40	1492
Ghardaïa	58	76	93	160	174	179	195	179	135	95	56	59	1464
Illizi	82	98	168	206	232	241	263	250	202	154	97	86	2085
Ouargla	55	81	139	184	213	241	260	238	180	120	64	59	1840
Tamanrasset	114	123	178	217	224	205	225	198	178	143	96	106	2012
Tindouf	105	112	183	225	261	290	326	298	251	163	113	93	2425
Moyenne Sud	77	98	156	201	234	253	276	253	197	140	85	77	2048
Batna	5	21	46	61	72	130	169	150	86	50	10	1	807
Djelfa	12	28	63	89	103	146	177	143	78,9	51	20	4	919
El-Bayadh	17	33	76	101	110	145	173	155	101	47	12	116	988
Khenchela	12	27	5	63	52	107	151	126	54	37	8	0	692
Laghouat	4	5	50	69	85	133	160	143	94	25	1	0	772
Naâma	31	39	88	116	120	148	176	157	95	40	31	28	1072
Tébessa	13	35	60	72	82	103	144	109	54	37	6	5	724
Moyenne HP	14	27	62	82	90	131	165	141	81	42	13	7	854

Avec Moyenne HP : Moyenne Hauts Plateaux

Pour la région d'El Oued par exemple, Adil et al (2015) ont constaté que l'utilisation du système d'irrigation traditionnel consomme plus d'eau à hauteur de 26117 m³ ha⁻¹an⁻¹. La fraction du lessivage obtenue était de 28.74%. La valeur obtenue dans cette étude est de 14920 m³/ha. Par contre, en ajoutant la part du lessivage, cette valeur devra être majorée de presque de 30%.

Avec une efficacité du réseau de 70%, l'eau virtuelle du palmier dattier en Algérie est estimée à 4733 million m³ pour une superficie de 165378 ha, dans laquelle 144 million m³ (soit 3%) sont satisfaits par l'eau de pluie efficace ou l'eau verte (tableau 35), tandis que, l'eau d'irrigation totalise 4589 million m³ soit 97% des besoins totaux de la culture.

Par conséquent, pour répondre aux besoins en eau de la phoeniciculture en Algérie, il faut mobiliser plus de 4589 million m³ d'eau pour l'irrigation.

Chapitre III : Évaluation de l'eau virtuelle de la phoeniciculture algérienne pour sa meilleure utilisation.

Tableau 35. Variations spatiales des besoins en eau verte et bleue du palmier dattier en Algérie.

Les régions Phoenicicoles	Surface (ha)	Eau verte		Eau bleue		Eau Virtuelle Millions de m ³ /an
		mm	Millions de m ³ /an	mm	Millions de m ³ /an	
Adrar	27907	19	5,33	4514	1259,86	1265,19
Bechar	13948	80	11,18	3016	420,68	431,87
Biskra	42666	132	56,36	2537	1082,82	1139,18
El-Oued	36335	68	24,74	2061	749,19	773,93
Ghardaïa	10639	229	24,44	2044	217,53	241,98
Illizi	1254	22	0,28	2932	36,77	37,06
Ouargla	21857	34	7,43	2627	574,20	581,63
Tamanrasset	7003	51	3,62	2798	195,95	199,57
Tindouf	434	33	0,14	3452	14,98	15,12
Batna	196	295	0,57	1143	2,24	2,82
Djelfa	101	263	0,26	1258	1,27	1,53
El-Bayadh	639	234	1,49	1334	8,52	10,02
Khenchela	766	428	3,27	975	7,47	10,75
Laghouat	315	364	1,14	1071	3,37	4,52
Naäma	506	185	0,93	1514	7,66	8,60
Tébessa	812	378	3,07	835	6,78	9,86
Total	165378	2821	144,33	34119	4589,35	4733,69

L'efficacité d'utilisation de l'eau en phoeniciculture

Le concept de productivité de l'eau vise à mesurer comment un système convertit l'eau (associée à d'autres ressources) en produits et services (Cai et al., 2011).

Sur la base des résultats de l'ETm et des données des statistiques agricoles (MADR 2014), nous avons calculé l'EUE des différentes wilayas phoenicicoles avec les différentes variétés de dattes (Tableau 36). De par les résultats de calcul de l'EUE, l'efficacité d'utilisation de l'eau dans la majorité des wilayas de Sud algérien est très basse, avec une efficacité moyenne de 0,35 kg/m³ soit 2857 litres d'eau pour produire 1 kg de datte.

Par contre, les wilayas des hauts plateaux ont une efficacité moyenne est de 0,65 kg/m³ soit 1538 litres d'eau pour produire 1 kg de datte. L'écart pourra être plus important si on considère les efficacités des régions de Tamanrasset, Adrar et Batna avec une consommation de 12500, 7142 et 1235 litres d'eau respectivement.

Chapitre III : Évaluation de l'eau virtuelle de la phoeniculture algérienne pour sa meilleure utilisation.

Tableau 36. L'efficacité d'utilisation de l'eau des différentes régions phoenicoles en kg/m^3 et le rendement obtenu en $\text{kg}/\text{palmier}$.

Les régions phoenicoles	Eau consommée ($\text{m}^3/\text{an}/\text{palmier}$)	Variété Deglet nour		Variété Ghers		Variété Degla Beida		Tout type de variétés	
		Rdt	EUE	Rdt	EUE	Rdt	EUE	Rdt	EUE
Adrar	240	0	0	0	0	33,1	0,14	33,1	0,14
Bechar	193	0	0	30,7	0,16	29,4	0,15	30,4	0,16
Biskra	191	100,9	0,53	99,5	0,52	86,4	0,45	96,8	0,51
El-Oued	152	67,9	0,45	65,2	0,43	64	0,42	66,7	0,44
Ghardaïa	148	46	0,31	56	0,38	55,4	0,37	51,6	0,35
Illizi	205	37,9	0,18	32	0,16	25,1	0,12	29,4	0,14
Ouargla	160	64,1	0,40	60,4	0,38	51,8	0,32	61,8	0,39
Tamanrasset	210	0	0	0	0	16,6	0,08	16,6	0,08
Tindouf	237	0	0	27	0,11	0	0	27	0,11
Moyenne pondérée Sud	185	54,46	0,32	55,72	0,32	57,42	0,32	62	0,35
Batna	74	71,6	0,97	47,6	0,64	62,2	0,84	60,1	0,81
Djelfa	118	95,4	0,81	76,2	0,65	75	0,64	89,1	0,76
El-Bayadh	122	9,5	0,08	34,3	0,28	15,2	0,12	21,2	0,17
Khenchela	70	45,6	0,65	71,3	1,02	52	0,74	60,2	0,86
Laghouat	95	42	0,44	41,9	0,44	46	0,48	43,3	0,46
Naâma	126	0	0	59,4	0,47	0	0	59,4	0,47
Tébessa	144	65,2	0,45	66,7	0,46	0	0	66	0,46
Moyenne pondérée (HP)	93	45,44	0,53	60	0,71	40	0,51	55,73	0,65

Avec Rdt: Rendement en $\text{kg}/\text{palmier}$

EUE : Efficacité d'utilisation de l'eau en kg/m^3

Slimani et Zayani (1998) ont trouvé que l'efficacité d'utilisation de l'eau en Tunisie pouvait varier de 0,42 à 0,59 $\text{kg}/\text{palmier}$. Ces valeurs sont valables pour une efficacité moyenne du réseau de transport de 70%. Dans les wilayas du sud les moins performantes (Adrar, Bechar, Illizi, Tamanrasset et Tindouf) qui enregistrent une EUE moyenne de 0,13 kg/m^3 , la productivité de l'eau est extrêmement faible, puisqu'il faut plus de 7692 litres d'eau pour produire 1 kg de dattes (toutes variétés confondues). Ceci est le résultat des faibles rendements qui sont accompagnés par des consommations d'eau élevées, à cause du climat et le non-respect de l'itinéraire technique de la phoeniculture (la mauvaise maîtrise des besoins en eau de la culture, le non-respect des intrants en termes de dose et moment d'arrosage) dû principalement au prix symbolique de l'eau d'irrigation. En Algérie,

Chapitre III : Évaluation de l'eau virtuelle de la phoeniciculture algérienne pour sa meilleure utilisation.

l'agriculteur paye entre 0.017 et 0.0213 € le mètre cube d'eau d'irrigation au Nord alors qu'au Sud, il paye beaucoup moins.

Quant aux wilayas de Biskra, El-Oued, Ouargla et Ghardaïa, elles enregistrent une EUE moyenne de 0,42 kg/m³. La productivité de l'eau nécessite environ 2380 litres d'eau pour fournir 1 kg de dattes.

En ce qui concerne la wilaya de Biskra, elle enregistre le meilleur rendement à l'échelle nationale (96,8 kg/palmier), de ce fait, elle enregistre la meilleure EUE au niveau du Sud algérien, avec 0,51 kg/m³, soit plus de 1960 litres pour 1 kg de dattes. La meilleure EUE à l'échelle nationale est enregistrée dans la wilaya de Khenchla, avec 0,86 kg/m³, soit moins de 1162 litres pour produire 1 kg de dattes.

Sur la base d'une efficience d'utilisation de l'eau moyenne de 0,42 kg/m³ et pour une production totale de dattes en 2014 de 9,3 million de quintaux, toutes variétés confondues, l'eau virtuelle totale annuelle de la phoeniciculture avoisine les 4,7 km³, ce qui représente 31% des quantités d'eau mobilisées annuellement et estimées de 6,5 à 7 km³ (MRE, 2015).

L'un des facteurs les plus importants pour la valorisation de l'eau par la phoeniciculture pourrait être la maîtrise des travaux culturaux particulièrement l'introduction des systèmes d'irrigation économiseurs d'eau tels que les systèmes d'irrigation localisés.

4. CONCLUSION

Les résultats de calcul des besoins en eau de l'agriculture oasienne montrent une très grande variabilité spatio-temporelle de ces besoins résultant des variations climatiques des différentes régions phoenicoles.

Cette étude a montré que l'eau virtuelle du palmier dattier en Algérie est estimée à 4,7 milliards de m³ pour une superficie de 165378 ha, dans laquelle 144 millions m³ sont couverts par l'eau de pluie efficace ou l'eau verte, soit 3%, tandis que, l'eau d'irrigation totalise 4,6 milliards de m³ soit 97% des besoins totaux de la culture.

Chapitre III : Évaluation de l'eau virtuelle de la phoeniciculture algérienne pour sa meilleure utilisation.

Concernant l'efficacité d'utilisation de l'eau d'irrigation en phoeniciculture, elle semble être très basse dans la majorité des wilayas du Sud algérien. En effet, l'efficacité moyenne est de l'ordre de 0.35 kg/m³, soit 2860 litres d'eau pour produire 1 kg de dattes. Par contre, pour celle des régions des hauts plateaux, une moyenne de 0.65 kg/m³ est observée, soit le double.

Néanmoins, cette efficacité peut être améliorée par le bon raisonnement de la gestion de l'irrigation, par une meilleure maîtrise des bases fondamentales de l'irrigation et surtout par le respect strict de l'itinéraire technique du palmier dattier.

Les conditions imposées par le régime pluviométrique en zone aride exigent l'adoption des techniques agricoles permettant d'utiliser au mieux les faibles ressources en eau disponibles pour une amélioration et une stabilisation de la production de dattes. Pour cela, la détermination des besoins en eau des cultures est considérée comme une des solutions requises pour une meilleure gestion de l'irrigation.

En conclusion, si le principe des avantages comparatifs des produits agricoles d'importation et d'exportation est adopté, il est déduit que l'eau virtuelle de la datte est relativement élevée, son prix de vente dans les marchés internationaux la rend compétitive comparée à certains produits, tels que les céréales qui consomment relativement beaucoup d'eau sans avoir une valeur financière aussi importante que celle des dattes.

En effet, la consommation d'eau des deux cultures est équivalente, alors qu'à l'échelle internationale, le prix du kg de datte est 20 fois plus élevé que le kg de céréales. En d'autres termes; la production d'une tonne de datte permet d'importer 20 tonnes de céréales.

CONCLUSION

GENERALE

Les consommations d'eau en Algérie demeurent très largement déterminées par celles du secteur agricole qui représente plus de 70% des volumes annuels utilisés. En Algérie, le stress hydrique est une réalité inéluctable qui ne date pas d'aujourd'hui, vu sa situation géographique qui est au cœur de la région du MENA connue pour être la zone la plus déficitaire en eau à travers le monde.

Malheureusement, toutes les études montrent que le manque d'eau est appelé à s'aggraver durant les années à venir du fait de plusieurs facteurs liés au changement climatique et de la demande croissante en eau, particulièrement pour le secteur de l'agriculture.

Cette situation fait qu'actuellement, à l'exception de quelques produits agricoles à marge bénéficiaire élevée, la production agricole nationale ne peut couvrir les besoins alimentaires de la population, principalement en ce qui concerne les produits alimentaires dits stratégiques, à leur tête les céréales et leurs dérivés.

Pour cela, l'Algérie a toujours eu recours à des importations massives de produits agricoles divers qui recèlent des quantités considérables d'eau virtuelle consommées dans leur pays d'origine durant leur cycle végétatif et qui font ainsi bénéficier indirectement l'Algérie par une diminution de l'intensité de son déficit hydrique.

A cet effet, le but de notre étude est de mettre en relief ce problème du manque d'eau et de la dépendance alimentaire de l'Algérie par le biais de l'eau virtuelle des produits agricoles de production nationale et d'importation.

Les résultats de notre étude montrent qu'à titre indicatif en 2012 les produits agricoles alimentaires d'importation ont atteint des valeurs des plus élevés, avec 6,4 millions de tonnes de céréales destinés à l'alimentation humaine pour 8,5 km³ d'eau virtuelle, 1,7 million de tonnes de sucres et sucreries pour 3,42 km³, 0,2 million de tonnes pour 2,7 km³ pour le groupe du (Café, thé et épices), et 0,8 million de tonnes d'huiles et graisses pour 2,4 km³, soit un total de 20 milliards de m³ d'eau virtuelle dont a bénéficié indirectement l'Algérie par ces importations pour la seule année 2012.

A cet effet, il faut signaler que les quantités d'eau mobilisées par l'Algérie en 2012 ne dépassaient guère les 6 milliards de m³, toutes sources confondues. De ce fait, et en

d'autres termes, en 2012 l'Algérie a bénéficié de quantités d'eau virtuelle impressionnantes venues d'ailleurs et qui sont estimées à plus de 330% de l'eau mobilisée et plus de 500% de l'eau destinée à l'agriculture.

A cela, il faut ajouter les produits agricoles non-alimentaires. En effet, durant la même année 2012, durant laquelle, nous avons enregistré une forte importation d'eau virtuelle estimée à plus de 23 milliards de m³. De ce fait l'eau virtuelle des produits agricoles alimentaires et non-alimentaires a atteint un total de 43Km³ représentant 2,5 fois les potentialités d'eau renouvelable de l'Algérie (17 km³) et plus de 7 fois l'eau totale mobilisée en 2012 (6 km³).

En Algérie, l'eau virtuelle du palmier dattier est estimée à 4733 millions m³ pour une superficie de 165378 ha. La phoeniculture en Algérie enregistre des efficacités d'utilisation de l'eau très faibles, en moyenne de 0.35 kg/m³ sur les wilayas du Sud algérien et de 0.65 kg/m³ au niveau des palmeraies situées au sud des hauts plateaux du pays. Le palmier dattier étant irrigué en continu, exception faite pour les régions des hauts plateaux.

La méthode de calcul des teneurs en eau virtuelle des produits agricoles que nous avons adopté, confirme effectivement le déficit important en ressources hydriques dont souffre l'Algérie. Cette méthode montre aussi combien ces teneurs varient en fonction de la demande climatique d'une part et du végétal lui-même d'autre part.

De plus, cette méthode confirme également l'importance du concept de l'efficacité d'utilisation de l'eau (EUE) que nous avons calculée et qui montre hélas, que cette dernière est toujours faible par rapport aux moyennes mondiales. Ce ci est dû, avant tout à une mauvaise maîtrise de l'itinéraire technique, dans lequel l'eau est le principal facteur de production en agriculture.

Ajouté à cela la non-disponibilité de la ressource en eau qui ne permettent pas l'obtention de bons rendements, qui sont aussi un facteur clé pour le calcul de l'efficacité d'utilisation de l'eau (EUE) en agriculture.

Ainsi pour une bonne gestion de l'eau en agriculture, il s'agira d'opter pour la pratique des cultures moins consommatrices d'eau et qui produisent relativement beaucoup, ce ci

s'exprime par la notion d'efficacité d'utilisation de l'eau (EUE), qui est le seul et unique moyen qui permette de mesurer le niveau de valorisation de l'eau en agriculture.

A cet effet, nos résultats montrent une mauvaise valorisation de l'eau en agriculture, particulièrement pour les cultures grosses consommatrices d'eau. Dans cette catégorie, nous pouvons citer toutes les céréales d'hivers qui consomment environ 3 m³ d'eau par kg de grain. Cette consommation est encore plus élevée pour les céréales d'été, particulièrement le maïs et le sorgho, gros consommateurs d'eau.

Ainsi, le concept de l'eau virtuelle s'est révélé très utile pour une utilisation raisonnée des ressources hydriques. Il joue un rôle majeur dans la gestion intégrée des ressources en eau et dans l'amélioration de l'efficacité de l'utilisation de l'eau interne et externe.

Cette notion d'eau externe montre combien l'Algérie est dépendante des marchés internationaux pour la couverture de ses besoins alimentaires exprimés en eau virtuelle qui dépasse les 43 milliards de m³ par an seulement pour les produits agricoles alimentaires et non-alimentaires, sachant qu'elle ne pouvait mobiliser en 2012 que 6 milliards de m³ par an toutes ressources confondues.

Cela confirme aussi que l'Algérie ne pourra en aucun cas subvenir aux besoins en eau des cultures pratiquées, particulièrement celles grandes consommatrices en eau, eu égard à la ressource en eau qui demeure insuffisante.

Ainsi, tant que les ressources financières le permettent, pour contrecarrer, ce manque d'eau, l'Algérie doit appliquer une politique commerciale basée sur l'importation d'eau virtuelle, des biens, notamment des denrées agricoles, qui ont besoin de grands volumes d'eau pour être produits localement, aussi connus sous l'expression de « water intensive products ».

Cette option est confirmée, particulièrement lorsque ces denrées alimentaires ne génèrent pas une valeur ajoutée importante et/ou lorsqu'elles ne valorisent pas l'eau d'irrigation, comme c'est le cas des céréales, par opposition à la production des dattes, qui même si elles consomment relativement beaucoup d'eau, elles génèrent en contrepartie une valeur ajoutée et une valorisation importante de l'eau.

A titre d'illustration, en Algérie un kg de céréales consomme la même quantité d'eau qu'un kg de dattes de premier choix, ce qui est incomparable d'un point de vue intrinsèque des deux produits. Cela veut dire que l'Algérie doit orienter sa production agricole vers les spéculations qui consomment, relativement moins d'eau même si elles produisent moins.

De plus, il faut faire en sorte de mobiliser toutes les ressources hydriques dont nous disposons, qu'elles soient conventionnelle ou non conventionnelles, renouvelables et non renouvelables et d'appliquer des règles strictes de la gestion rationnelle, raisonnée et durable de cette ressource rare et précieuse.

Même si l'Algérie sera toujours dépendante, en partie des marchés internationaux pour son alimentation, il s'agira pour nous de diminuer au maximum cette dépendance par une grande rigueur dans la gestion de toutes nos ressources hydriques et agricoles, en considérant toujours la part de l'eau virtuelle des produits agricoles d'importation comme dernier recours.

En effet, il faut considérer toutes ces quantités d'eau virtuelles importées comme une ressource hydrique qu'il faudra ajouter indirectement à nos ressources existantes, ce qui permettra d'avoir une vision plus exacte et générale de la ressource hydrique ainsi que de son allocation.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

ABHO, 2010. Agence des bassins hydrographiques de l'Oranie, Rapport sur les ressources en eau publié par le Ministère des ressources en eau, 40 p.

Adil, M., Helimi, S., Mokhtari, S., Kharaz, E., Koull, N., Lakhdari, K., Benzaoui, T., Bougafra, A., Laouisset, M.B., Kherfi, Y., and Halitim, A., 2015. Date palm (phoenix dactylifera L.) Irrigation water requirements as affected by salinity in oued righ conditions, north eastern sahara, Algeria. Asian Journal of Crop Science

Allan, J.A, 2003. Virtual Water - the Water, Food, and Trade Nexus, Useful Concept or Misleading Metaphor? Water International. 28. 4-11

Allan, J.A., 1994. Overall Perspectives On Countries and Regions. In: Rogers, P., Lydon, P. (Editeurs.), Water in the arab world: perspectives and prognoses. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, pp 65-100.

Allan, J.A., 1997. Virtual Water: a long term solution for water short Middle Eastern economies? Occasional paper 3, the 1997 British Association Festival of Science, Roger Stevens Lecture Theatre, University of Leeds, Water and Development Session -TUE.51, 14.45. September 1997. 21p

Allan, J.A., 1998. Virtual water : a strategic resource: global solutions to regional deficits. *Ground water*, Vol. 36, n° 4, p. 545-546.

AQUASTAT, 2016. Système d'information de la FAO sur l'eau et l'agriculture www.fao.org/nr/water/aquastat/qualifiers/indexfra.stm.

Banque Mondiale, 1995. Une stratégie pour la gestion de l'eau au Moyen Orient et en Afrique du Nord, Oxford Univ. Press. NY, 86p.

Banque mondiale, 2002. Bridging Troubled water : Assessing the World Bank Resource Strategy.

Benziouche, S., 2008. L'impact du PNDA sur les mutations du système de production oasien dans le sud algérien, Revue Régions Arides, 21.1321-1330.

Blinda, M., et Thivet, G., 2009. Ressources et demandes en eau en Méditerranée : situation et perspectives. Science et changements planétaires / Sécheresse, Eau et zones arides. Volume 20, numéro 1, janvier-février-mars 2009

Bouwer, H, 2000. Integrated water management : emerging issues and challenges. *Agricultural water management*, Vol. 45, p. 217-228.

BRGM, 2011. Rapport d'activités. (BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES)

Cai, X., Molden, D., Mainuddin, M., Sharma, B., Ahmad, M.D. and Karimi, P. 2011. Producing more food with less water in a changing world: assessment of water productivity in 10 major river basins. *Water International* 36(1): 42-62.

Chapagain, A.K., and Hoekstra, A.Y., 2004. Water footprints of nations, volume 1: Main report, Value of water research report series No.16, Delf (the Netherlands), UNESCO-IHE Institute for water education, 76 p.

Chatzimpiros, P. et Barles, S., 2007. L'empreinte aquatique des villes : méthodologie et premières applications à l'Île-de-France, Programme PIREN-Seine, rapport d'activité 2007. Paris : UMR CNRS 7619 Sisyphe, févr. 2008, disponible sur la toile, [réf. du 9 avr. 2008],

De Fraiture, C., Cai, X., Amarasinghe, U., Rosegrant, M., and Molden, D., 2004. Does international cereal trade save water ? The impact of virtual water trade on global use, Comprehensive assessment, Research report no 4, Colombo, Sri Lanka, Comprehensive Assesment Secretariat, 27 p.

De Villiers, M., 2000. L'eau, Solin-Actes Sud-Leméac, 437 p.

Doorembos, J., and Pruitt, W.O., 1977. Guidelines for predicting crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 24. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.

DRIS, A., 2005. L'eau matière stratégique et enjeu de sécurité au 21ème Siècle MEMOIRE On Line.

Dubost, D., 1990. Mutation du système de production oasien en Algérie. Ed CRSTRA. Alger

El-Sadek, A., 2011. Virtual water: an effective mechanism for integrated water resources management. Agricultural Sciences Vol.2. June 201. 248-261pp

Eurostat, 2002. Bases de données Eurostat.

Eurostat, 2015. Euro-Mediterranean statistics. Base de données Eurostat.

FAO, 2004. L'eau, l'agriculture et l'alimentation. Une contribution au Rapport mondial sur la mise en valeur des ressources en eau.

FAO, 2014. Stress hydrique. AQUASTAT infographie. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

Fernandez, S., 2007. L'eau virtuelle dans les pays Méditerranéens : un indicateur pour contribuer à l'analyse des questions de gestion et de répartition de l'eau en situation de pénurie ? Rapport 168. Saragosse, Espagne : MAP (Mediterranean Action Plan). https://planbleu.org/sites/default/files/publications/mts_168_eau_saragosse_0.pdf

Hoekstra, A.Y., and Hung, P.Q., 2005. Globalisation of water resources: international virtual water flows in relation to cropttrade. Global Environmental Change 15(1): 45-56.

IPEMED, 2009. Région méditerranéenne et changement climatique. Une nécessaire anticipation. (IPEMED : Institut de Prospective Economique du monde méditerranéen)

Kheir, K., et Akar, N., 1992. « La sécurité hydrique dans les pays arabes », Égypte/Monde arabe, Première série, 10 | 1992, mis en ligne le 08 juillet 2008, consulté le 03 octobre 2017.

Lani, S., 2011. Importance stratégique de l'eau virtuelle des céréales en Algérie. Thèse de Magister, ENSA Alger.

Leflaive, X., Witmer, M., Martin-Hurtado, R., Bakker, M., Kram, T., Bouwman, L., Visser, H., Bouwman, A., Hilderink, H., et Kim, K., 2012. PERSPECTIVES DE L'ENVIRONNEMENT DE L'OCDE A L'HORIZON 2050 © OCDE 2012

MADR, 2014. Ministère de l'agriculture et du développement rural. Série B, Statistiques Agricoles.

Makhlouf, M., Frijab, A. Chebil, A., Souissi, A., Stambouli, T., Benalaya, A., 2017. Quantification of Virtual Water balance of Tunisia: Flows Embedded in the main produced, consumed and exchanged Agricultural Commodities; NEW MEDIT N. 2/2017

Margat, J., 1992. L'eau dans le bassin méditerranéen. Situation et prospective (Economica, Les Fascicules du Plan Bleu, n ° 6, 1 96 p. Paris) .

Margat, J., 2011. « Quels sont les demandes en eau et les sources d'approvisionnement en eau actuelles et futures dans les pays méditerranéens ? » Contribution au Premier Forum Méditerranéen de l'Eau de Marrakech 19-20 décembre 2011.

Meddi, M., Talia, A., et Martin, C., 2009. «Évolution récente des conditions climatiques et des écoulements sur le bassin versant de la Macta (Nord-Ouest de l'Algérie)», *PhysioGéo*, Vol. 3 - 2009.).

Meddi, M., et Hubert, P., 2003. Impact de la modification du régime pluviométrique sur les ressources en eau du Nord-Ouest de l'Algérie. In : *Hydrology of the Mediterranean and semiarid Regions*, IAHS Publication, vol. 278, p. 1-7.

Mouhouche, B. and Lani, S., 2011. The strategic importance of cereal virtual water in Algeria: Report and perspectives. *Journal of Agricultural Science and Technology* 5(1): 121-125.

Mouhouche, B., 2014. Détermination de l'eau virtuelle agricole de l'Algérie. Projet : Monitoring and evaluation of water in North africa (MEWINA).

Mozas, M., et Ghosn, A., 2013. Études et Analyse. État des lieux du secteur de l'eau en Algérie,. IPEMED (Institut de Prospective Economique du monde méditerranéen).

MRE, 2015. Bases de données. Ministère des Ressources en Eau. Alger, Algérie.

Munier, P., 1973. Le palmier dattier – techniques agricoles et productions tropicales. XXIV édition. Maisonneuve et Larousse. 221 pp.

Mutin, G., 2009. Le monde arabe face aux défis de l'eau : enjeux et conflits. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00352860v2>) (ONU, 2015, Rapport sur EAU).

ONM, 2014. Bulletins mensuels et annuels des paramètres climatiques. Alger, Algérie : Office National de la Météorologie.

OSS, 2016. EAU : Population et ressources en eau dans la zone d'action de l'OSS (Observatoire du Sahara et du Sahel)

Peyron, G., 2000. Cultiver le Palmier-dattier. Guide Illustré De Formation. CIRAD (Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement). ISBN 2-87614-399-2

Rapport sur le commerce mondial, 2010. Théorie du commerce international et ressources naturelles.

Renault, D., 2003. Value of virtual water in food : principles and virtues. Virtual Water Trade. Proceedings of the international expert meeting on virtual water trade. IHE Delft, éd. Hoekstra, February 2003.

Ricardo, D., 1817. Des Principes De l'Economie Politique et De l'Impôt, (trad. française, 1847 de la 3ème édition 1821) éditeur Pierre Tremblay

Rousset, N., 2009. Le commerce international comme stratégie d'adaptation à la rareté des ressources hydriques ? Utilité et application du concept de " commerce d'eau virtuelle " en Afrique du Nord. Revue Tiers Monde, Armand Colin, 2009, pp.517-532.

Sayeh Y., et Zaidi, H., 2013. Etude des besoins en eau de la culture de pomme de terre en Algérie. Mémoire de Master

Shuval, H., 1999. Sustainable water development under conditions of scarcity : Israel as a case study, In Sustainable development and management of water resources: a legal framework for the Mediterranean, sous la dir. de Sergio Marchisio, Gianfranco Tamburelli et Liana Pecoraro (Éditeurs), Rome, Institute for Legal Studies on the International Community, p. 196-223.

Slimani, M. S., et Zayani, K., 1998. Apport d'eau, développement et rendement de jeunes palmiers Deglet Nour dans la parcelle expérimentale d'Atilet-Nefzaoua (Tunisie). A Mediterranean Journal of Economics, Agriculture and Environment (Medit) 9(4): 58-62.

Smith, M., 1992. CROPWAT a computer program for irrigation planning and management. FAO Irrigation and Drainage. Paper No. 46. Rome, Italy: FAO.

Talbi, B., et Souak, F.Z., 2016. Le management intégré des ressources en eau en Algérie : enjeux et contraintes. International Journal of Economics & Strategic Management of Business Process (ESMB) pp. 67-72 Copyright IPCO-2016 ISSN: 2356-5608

Troy, B., 2012. Augmenter la productivité de l'eau : un objectif de développement agricole ?. Note No 2. Paris, France : FARM (Fondation pour l'agriculture et la ruralité dans le monde). http://classiques.uqac.ca/classiques/ricardo_david/principes_eco_pol/ricardo_principes_1.pdf

Turton, A.R., 2000. A strategic decision-makers guide to virtual water, Papier présenté à l'atelier de travail sur l'eau virtuelle en Afrique du Sud, à Maseru, <http://www.up.ac.za/academic/libarts/polsci/awiru>

Van Halsema, G.E. and Vincent, L., 2012. Efficiency and productivity terms for water management: a matter of contextual relativism versus general absolutism. Agricultural Water Management 108: 9-15. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.05.016>

Wichelns, D., 2001. The role of "virtual water" in efforts to achieve food security and national goals, with an example from Egypt. Agricultural Water Management 49, 131-151.

Wichelns, D., 2004. The policy relevance of virtual water can be enhanced by considering comparative advantages. Agricultural Water Management, 66(1), 49-63

Yang, H., et Zehnder, A., 2002. Water scarcity and food import: a case study for southern Mediterranean countries. World development, Vol. 30, n° 8, p. 1 413-1 430.

ZELLA, L., et SMADHI, D., 2006. GESTION DE L'EAU DANS LES PAYS ARABES. Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 05, Juin 2006, pp.157-169

Zimer, D., 2003. Échanges et géopolitique de l'eau virtuelle, Intervenant au Forum mondial de l'eau de 2003 à Kyōto.

Annexes

Annexe 1

Tableau 1. Classement des pays selon leur disponibilité en ressources hydriques renouvelables

Pays	Ressources en eau renouvelables totales par habitant en 2009 (m3/habitant/an)
Islande	537 975
Canada	86 177
Nouvelle-Zélande	75 642
Brésil	42 604
Russie	31 510
Australie	22 464
Etats-Unis	9 974
Bangladesh	8 345
Moyenne des ressources par être humain et par an	5 000
Mexique	4 081
Japon	3 398
France	3 379
Mauritanie	3 375
Seuil de vulnérabilité	2 500
Espagne	2 243
Chine	2 080
Iran	1 880
Nigeria	1 853
Seuil de pénurie – Stress hydrique	1 700
Somalie	1 612
Inde	1 582
Burundi	1 535
Pakistan	1 354
Malawi	1 197
Afrique du Sud	1005
Pénurie chronique	1 000
Rwanda	921,3
Maroc	916,7
Kenya	778
Egypte	718,8
Situation critique	500
Tunisie	443,3
Algérie	333,9
Israël	245,1
Jordanie	155,5
Libye	95,8

l'apport d'information N° 4070 déposé en application de l'article 145 du Règlement par la Commission des Affaires étrangères de France en conclusion des travaux d'une mission d'information constituée le 5 octobre 2010 sur « La politique de l'eau ». 13 décembre 2011.

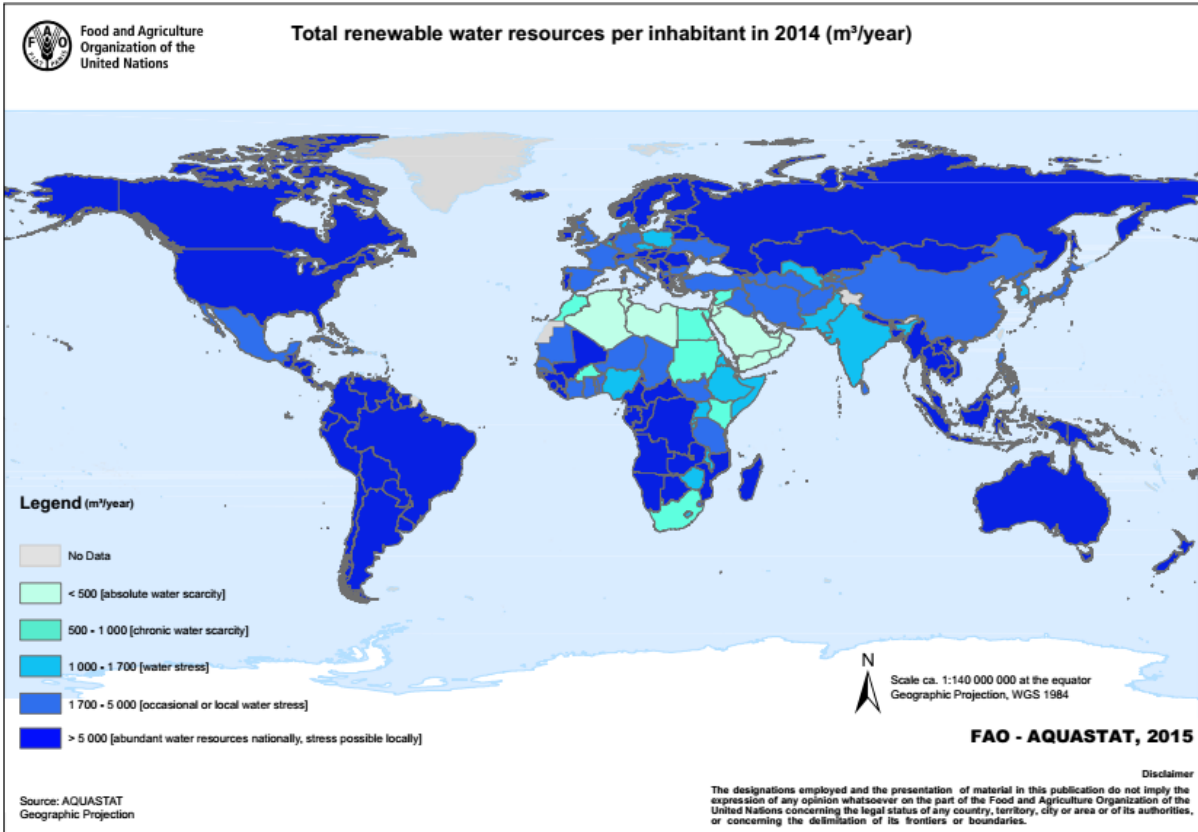


Fig. 1 Les ressources hydriques totales renouvelables par habitant

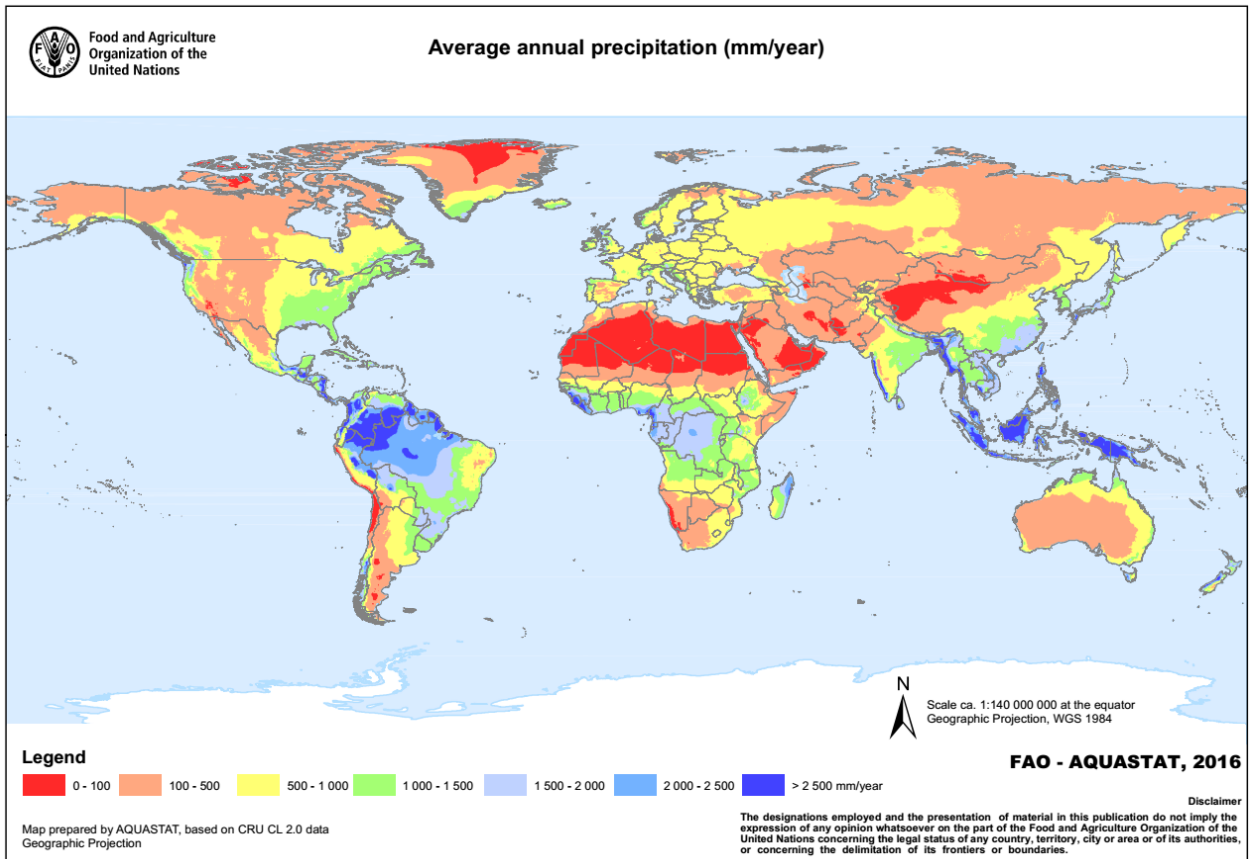


Fig. 2 : Les précipitations moyenne annuelles (mm/an)

Annexe 2

Tableau 1. Global virtual water trade between nations by product (Gm3).

Product	1995	%	1996	%	1997	%	1998	%	1999	%	Total	%
Wheat	181	32.35	215	26.49	254	32.01	203	29.00	197	32.73	1049	30.20
Soybean	103	18.37	108	13.28	125	15.79	122	17.47	135	22.45	593	17.07
Rice	81	14.57	198	24.35	71	8.95	119	16.95	65	10.78	534	15.36
Maize	58	10.40	56	6.93	67	8.51	65	9.22	61	10.14	307	8.85
Raw sugar	9	1.60	68	8.35	119	14.99	42	5.99	13	2.09	250	7.20
Barley	36	6.41	30	3.67	35	4.41	29	4.15	30	5.05	170	4.88
Sunflower	12	2.17	24	2.97	20	2.50	20	2.92	18	2.94	94	2.71
Sorghum	12	2.14	26	3.21	12	1.49	10	1.39	10	1.73	70	2.01
Bananas	11	1.88	16	2.00	15	1.95	15	2.15	11	1.83	68	1.97
Grapes	12	2.07	13	1.64	13	1.65	13	1.87	13	2.24	65	1.86
Oats	9	1.67	10	1.25	11	1.41	9	1.34	10	1.61	50	1.43
Tobacco	5	0.98	10	1.19	11	1.33	13	1.90	7	1.10	46	1.31
Ground-nuts	6	1.10	7	0.84	8	1.02	6	0.90	4	0.70	32	0.91
Peppers	4	0.80	5	0.62	9	1.12	6	0.84	6	1.02	30	0.87
Cotton seeds	5	0.83	5	0.56	5	0.64	6	0.92	7	1.24	28	0.81
Peas	3	0.46	4	0.48	4	0.57	5	0.67	2	0.31	18	0.50
Beans	3	0.47	6	0.68	3	0.35	2	0.36	2	0.38	16	0.45
Potatoes	2	0.40	2	0.26	2	0.31	2	0.33	2	0.37	11	0.33
Onions	2	0.28	3	0.33	2	0.19	2	0.35	1	0.25	10	0.28
Vegetables	1	0.14	1	0.10	1	0.12	4	0.50	1	0.17	7	0.20
Millet	1	0.23	1	0.14	1	0.16	1	0.17	1	0.22	6	0.18
Tomatoes	1	0.14	1	0.12	1	0.13	1	0.17	1	0.19	5	0.15
Palm nuts	1	0.12	1	0.12	1	0.07	1	0.08	0	0.08	3	0.09
Safflower	1	0.12	1	0.09	1	0.08	1	0.09	1	0.09	3	0.09
Cucumbers	0	0.06	1	0.12	1	0.07	0	0.06	0	0.07	3	0.08
Cauliflower	0	0.06	0	0.05	0	0.05	0	0.06	0	0.07	2	0.06
Cabbages	0	0.05	0	0.04	0	0.04	0	0.05	0	0.06	2	0.05
Carrots	0	0.04	0	0.03	0	0.03	0	0.04	0	0.05	1	0.04
Citrus	0	0.04	0	0.03	0	0.02	0	0.01	0	0.01	1	0.02
Artichokes	0	0.02	0	0.01	0	0.01	0	0.01	0	0.02	1	0.01
Lettuce	0	0.01	0	0.01	0	0.01	0	0.01	0	0.02	0	0.01
Sweet potato	0	0.02	0	0.01	0	0.01	0	0.01	0	0.01	0	0.01
Spinach	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.01	0	0.00
Grand total	559	100.00	813	100.00	793	100.00	700	100.00	601	100.00	3475	100.00

Tableau 2. Ranking of regions in terms of gross virtual water import and gross virtual water export.

Gross virtual water import (1995-1999)		Ranking	Gross virtual water export (1995-1999)	
Region	Gm3		Region	Gm3
Central and South Asia	982	1	North America	1118
Western Europe	523	2	South America	347
North Africa	253	3	South-east Asia	338
Middle East	205	4	Central America	190
South-east Asia	203	5	Central and South Asia	149
Central America	167	6	Oceania	149
South America	107	7	Western Europe	143
North America	88	8	FSU	90
Eastern Europe	60	9	Eastern Europe	65
FSU	46	10	Middle East	54
Southern Africa	40	11	North Africa	31
Central Africa	15	12	Southern Africa	20
Oceania	9	13	Central Africa	3

Tableau 3. Top-30 of virtual water export countries and top-30 of virtual water import countries (over 1995-1999)

Pays	Country Net export volume(109 m3)		Pays	Country Net import volume(109 m3)
United States	758.3	1	Sri Lanka	428.5
Canada	272.5	2	Japan	297.4
Thailand	233.3	3	Netherlands	147.7
Argentina	226.3	4	Korea Rep.	112.6
India	161.1	5	China	101.9
Australia	145.6	6	Indonesia	101.7
Vietnam	90.2	7	Spain	82.5
France	88.4	8	Egypt	80.2
Guatemala	71.7	9	Germany	67.9
Brazil	45.0	10	Italy	64.3
Paraguay	42.1	11	Belgium	59.6
Kazakhstan	39.2	12	Saudi Arabia	54.4
Ukraine	31.8	13	Malaysia	51.3
Syria	21.5	14	Algeria	49.0
Hungary	19.8	15	Mexico	44.9
Myanmar	17.4	16	Taiwan	35.2
Uruguay	12.1	17	Colombia	33.4
Greece	9.8	18	Portugal	31.1
Dominican Republic	9.7	19	Iran	29.1
Romania	9.1	20	Bangladesh	28.7
Sudan	5.8	21	Morocco	27.7
Bolivia	5.3	22	Peru	27.1
Saint Lucia	5.2	23	Venezuela	24.6
United Kingdom	4.8	24	Nigeria	24.0
Burkina Faso	4.5	25	Israel	23.0
Sweden	4.2	26	Jordan	22.4
Malawi	3.8	27	South Africa	21.8
Dominica	3.1	28	Tunisia	19.3
Benin	3.0	29	Poland	18.8
Slovakia	3.0	30	Singapore	16.9

Annexe 3

Tableau 1. Classement des pays producteurs de dattes entre 2000 et 2013

Pays	La production moyenne en tonne	Structure moy. (2000-2013) en %	Classement
Égypte	1 256 792,57	17,98	01
Iran	1 005 414,43	14,38	02
À saoudite	945 033,85	13,52	03
Iraq	627 883	8,98	04
Algérie	560 826,5	8,02	05
Pakistan	544 831,57	7,79	06
Soudan	368 875,35	5,28	07
Yémen	267 984,57	3,83	08
Oman	259 881,78	3,72	09
Libye	159 893,5	2,29	10
Tunisie	142 028,57	2,03	11
Chine	134 428,57	1,92	12
Maroc	71 531,78	1,02	13
USA	20 042	0,29	14
Bahrayn	14 259,57	0,20	15
Mexique	3876,57	0,06	16
Autres pays	607 407,63	8,69	17
Total monde	6 990 991,81	100	

Source : réalisé à partir des données FAOSTAT, 2015

Tableau 2. Classement des pays producteurs des dattes selon l'importance relative du rendement du palmier dattier par hectare (2000-2013).

Pays	Rendement q/ha	Classement	Pays	Rendement q/ha	Classement
Égypte	346,74	01	Iraq	61,16	09
Chine	161,47	02	Libye	55,54	10
Soudan	104,06	03	Iran	54,65	11
Bahrayn	99,97	04	Mexique	50,63	12
USA	81,98	05	Algérie	38,47	13
Oman	79,74	06	Tunisie	32,69	14
Pakistan	64,34	07	Yémen	28,48	15
À saoudite	62,01	08	Maroc	17,11	16

Source : réalisé à partir des données FAOSTAT, 2015

Tableau 3. Classement des pays producteurs des dattes selon l'importance de la surface (2000-2013).

Pays	superficie ha	%
Iran	189569,14	16,8
A saoudite	152127,29	13,5
Algérie	144969	12,9
Iraq	104770,21	9,3
Pakistan	85144,71	7,6
Tunisie	43080,71	3,8
Maroc	41744	3,7
Egypte	36398,5	3,2
Soudan	35377,79	3,1
Libye	28811,71	2,6
Yémen	16910,21	1,5
Chine	8567,71	0,8
Oman	3268,01	0,3
USA	2442,14	0,2
Bahrayn	1565,07	0,1
Mexique	743,29	0,1
Autres pays		
Total monde	1127267,28	

Source : réalisé à partir des données FAOSTAT, 2015

Tableau 4. Évolution des productions et exportations de dattes algériennes (2008-2014)

Années	Production		Exportations			Principaux pays concernés (% de la valeur)
	Volume Tonnes	Valeur Millions DA	Volume Tonnes	Valeur Millions DA	Valeur Millions USD	
2008	552 765	113 317	9681,5	1270,5	19,7	France 75 % ; Maroc : 6 % ; Canada : 5 % ;
2009	600 696	106 900	7227,8	902,5	12,5	France 76 % ; Maroc : 6 % ; USA : 5 % ;
2010	644 741	77 540	11 979,8	1305,8	17,6	France 80 % ; Niger : 5 % ; Émirats arabes unis : 4 % ;
2011	724 894	123 107	23 145,4	1694,5	23,3	France 56 % ; Niger : 16 % ; Fédération de Russie : 6 % ;
2012	789 357	186 361	18 350,8	1915,9	24,7	France 55 % ; Fédération de Russie : 12 % ; Allemagne : 4 %
2013	850 078	197 320	20 681,6	2360,4	29,7	France 51 % ; Fédération de Russie : 12 % ; Maroc : 6 %
2014¹	934 566	284 934	16 993,7	2031,8	25,9	France 45 % ; Fédération de Russie : 15 % ; Maroc : 10 %

Source : MADR, 2014

¹ Exportations = 7mois (janvier-juillet).

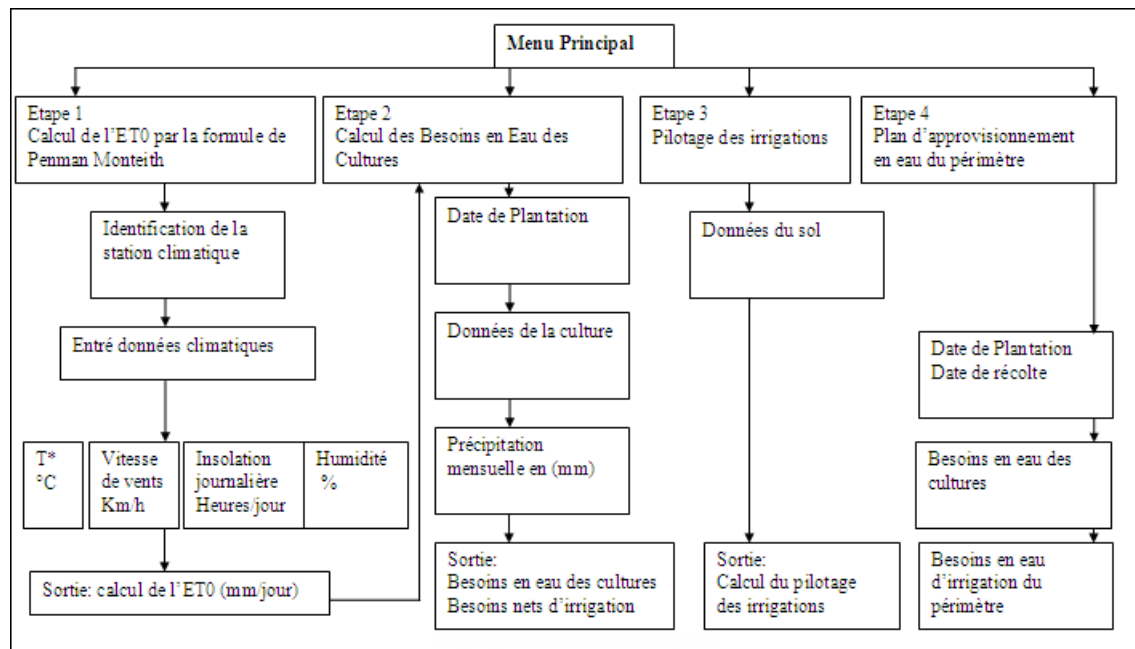


Fig.1 : Organigramme du Modèle CropWatSource (FAO, 1997)

Annexe 4 :

Tableau 1: La facture alimentaire en Dollars Américain

Année	Produits alimentaires	Produits non alimentaires
	1000 \$ US	1000 \$ US
2002	2506050,524	948462,54
2003	2600640,643	959951,535
2004	3337526,629	1315575,004
2005	3276771,38	1261807,31
2006	3430417,395	1245927,771
2007	4466864,096	1609290,678
2008	7191497,891	2050662,005
2009	5477033,795	1774294,71
2010	5383829,558	2256725,029
2011	8793085,949	2899115,716
2012	8128813,897	3113481,665

Annexe 5

Station : Biskra		période : moyennes de 1996-2010			
Altitude : 82 m		latitude : 34°48 N	longitude : 05°44 E		
Mois	Temp Moy C°	Humidité %	Vent m/s	Insolation h/j	Pluie mm
Janvier	11.9	59.2	4.2	7.38	21.1
Février	13.6	50.3	4.4	8.54	7.4
Mars	17.4	42.5	4.7	9.13	11.8
Avril	21.1	39.2	5.8	9.57	20.2
Mai	26.3	33.3	5.6	10.32	10.3
Juin	31.4	28.3	4.8	11.52	4.6
Juillet	34.6	26.1	4.0	11.59	0.7
Août	34.1	29.5	3.9	10.63	2.1
Septembre	28.7	40.8	4.2	8.93	14.6
Octobre	23.5	46.7	3.8	8.28	11.3
Novembre	16.7	53.3	4.2	7.50	18.2
décembre	12.6	60.0	4.1	6.93	14.0

Station : Batna		période : moyennes de 1985-2010			
Altitude : 822 m		latitude : 35°45 N	longitude : 06°19 E		
Mois	Temp Moy C°	Humidité %	Vent m/s	Insolation h/j	Pluie mm
Janvier	6.4	73	2.9	5.33	33.3
Février	7.7	70	3.4	6.41	24.6
Mars	10.6	65	3.7	7.23	30.3
Avril	13.7	63	4.1	7.96	37.0
Mai	18.0	59	3.9	8.52	44.6
Juin	23.2	50	3.9	9.00	9.1
Juillet	27.0	40	3.9	10.14	7.6
Août	26.5	43	3.8	9.69	13.7
Septembre	21.5	58	3.5	7.64	20.1
Octobre	17.1	65	3.2	7.17	22.8
Novembre	11.3	72	3.3	5.56	32.4
décembre	7.3	75	3.1	4.67	40.7

Station : Tébéssa		période : moyennes de 1998-2008			
Altitude : 821 m		latitude : 35°25 N	longitude : 08°07 E		
Mois	Temp Moy C°	Humidité %	Vent m/s	Insolation h/j	Pluie mm
Janvier	6.19	67.64	2.78	5.61	29.66
Février	7.07	63.64	3.65	6.38	15.51
Mars	10.51	57.18	3.72	7.47	24.04
Avril	13.72	54.82	4.05	8.18	35.48
Mai	18.22	50.55	3.55	9.52	36.93
Juin	24.34	46.82	3.07	10.15	32.03
Juillet	27.46	42.36	3.13	11.12	15.43
Août	27.02	47.55	2.82	10.34	32.33
Septembre	22.51	59.27	2.72	8.22	46.08
Octobre	18.65	63.18	2.47	7.63	35.41
Novembre	10.60	65.45	3.07	6.05	41.00
décembre	7.08	69.00	3.07	5.07	38.51

Station : Khenchela		période : moyennes de 1998-2008			
Altitude : 983 m		latitude : 35°28 N		longitude : 07°05 E	
Mois	Temp Moy C°	Humidité %	Vent m/s	Insolation h/j	Pluie mm
Janvier	6.46	65.91	3.45	5.35	34.97
Février	7.56	62.09	3.70	7.06	27.03
Mars	10.87	61.82	4.05	7.23	32.44
Avril	14.05	60.09	4.47	7.96	42.73
Mai	18.60	57.27	3.76	8.52	70.65
Juin	23.56	46.91	3.61	9.00	30.95
Juillet	26.97	39.36	3.37	10.14	14.47
Août	26.39	43.27	3.25	13.02	39.67
Septembre	21.60	56.64	3.09	7.64	51.79
Octobre	17.88	59.45	2.93	7.17	40.64
Novembre	10.82	67.82	3.66	5.56	41.33
décembre	6.91	74.09	3.48	4.67	48.78

Station : Djelfa		période : moyennes de 1998-2008			
Altitude : 1180 m		latitude : 34°20 N		longitude : 03°23 E	
Mois	Temp Moy C°	Humidité %	Vent m/s	Insolation h/j	Pluie mm
Janvier	4.74	76.91	3.89	6.21	23.95
Février	6.16	70.45	4.23	7.15	18.85
Mars	9.85	65.09	4.62	8.24	16.39
Avril	12.89	56.45	5.20	9.00	21.15
Mai	17.57	52.73	4.69	9.56	26.56
Juin	23.27	39.36	4.05	10.20	10.89
Juillet	26.87	33.00	3.81	10.44	8.90
Août	25.95	37.55	3.46	10.15	23.10
Septembre	20.97	53.18	3.54	8.20	37.07
Octobre	16.15	62.45	3.83	7.86	29.49
Novembre	9.07	73.73	4.10	6.39	21.41
décembre	5.43	80.82	4.16	5.42	31.13

Station : El-Bayadh		période : moyennes de 1998-2008			
Altitude : 1341 m		latitude : 33°40 N		longitude : 01°00 E	
Mois	Temp Moy C°	Humidité %	Vent m/s	Insolation h/j	Pluie mm
Janvier	4.71	68.09	2.4	6.06	21.80
Février	6.47	60.73	2.7	7.11	17.35
Mars	10.53	49.73	3.2	8.13	14.75
Avril	13.75	44.27	3.7	9.37	18.95
Mai	18.25	41.09	3.5	9.97	23.50
Juin	24.44	28.73	3.4	10.29	11.65
Juillet	28.34	22.55	3.2	10.29	6.96
Août	27.25	26.55	3.1	10.24	12.22
Septembre	22.12	39.45	3.2	8.71	21.65
Octobre	16.76	50.18	2.8	7.89	38.16
Novembre	9.18	63.82	2.6	6.17	29.41
décembre	5.39	73.09	2.5	5.44	26.47

Station : Naâma		période : moyennes de 1998-2008			
Altitude : 1166 m		latitude : 33°16 N		longitude : 00°18 W	
Mois	Temp Moy C°	Humidité %	Vent m/s	Insolation h/j	Pluie mm
Janvier	5.89	66.55	2.35	7.01	11.15
Février	7.80	59.91	2.51	7.73	14.81
Mars	11.85	49.00	3.19	8.33	8.45
Avril	15.13	43.45	3.87	9.36	11.90
Mai	19.47	42.45	3.82	9.74	19.20
Juin	25.55	31.64	3.35	9.87	9.80
Juillet	29.15	26.18	3.28	9.62	5.31
Août	28.05	31.00	3.19	9.66	10.53
Septembre	23.09	43.09	3.03	8.41	25.55
Octobre	17.71	53.64	2.55	7.87	39.95
Novembre	17.71	64.18	2.47	6.83	22.54
décembre	6.62	71.09	2.52	6.29	13.57

Station : El-Oued		période : moyennes de 1998-2008			
Altitude : 64 m		latitude : 33°30 N		longitude : 06°47 E	
Mois	Temp Moy C°	Humidité %	Vent m/s	Insolation h/j	Pluie mm
Janvier	10.85	66.55	2.19	7.82	17.25
Février	13.02	55.91	2.63	8.80	1.90
Mars	17.71	46.73	3.44	8.90	2.66
Avril	21.85	42.45	4.17	9.40	5.70
Mai	26.80	38.27	4.25	10.11	4.18
Juin	31.25	33.64	3.87	11.16	1.45
Juillet	34.29	31.27	3.57	11.39	0.25
Août	33.83	35.36	3.19	11.03	3.42
Septembre	29.27	45.82	3.20	8.81	5.76
Octobre	24.16	53.27	2.45	8.45	10.79
Novembre	16.45	59.64	2.15	7.63	10.30
décembre	11.71	67.82	2.35	7.23	10.09

Station : Ghardaïa		période : moyennes de 1998-2008			
Altitude : 468 m		latitude : 31°24 N		longitude : 03°48 E	
Mois	Temp Moy C°	Humidité %	Vent m/s	Insolation h/j	Pluie mm
Janvier	10.95	56.64	3.31	8.04	12.21
Février	13.06	45.91	3.60	8.88	2.14
Mars	6.88	34.91	4.05	9.00	5.53
Avril	21.45	32.73	4.63	9.84	7.41
Mai	26.18	29.45	4.29	10.41	1.45
Juin	31.12	24.91	3.80	10.79	1.17
Juillet	34.65	21.64	3.45	10.92	1.87
Août	33.83	25.27	3.27	10.47	8.58
Septembre	29.06	35.18	3.52	8.70	18.25
Octobre	23.70	43.73	3.04	8.38	10.44
Novembre	16.05	51.36	3.14	7.92	7.16
décembre	11.52	57.73	3.57	7.53	10.50

Station : Bechar		période : moyennes de 1998-2008			
Altitude : 809 m		latitude : 31°30 N		longitude : 02°15 W	
Mois	Temp Moy C°	Humidité %	Vent m/s	Insolation h/j	Pluie mm
Janvier	11.65	58.45	4.45	8.50	5.76
Février	13.44	48.82	4.99	9.01	6.14
Mars	17.71	40.91	5.22	9.50	2.48
Avril	21.44	37.00	6.64	10.50	4.66
Mai	26.60	33.36	7.05	11.28	7.05
Juin	31.51	27.64	6.48	11.18	4.57
Juillet	34.58	26.09	5.37	10.48	0.86
Août	34.07	29.18	5.18	10.37	5.22
Septembre	29.00	40.00	5.85	8.80	14.40
Octobre	23.90	47.18	4.46	8.57	22.86
Novembre	16.75	54.55	4.35	8.13	7.81
décembre	12.45	61.64	4.19	8.08	7.69

Station : Ouargla		période : moyennes de 1996-2013			
Altitude : 144 m		latitude : 31°56 N		longitude : 05°24 E	
Mois	Temp Moy C°	Humidité %	Vent m/s	Insolation h/j	Pluie mm
Janvier	11.7	61.40	2.71	7.73	6.24
Février	13.6	51.36	3.37	8.53	1.28
Mars	18.5	42.21	3.91	8.98	2.90
Avril	22.7	36.40	4.63	9.31	3.84
Mai	27.6	32.49	4.76	9.08	3.69
Juin	32.6	27.41	4.62	10.24	0.33
Juillet	35.7	24.86	4.09	10.97	0.22
Août	34.9	28.02	3.89	10.24	1.11
Septembre	30.4	38.25	4.11	8.55	3.84
Octobre	24.4	47.41	3.29	8.37	6.68
Novembre	17.0	52.74	2.89	7.82	5.83
décembre	12.6	60.91	2.72	6.57	1.88

Station : Adrar		période : moyennes de 1998-2008			
Altitude : 279 m		latitude : 27°49 N		longitude : 00°11 W	
Mois	Temp Moy C°	Humidité %	Vent m/s	Insolation h/j	Pluie mm
Janvier	12.92	38.36	6.01	9.01	3.22
Février	15.90	31.27	6.48	9.28	2.79
Mars	20.93	20.91	6.59	9.59	1.43
Avril	25.46	18.73	6.84	9.90	3.95
Mai	29.88	16.55	6.85	10.60	0.67
Juin	34.73	12.36	6.38	10.52	0.14
Juillet	37.73	10.45	6.55	9.96	0.02
Août	36.75	14.00	6.20	9.57	2.01
Septembre	33.33	21.45	5.91	8.36	2.17
Octobre	27.34	29.82	5.95	8.88	2.53
Novembre	18.96	36.45	5.61	8.34	3.05
décembre	13.81	41.73	5.77	8.43	0.24

Station : Illizi		période : moyennes de 1998-2008			
Altitude : 543 m		latitude : 26°30 N		longitude : 08°26 E	
Mois	Temp Moy C°	Humidité %	Vent m/s	Insolation h/j	Pluie mm
Janvier	12.35	46.55	2.85	8.24	3.28
Février	15.03	39.27	3.33	9.13	4.33
Mars	20.41	29.09	3.68	9.82	1.94
Avril	25.94	24.55	3.68	9.83	2.43
Mai	30.35	22.27	4.22	9.64	1.30
Juin	33.05	20.73	4.25	10.51	2.08
Juillet	33.87	18.27	4.17	11.68	0.00
Août	33.64	21.18	4.09	11.98	0.36
Septembre	32.00	25.45	3.75	8.99	2.52
Octobre	26.56	34.18	3.45	8.31	2.55
Novembre	19.53	37.82	2.95	8.34	0.50
décembre	14.15	45.00	2.65	8.32	2.48

Station : Tindouf		période : moyennes de 1998-2008			
Altitude : 443 m		latitude : 27°42 N		longitude : 08°10 W	
Mois	Temp Moy C°	Humidité %	Vent m/s	Insolation h/j	Pluie mm
Janvier	13.45	44.91	4.45	8.68	2.45
Février	15.94	41.73	4.99	8.97	9.75
Mars	20.09	34.36	5.22	9.59	2.67
Avril	22.90	35.09	6.64	10.70	0.24
Mai	25.48	34.18	7.05	11.40	0.52
Juin	30.80	28.36	6.27	10.77	0.04
Juillet	35.43	20.55	5.37	9.77	0.35
Août	34.42	24.00	5.18	9.42	5.71
Septembre	30.11	31.82	5.85	9.10	2.36
Octobre	24.96	40.55	4.46	8.53	12.64
Novembre	18.85	44.09	4.35	8.63	0.61
décembre	14.39	50.64	4.19	8.21	4.27

Station : Tamanrasset		période : moyennes de 1998-2008			
Altitude : 1362 m		latitude : 22°48 N		longitude : 05°26 E	
Mois	Temp Moy C°	Humidité %	Vent m/s	Insolation h/j	Pluie mm
Janvier	12.74	23.82	3.05	9.18	0.76
Février	14.62	22.18	3.38	9.87	1.93
Mars	18.75	17.91	3.83	9.90	3.05
Avril	23.94	15.18	4.15	9.62	0.26
Mai	27.29	15.45	4.32	9.50	0.76
Juin	29.14	17.45	4.20	8.15	10.45
Juillet	29.73	17.00	4.39	9.66	6.68
Août	29.18	22.45	3.97	8.69	12.82
Septembre	27.94	23.00	3.76	7.95	5.27
Octobre	23.52	24.91	3.50	9.15	11.60
Novembre	17.82	24.55	2.54	9.30	0.21
décembre	14.40	25.55	2.51	8.93	1.06

Source : ONM Alger, 2015

Station : Laghouat		période : 1988-2007			
Altitude : 765 m		latitude : 33°46 N		longitude : 02°56 E	
Mois	Temp Moy C°	Humidité %	Vent km/j	Insolation h/j	Pluie mm
Janvier	10.7	65	112.3	5.85	43
Février	12.0	65	233.3	7.06	57
Mars	15.0	61	172.8	7.99	38
Avril	16.7	59	233.3	8.84	40
Mai	21.4	58	233.3	9.58	34
Juin	27.1	50	302.4	10.16	11
Juillet	29.9	48	302.4	10.27	2
Août	29.5	46	233.3	9.75	3
Septembre	25.1	51	172.8	8.95	10
Octobre	20.4	64	172.8	7.66	50
Novembre	15.2	65	172.8	6.53	54
décembre	12.0	74	172.8	5.82	60

Annexe 6

wilaya					
Adrar	Irrigation brute totale	4514.5 mm	Précipitations totales	22.1 mm	
	Irrigation nette totale	3160.2 mm	Précipitations efficaces	19.1 mm	
	Pertes totales d'irrigation	0.0 mm	Pertes totales de précipitations	3.0 mm	
	Utilisation réelle d'eau par culture	3192.7 mm	Déficit d'eau à la récolte	13.4 mm	
	Utilisation potentielle d'eau par culture	3192.7 mm	Besoins en eau réels	3173.6mm	
	Efficienc e calendrier d'irrigation	100.0 %	Efficienc e des précipitations	86.5 %	
	Inefficacit é calendrier d'irrigation	0.0 %			
Bechar	Irrigation brute totale	3016.1 mm	Précipitations totales	89.6 mm	
	Irrigation nette totale	2111.3 mm	Précipitations efficaces	80.2 mm	
	Pertes totales d'irrigation	0.0 mm	Pertes totales de précipitations	9.4 mm	
	Utilisation réelle d'eau par culture	2251.0 mm	Déficit d'eau à la récolte	59.6 mm	
	Utilisation potentielle d'eau par culture	2251.0 mm	Besoins en eau réels	2170.8mm	
	Efficienc e calendrier d'irrigation	100.0 %	Efficienc e des précipitations	89.6 %	
	Inefficacit é calendrier d'irrigation	0.0 %			
Biskra	Irrigation brute totale	2537.9 mm	Précipitations totales	136.8 mm	
	Irrigation nette totale	1776.5 mm	Précipitations efficaces	132.1 mm	
	Pertes totales d'irrigation	0.0 mm	Pertes totales de précipitations	4.7 mm	
	Utilisation réelle d'eau par culture	1913.5 mm	Déficit d'eau à la récolte	4.9 mm	
	Utilisation potentielle d'eau par culture	1913.5 mm	Besoins en eau réels	1781.5mm	
	Efficienc e calendrier d'irrigation	100.0 %	Efficienc e des précipitations	96.6 %	
	Inefficacit é calendrier d'irrigation	0.0 %			
El-Oued	Irrigation brute totale	2061.9 mm	Précipitations totales	74.1 mm	
	Irrigation nette totale	1443.3 mm	Précipitations efficaces	68.1 mm	
	Pertes totales d'irrigation	0.0 mm	Pertes totales de précipitations	6.0 mm	
	Utilisation réelle d'eau par culture	1565.0 mm	Déficit d'eau à la récolte	53.6 mm	
	Utilisation potentielle d'eau par culture	1565.0 mm	Besoins en eau réels	1496.9mm	
	Efficienc e calendrier d'irrigation	100.0 %	Efficienc e des précipitations	91.9 %	
	Inefficacit é calendrier d'irrigation	0.0 %			
Ghardaï a	Irrigation brute totale	2044.7 mm	Précipitations totales	258.1 mm	
	Irrigation nette totale	1431.3 mm	Précipitations efficaces	229.8 mm	
	Pertes totales d'irrigation	0.0 mm	Pertes totales de précipitations	28.3 mm	
	Utilisation réelle d'eau par culture	1712.4 mm	Déficit d'eau à la récolte	51.4 mm	
	Utilisation potentielle d'eau par culture	1712.4 mm	Besoins en eau réels	1482.6mm	
	Efficienc e calendrier d'irrigation	100.0 %	Efficienc e des précipitations	89.0 %	
	Inefficacit é calendrier d'irrigation	0.0 %			
sud Algérie	Irrigation brute totale	2932.8 mm	Précipitations totales	23.6 mm	
	Irrigation nette totale	2052.9 mm	Précipitations efficaces	22.7 mm	
	Pertes totales d'irrigation	0.0 mm	Pertes totales de précipitations	0.8 mm	
	Utilisation réelle d'eau par culture	2108.8 mm	Déficit d'eau à la récolte	33.1 mm	
	Utilisation potentielle d'eau par culture	2108.8 mm	Besoins en eau réels	2086.0mm	
	Efficienc e calendrier d'irrigation	100.0 %	Efficienc e des précipitations	96.5 %	
	Inefficacit é calendrier d'irrigation	0.0 %			
Illizi					

Hauts Plateaux	Ouargla	Irrigation brute totale	2627.1 mm	Précipitations totales	37.7 mm
		Irrigation nette totale	1839.0 mm	Précipitations efficaces	34.0 mm
		Pertes totales d'irrigation	0.0 mm	Pertes totales de précipitations	3.6 mm
		Utilisation réelle d'eau par culture	1878.3 mm	Déficit d'eau à la récolte	5.3 mm
		Utilisation potentielle d'eau par culture	1878.3 mm	Besoins en eau réels	1844.3 mm
		Efficienc e calendrier d'irrigation	100.0 %	Efficienc e des précipitations	90.4 %
	Tamanra sset	Irrigation brute totale	2798.2 mm	Précipitations totales	55.0 mm
		Irrigation nette totale	1958.8 mm	Précipitations efficaces	51.7 mm
		Pertes totales d'irrigation	0.0 mm	Pertes totales de précipitations	3.3 mm
		Utilisation réelle d'eau par culture	2066.4 mm	Déficit d'eau à la récolte	55.9 mm
		Utilisation potentielle d'eau par culture	2066.4 mm	Besoins en eau réels	2014.7 mm
		Efficienc e calendrier d'irrigation	100.0 %	Efficienc e des précipitations	94.0 %
Tindouf	Irrigation brute totale	3452.4 mm	Précipitations totales	41.9 mm	
	Irrigation nette totale	2416.6 mm	Précipitations efficaces	33.2 mm	
	Pertes totales d'irrigation	0.0 mm	Pertes totales de précipitations	8.7 mm	
	Utilisation réelle d'eau par culture	2466.9 mm	Déficit d'eau à la récolte	17.1 mm	
	Utilisation potentielle d'eau par culture	2466.9 mm	Besoins en eau réels	2433.8 mm	
	Efficienc e calendrier d'irrigation	100.0 %	Efficienc e des précipitations	79.3 %	
Batna	Irrigation brute totale	1143.3 mm	Précipitations totales	316.2 mm	
	Irrigation nette totale	800.3 mm	Précipitations efficaces	295.8 mm	
	Pertes totales d'irrigation	0.0 mm	Pertes totales de précipitations	20.4 mm	
	Utilisation réelle d'eau par culture	1106.0 mm	Déficit d'eau à la récolte	9.9 mm	
	Utilisation potentielle d'eau par culture	1106.0 mm	Besoins en eau réels	810.2 mm	
	Efficienc e calendrier d'irrigation	100.0 %	Efficienc e des précipitations	93.6 %	
Djelfa	Irrigation brute totale	1258.3 mm	Précipitations totales	269.1 mm	
	Irrigation nette totale	880.8 mm	Précipitations efficaces	263.0 mm	
	Pertes totales d'irrigation	0.0 mm	Pertes totales de précipitations	6.1 mm	
	Utilisation réelle d'eau par culture	1177.3 mm	Déficit d'eau à la récolte	33.5 mm	
	Utilisation potentielle d'eau par culture	1177.3 mm	Besoins en eau réels	914.3 mm	
	Efficienc e calendrier d'irrigation	100.0 %	Efficienc e des précipitations	97.7 %	
El-Bayadh	Irrigation brute totale	1334.2 mm	Précipitations totales	243.4 mm	
	Irrigation nette totale	934.0 mm	Précipitations efficaces	234.2 mm	
	Pertes totales d'irrigation	0.0 mm	Pertes totales de précipitations	9.2 mm	
	Utilisation réelle d'eau par culture	1222.8 mm	Déficit d'eau à la récolte	54.7 mm	
	Utilisation potentielle d'eau par culture	1222.8 mm	Besoins en eau réels	988.7 mm	
	Efficienc e calendrier d'irrigation	100.0 %	Efficienc e des précipitations	96.2 %	
Khenche la	Irrigation brute totale	975.6 mm	Précipitations totales	475.6 mm	
	Irrigation nette totale	682.9 mm	Précipitations efficaces	428.1 mm	
	Pertes totales d'irrigation	0.0 mm	Pertes totales de précipitations	47.6 mm	
	Utilisation réelle d'eau par culture	1126.4 mm	Déficit d'eau à la récolte	15.4 mm	
	Utilisation potentielle d'eau par culture	1126.4 mm	Besoins en eau réels	698.3 mm	
	Efficienc e calendrier d'irrigation	100.0 %	Efficienc e des précipitations	90.0 %	
	Inefficacit é calendrier d'irrigation	0.0 %			

Laghouat	Irrigation brute totale	1071.5 mm	Précipitations totales	402.0 mm
	Irrigation nette totale	750.0 mm	Précipitations efficaces	364.9 mm
	Pertes totales d'irrigation	0.0 mm	Pertes totales de précipitations	37.1 mm
	Utilisation réelle d'eau par culture	1125.8 mm	Déficit d'eau à la récolte	10.9 mm
	Utilisation potentielle d'eau par culture	1125.8 mm	Besoins en eau réels	760.9 mm
	Efficienc e calendrier d'irrigation	100.0 %	Efficienc e des précipitations	90.8 %
Naâma	Irrigation brute totale	1514.7 mm	Précipitations totales	193.3 mm
	Irrigation nette totale	1060.3 mm	Précipitations efficaces	185.7 mm
	Pertes totales d'irrigation	0.0 mm	Pertes totales de précipitations	7.6 mm
	Utilisation réelle d'eau par culture	1259.4 mm	Déficit d'eau à la récolte	13.4 mm
	Utilisation potentielle d'eau par culture	1259.4 mm	Besoins en eau réels	1073.7 mm
	Efficienc e calendrier d'irrigation	100.0 %	Efficienc e des précipitations	96.1 %
Tébessa	Irrigation brute totale	835.8 mm	Précipitations totales	381.8 mm
	Irrigation nette totale	585.0 mm	Précipitations efficaces	378.7 mm
	Pertes totales d'irrigation	0.0 mm	Pertes totales de précipitations	3.1 mm
	Utilisation réelle d'eau par culture	1084.6 mm	Déficit d'eau à la récolte	120.8 mm
	Utilisation potentielle d'eau par culture	1084.6 mm	Besoins en eau réels	705.9 mm
	Efficienc e calendrier d'irrigation	100.0 %	Efficienc e des précipitations	99.2 %
	Inefficacit e calendrier d'irrigation	0.0 %		