

Nouvelle approche d'estimation des prélèvements d'eau d'irrigation à partir des ressources souterraines : cas de la nappe côtière du Gharb

Malika KILI¹, Bouabid EL MANSOURI¹, Abdelilah TAKY² & Jamal CHAO¹

1. Université Ibn Tofail, Faculté des Sciences, Laboratoire des Géosciences Appliquées, Equipe « Technologies des Ressources en Eau », BP. 133, 14000 Kénitra, Maroc. e-mail : m_kili@hotmail.com

2. Office Régional de Mise en Valeur Agricole du Gharb, Kénitra, Maroc.

Résumé. Ce travail expose une synthèse des ressources hydriques destinées à l'irrigation dans la plaine du Gharb. L'évaluation des prélèvements par pompages privés dans la nappe côtière, associée à un bilan des eaux mobilisées à partir du réseau superficiel, ont été réalisés dans le but de mettre l'accent sur la nécessité d'une gestion durable des ressources en eau de la région. La méthodologie adoptée est basée sur l'estimation des besoins en eau des cultures irriguées par les eaux souterraines. Cette approche a permis de quantifier de manière indirecte le volume théorique d'eau soutiré à la nappe durant une année sèche (1999). Le résultat a montré que pour une superficie de 48 669 ha, les besoins nets d'irrigation sont de 213 Mm³/an. L'application d'une efficacité globale de 45% a porté ce chiffre à 462 Mm³/an. Tenant compte des différences de superficies, ce volume est dans le même ordre de grandeur que la quantité mobilisée durant la même période et pour la même activité à partir du réseau superficiel. L'importance de ces prélèvements montre que l'expansion de l'agriculture dans cette zone expose la nappe côtière à une surexploitation risquée.

Mots clés : Maroc, plaine du Gharb, ressources hydriques, besoins en eau des cultures, demande en eau d'irrigation.

A new approach of the evaluation of the irrigation waters from subterranean resources: the case of the Gharb coastal plain.

Abstract. This work exposes a synopsis of the hydric resources intended for the irrigation in the Gharb plain. Evaluation of the withdrawal by private pumping of the coastal underground waters, associated to an assessment of the water mobilized from the hydrographic network were carried out with the aim of stressing the need for a sustainable management of the water resources of the area. The adopted methodology is based on the computation of water requirements of crop irrigated by underground waters. This approach made it possible to quantify in an indirect way the theoretical volume of levied water during one dry year (1999). The results showed that for a surface of 48 669 ha, the net irrigation water requirements are evaluated to 213 Mm³/y. The application of a total efficiency of 45 % raised this volume to 462 Mm³/y. Taking account of the surface differences, this volume is in the same order of magnitude as the quantity mobilized during the same period and for the same activity starting from the hydrographic network. The importance of these withdrawals shows that the agriculture expansion in this area, exposes the coastal underground waters to a risky overexploitation.

Key words : Morocco, Gharb plain, crop water requirements, irrigation water requirements, underground waters, surface waters.

INTRODUCTION

La plaine du Gharb est située sur la façade atlantique nord du Maroc (Fig. 1). S'étendant sur une superficie de 4 200 km², elle comporte une bande de dunes côtières le long de la marge océanique et la plaine proprement dite. L'oued Sebou constitue avec ses affluents le principal cours d'eau dont le débit irrégulier est d'une moyenne de 137 m³/s (Ministère de l'Aménagement du Territoire 1999 a). Les ressources souterraines sont constituées de deux nappes :

- la première est la nappe phréatique peu profonde, localisée dans les sols récents et dans les argiles limoneuses quaternaires au centre de la plaine ; elle présente une profondeur variant entre 8 et 15 m ; cette nappe est peu exploitée à cause de son faible débit et de sa teneur en sels élevée en rapport avec une faible circulation (Combe 1975) ;
- la seconde nappe, qui fait l'objet de cette étude, présente généralement une bonne qualité chimique de l'eau (El Mahmoudi *et al.* 2003) ; ses aquifères d'âge pliocène et quaternaire peuvent atteindre 250 m de profondeur et sont de nature variable.

Cette disponibilité des ressources hydriques, associée à la nature humide du climat et à l'étendue des terres fertiles, ont fait de l'agriculture la vocation économique de la

région. En effet, le Gharb englobe le périmètre irrigué le plus important du pays, avoisinant 107 000 ha (Ministère de l'Aménagement du Territoire 1999 a). Le secteur irrigué en grande hydraulique dans la plaine est géré par l'Office Régional de Mise en Valeur Agricole du Gharb (ORMVAG). La zone côtière non encore aménagée est irriguée actuellement par le biais de pompages privés. Les quantités d'eau prélevées par ce secteur, en continuelle expansion, ne sont cependant pas chiffrées.

L'objectif de la présente étude est d'évaluer les prélèvements par pompages privés à partir des ressources souterraines. En effet, des données récentes concernant la nature des cultures et leurs superficies irriguées ont permis, par le biais du calcul des besoins en eau des cultures, d'estimer le volume théorique mobilisé. Les résultats de cette nouvelle approche permettent d'évaluer les prélèvements liés aux activités anthropiques et de combler les lacunes de données relatives aux exhaures de la nappe nécessaires à toute étude hydrogéologique. Par ailleurs, une comparaison de l'exploitation des deux ressources souterraines et superficielles met en évidence l'importance des volumes d'eau mobilisés par l'agriculture. Les écarts entre la demande nette en eau d'irrigation et la demande brute réellement appliquée à partir des deux ressources rend compte de la réalité de la gestion des ressources hydriques dans la région.

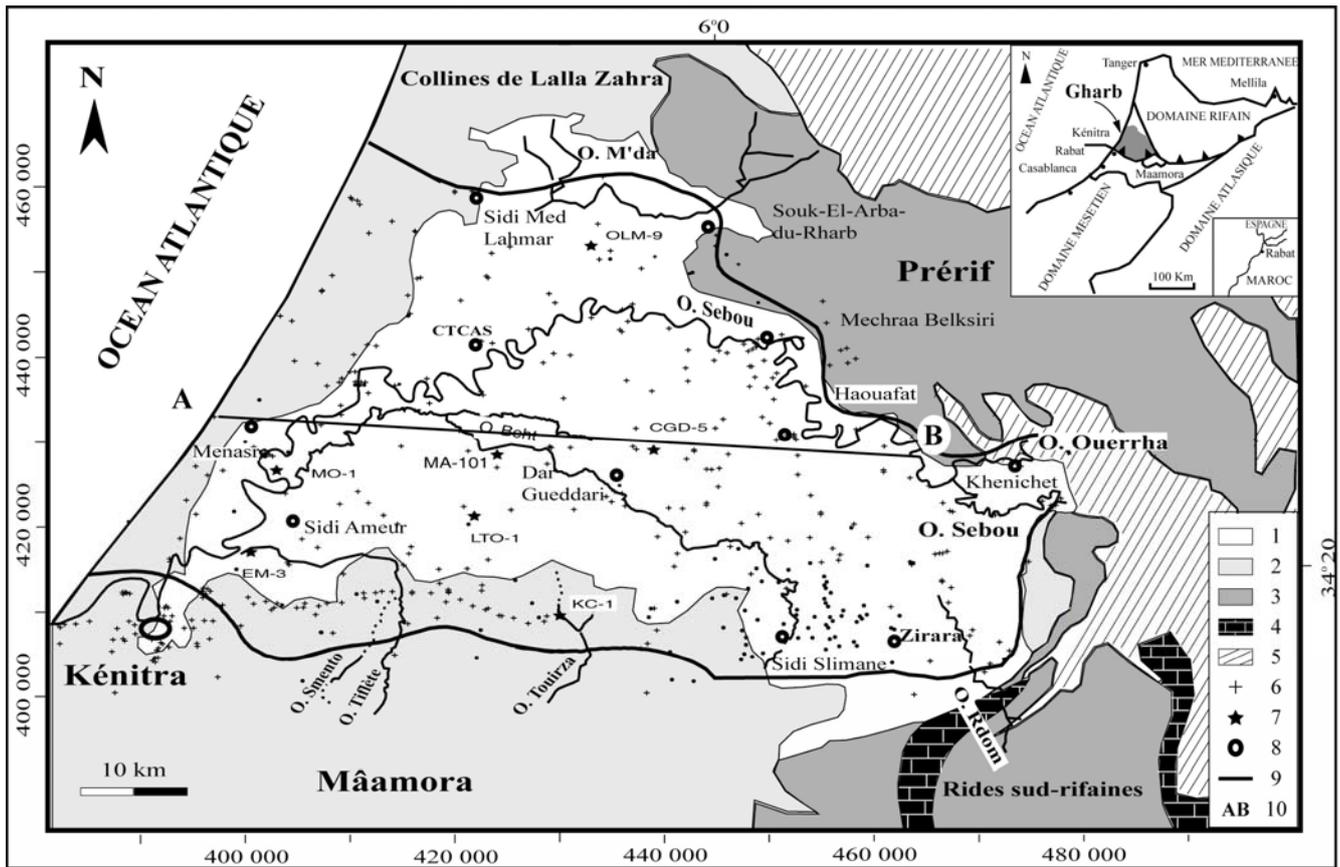


Figure 1. Contexte géologique et localisation des forages hydrogéologiques étudiés. 1, dépôts récents ; 2, Plio-Quaternaire ; 3, Miocène (marnes) ; 4, Jurassique, (Rides sud-rifaines) ; 5, Nappes pré-rifaines ; 6, forages hydrogéologiques ; 7, forages pétroliers ; 8, stations météorologiques ; 9, limite du secteur d'étude ; 10, position de la coupe figure 2.

CARACTERISTIQUES GEOLOGIQUES ET HYDROGEOLOGIQUES

Le bassin du Gharb correspond à une zone subsidente à remplissage mio-plio-quaternaire (Cirac 1985, Wernli 1987, Morel 1988, Flinch 1993). Les dépôts du Miocène et du Pliocène sont de nature marneuse (Cirac 1985, Wernli 1987, Litto *et al.* 2001). Ils constituent le substratum imperméable de la nappe profonde. Celle-ci circule dans des formations de nature et d'âge différents. Les aquifères du Pliocène supérieur comportent ainsi trois principaux faciès : des conglomérats d'origine fluvio-estuariens à l'entrée du bassin vers l'Est, des sables et des grès marins dans la partie centrale et des calcaires bioclastiques littoraux sur la bordure côtière (Combe 1975). Les aquifères du Quaternaire sont également variés. Ils correspondent à une sédimentation continentale caillouteuse interstratifiée de niveaux argileux et argilo-sableux occupant l'ensemble de la plaine jusqu'à la frange côtière où apparaissent des dépôts littoraux. Dans cette partie, les aquifères sont composés de biocalcarénites de sables et de grès dunaires (Aberkane 1985).

Une analyse des forages hydrogéologiques fournis par l'Administration de l'Hydraulique à l'échelle du bassin (Fig. 1), associée à l'interprétation des coupes géo-électriques (El Mansouri 1999), a permis de réaliser une coupe qui visualise l'architecture du système

hydrogéologique (Fig. 2). Il s'agit d'un système complexe, constitué d'une seule nappe, captive dans une grande partie de la plaine, et mise en charge sous une épaisse formation argileuse du Quaternaire supérieur (Soltanien – Rharbien). Sur les bordures occidentale et méridionale, les aquifères sablo-gréseux affleurent, la nappe devient libre en l'absence des dépôts argileux sommitaux. Les aquifères de la partie libre de la nappe sont rattachés aux aquifères captifs du fait qu'ils s'enfoncent sous la plaine et sont en continuité géologique et structurale avec les niveaux aquifères profonds et captifs sous d'épaisses formations argileuses. L'alimentation de cette nappe est assurée essentiellement par un écoulement en provenance de la région de Mâamora au Sud (Zouhri 2003), et par infiltration de précipitations à travers la zone côtière perméable (Combe 1975).

L'extension des aquifères côtiers et leur communication avec les aquifères profonds sous la plaine, associée à l'étendue des zones d'alimentation, reflètent l'importance des potentialités hydriques souterraines de la région. Toutefois, l'exploitation de ces ressources doit respecter l'équilibre naturel entre les apports et les sorties du système aquifère. Cet équilibre est d'autant plus fragile lorsque les périodes cycliques de sécheresse interrompent régulièrement les compensations naturelles. Un déséquilibre expose les aquifères de la zone côtière au risque d'une invasion saline qui constitue une menace réelle (El Mansouri 1999). L'impact et l'étendue de l'avancée du

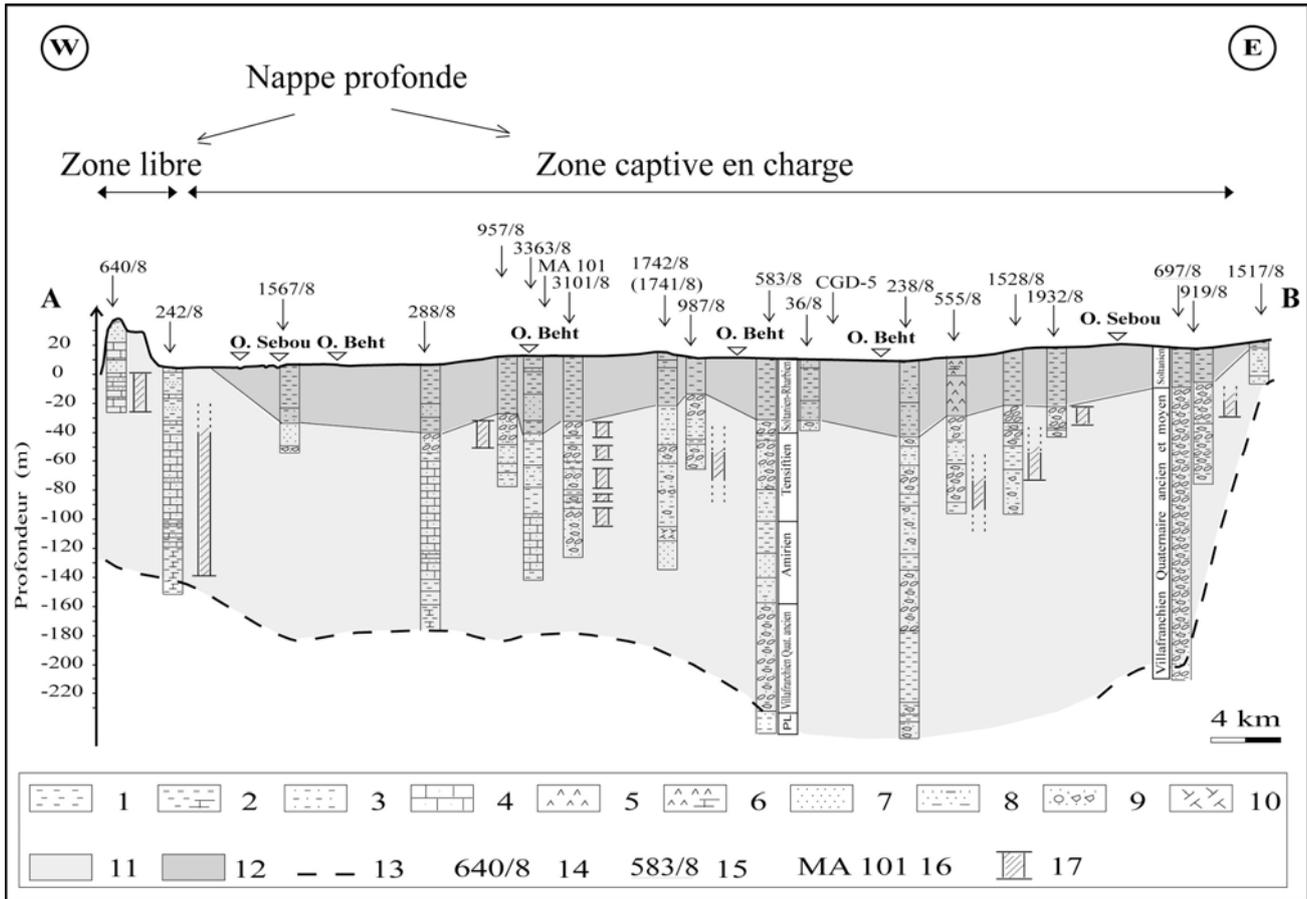


Figure 2. Coupe montrant les dépôts plio-quaternaires de la partie centrale de la plaine du Gharb et leur interprétation hydrogéologique simplifiée. 1, argiles ; 2, argiles avec passages gréseux ; 3, argiles sableuses ; 4, grès calcaires ; 5, marnes ; 6, marnes avec passages gréso-sableux ; 7, sables ; 8, sables argileux ; 9, sables, galets et graviers ; 10, tufs ; 11, système aquifère multicouche complexe (interstratifié de niveaux argileux), d'âge pliocène et quaternaire ancien et moyen ; 12, formation argileuse du Quaternaire supérieur, mettant en charge les aquifères profonds ; 13, toit du substratum imperméable ; 14, numéro des forages hydrogéologiques ; 15, forages datés (Combe 1975) ; 16, forages pétroliers ; 17, niveaux aquifères exploités d'après les données de l'A.D.H.

Tableau I. Ressources en eaux utilisées dans l'irrigation privée au niveau de la plaine du Gharb (ORMVAG 2003).

Source de l'eau	Nappe	Oueds	Oueds régularisés par barrages	Mixte	Superficie totale
Superficies irriguées (ha)	59 667	11 541	12 249	2 772	86 230
Pourcentage (%)	69	13	14	3	100

biseau salin sous la plaine et les conséquences néfastes qui en résulteraient sont encore inconnus.

METHODOLOGIE

La méthodologie adoptée a été basée dans un premier lieu sur l'exploitation des données sur l'occupation des sols pour les différentes cultures et la ressource en eau utilisée pour l'irrigation (Tab. I).

A l'échelle du Gharb, durant la campagne agricole 2000-2001, environ 86 000 ha sont concernés par une irrigation privée dont 60 000 ha utilisent des eaux exploitées à partir de la nappe et 24 000 ha sont irrigués à partir du réseau superficiel. Une superficie réduite de 3 000 ha est mixte, c'est à dire irriguée à la fois à partir des deux ressources. Ces chiffres révèlent l'étendue des super-

ficies exploitant les eaux souterraines, qui souligne par conséquent l'importance des volumes mobilisés par ce secteur. Aucune estimation concernant ce volume n'est disponible. Ceci nous a poussés à l'établissement d'un moyen d'évaluation indirect, basé sur l'estimation de la demande en eau d'irrigation utilisant le calcul des besoins en eau des cultures. En effet, des données détaillées concernant l'occupation des sols par les différents types de cultures, leur localisation ainsi que les superficies cultivées (ORMVAG 2003), ont permis de différencier dans le détail la majorité des cultures irriguées par pompage dans la nappe souterraine et celles se servant du réseau superficiel. Cette différenciation n'a pas posé de problème pour la zone côtière puisque celle-ci, non équipée, profite uniquement des ressources souterraines ayant permis l'installation d'une grande zone maraîchère. Pour la plaine alluviale les pompages dans la nappe profonde, sont moins importants et

sont destinés à des cultures de maraîchages et en complément des ressources superficielles pour des cultures d'agrumes (Ministère de l'Aménagement du Territoire 1999 b).

La détermination de toutes les données concernant les cultures irriguées à partir des ressources souterraines a permis dans un deuxième temps d'estimer les besoins en eau de chaque type de culture (30 types). Cette approche nécessite tout d'abord l'estimation de l'évapotranspiration de référence. Ce paramètre est évalué par des formules empiriques basées sur des données météorologiques. Les étapes successives et les formules appliquées sont développées dans le paragraphe suivant.

ESTIMATION DE LA DEMANDE EN EAU D'IRRIGATION DU SECTEUR PRIVE UTILISANT LES RESSOURCES SOUTERRAINES

La demande en eau d'irrigation a été estimée à partir des besoins nets en eau des différentes cultures. Les données climatiques correspondent à une année sèche (1999), dont le cumul pluviométrique à l'échelle de la plaine reste en dessous de 460 mm. La méthode et les formules appliquées

sont celles de Doorenbos & Pruitt (1986) et Allen *et al.* (1998).

L'évapotranspiration de culture (ETc) a été établie selon la relation (1), qui associe l'effet du climat sur l'évolution de la culture par le biais de l'évapotranspiration de la culture de référence (ET₀), et l'effet des caractéristiques culturales sur les besoins en eau des cultures par l'intégration du coefficient cultural (Kc) :

$$ETc = Kc * ET_0 \quad (\text{mm}) \quad (1)$$

Les coefficients culturaux sont déterminés à l'échelle décadaire pour les différents stades du développement à partir d'un graphique associé à chaque type de culture (30 types). La valeur moyenne du coefficient cultural pendant la phase initiale est déterminée en fonction du niveau moyen de l'évapotranspiration de référence ET₀ (pendant la phase initiale), et de la fréquence de l'irrigation (10 jours), selon la méthodologie de Doorenbos & Pruitt (1986).

En utilisant les données climatiques disponibles (rayonnement, température, humidité, vitesse du vent), trois méthodes empiriques ont été testées pour l'estimation de l'évapotranspiration de référence pour l'année étudiée (1999) : Blaney-Criddle (*in* Doorenbos & Pruitt 1986),

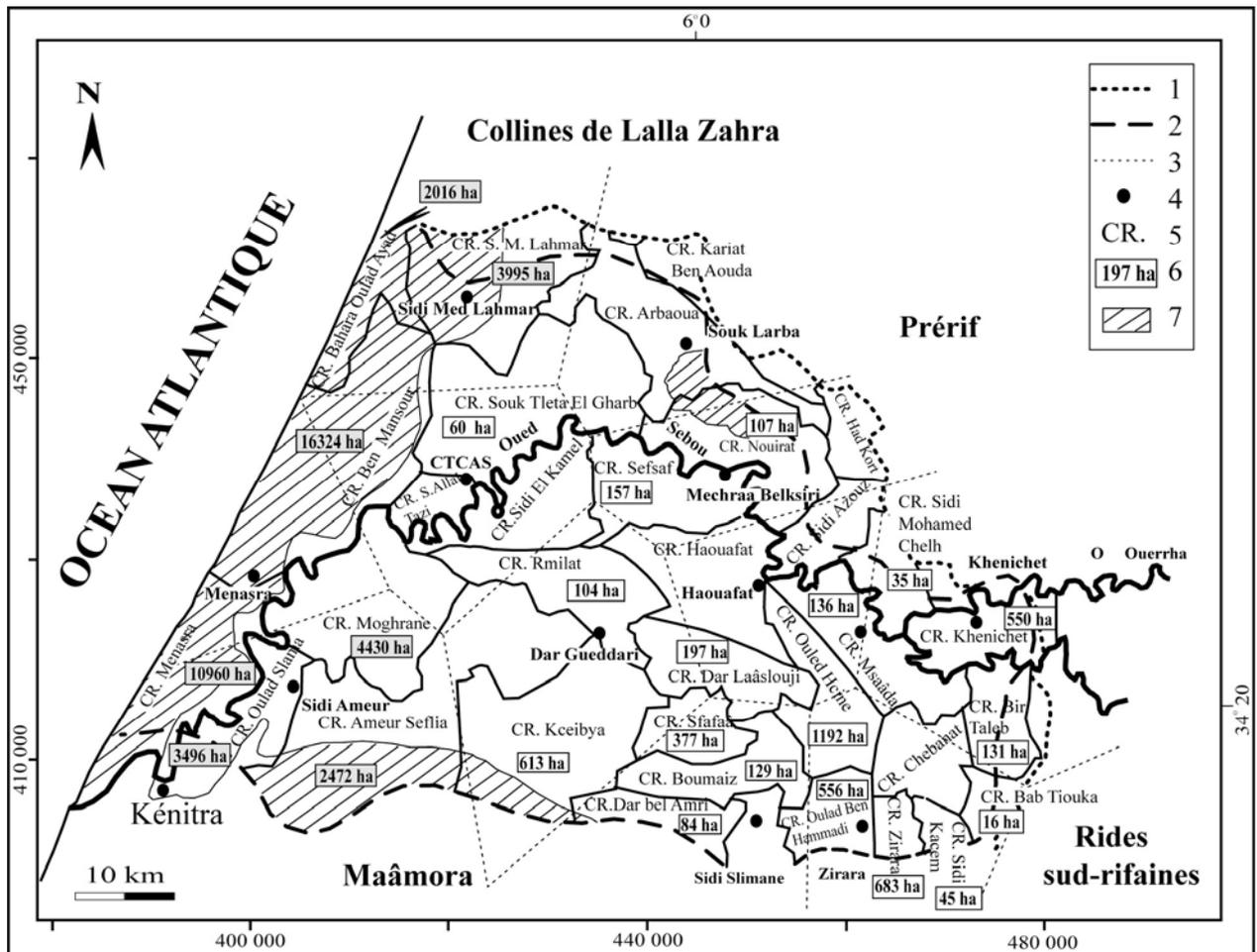


Figure 3. Répartition des superficies de cultures irriguées par pompages privés dans la nappe profonde. 1, limite du bassin hydrogéologique ; 2, limite de la mise en charge de la nappe profonde ; 3, polygones de Thiessen ; 4, stations météorologiques ; 5, centre régional ; 6, superficies des terres irriguées par pompages privés dans la nappe profonde d'après les données de l'ORMVAG (2003) ; 7, zones d'infiltration vers la nappe profonde d'après Combe (1975).

Hargreave & Samani (*in* Mohan 1991), et celle de Turc (*in* De Marsily 1986). Les calculs ont été effectués au niveau de 11 stations météorologiques couvrant la totalité de la plaine (Fig. 3), spatialisées par la méthode de Thiessen (EESD 2001).

Les résultats obtenus ont été comparés à des données de mesures expérimentales du bac (bac de classe A), dans la partie centrale de la plaine. Cette méthode expérimentale permet de mesurer l'effet intégré du rayonnement, du vent, de la température et de l'humidité sur l'évaporation à partir d'une surface d'eau libre. En agronomie, les résultats des mesures de bacs sont appréciés dans les estimations des besoins en eau des cultures (Doorenbos & Pruitt 1986). L'évaluation de l'évapotranspiration à partir de l'évaporation en bac se fait par le biais d'un coefficient dérivé empiriquement (K_p), qui dépend du climat, du type de bac et du milieu environnant selon la relation :

$$ET_0 = K_p * E_{bac} \quad (2)$$

où ET_0 est l'évapotranspiration de la culture de référence ;
 K_p est le coefficient d'évaporation en bac ;
 E_{bac} est l'évaporation en bac mesurée.

Pour des conditions expérimentales et climatiques similaires à celle de la plaine du Gharb Doorenbos & Pruitt (1986), proposent une valeur de 0.75 au coefficient K_p . Cette valeur est très proche des coefficients établis par régression linéaire entre les méthodes empiriques et les valeurs expérimentales de bac (bac de classe A), mesurées au niveau de la station de CTCAS.

$ET_{BICr} = 0.76 E_{bac}$; $R^2 = 0.92$; Erreur type = 9.41 (mm/mois)

$ET_{Harg} = 0.78 E_{bac}$; $R^2 = 0.91$; Erreur type = 11.46 (mm/mois)

$ET_{Turc} = 0.66 E_{bac}$; $R^2 = 0.99$; Erreur type = 4,20 (mm/mois)

$ET_{moy} = 0.80 E_{bac}$; $R^2 = 0.98$; Erreur type = 4.08 (mm/mois)

Nous avons opté pour la moyenne des trois méthodes empiriques qui semble correspondre au meilleur cas avec une sous-estimation de 20 % par rapport à la méthode expérimentale, une bonne corrélation (98 %) et une erreur type faible ; 4,08 mm/mois.

Les besoins nets d'irrigation ont été calculés selon la formule simplifiée (3), tenant compte de la balance entre l'évapotranspiration de culture comme perte d'eau et les précipitations efficaces comme gain. Celles-ci constituent la fraction des précipitations totales qui contribuent effectivement à couvrir les besoins en eau des cultures. Des pertes peuvent se produire par ruissellement de surface et par percolation profonde (Doorenbos & Pruitt 1986). L'une des méthodes empiriques de calcul, pratique un pourcentage fixe variant entre 70 et 90 % des précipitations totales (Smith 1992). Pour faciliter les calculs, les précipitations efficaces sont estimées dans ce travail, à 80 % des précipitations totales pour les différentes parties de la plaine. Ce chiffre est une valeur moyenne calculée d'après la méthode présentée par Doorenbos & Pruitt (1986), qui proposent des pourcentages pour des hauteurs de

précipitations mensuelles moyennes différentes en rapport avec l'évapotranspiration de culture mensuelle moyenne calculée pour chaque type de culture.

$$DNI = \Sigma ETc - \Sigma Peff \text{ (mm/an)} \quad (3)$$

où DNI est la dose nette d'irrigation (mm) ;
 ETc est l'évapotranspiration de culture (mm) ;
 $Peff$ sont les précipitations efficaces (mm).

Les besoins bruts en eau d'irrigation sont obtenus en tenant compte de l'efficacité globale du système d'irrigation. L'efficacité représente le volume réellement emmagasiné dans la zone racinaire disponible pour la culture par rapport au volume total appliqué au champ. Elle dépend des facteurs naturels liés aux caractéristiques pédologiques (texture), et climatiques (vitesse du vent pour l'aspersion), ainsi qu'à des facteurs techniques en relation avec le mode d'irrigation et la technicité de l'irriguant (Bazza 1991). Les mesures réelles de ce paramètre sont inconnues dans presque l'ensemble des périmètres irrigués du Maroc (Ben Rebiha 1996). Les pourcentages d'efficacité adoptés dans ce travail sont des valeurs appliquées par l'ORMVAG (2003), aux périmètres irrigués en grande hydraulique du Gharb.

$$DBI = DNI * (1/Ea) * S * 10 \text{ en m}^3/\text{an par superficie} \quad [Allen \text{ et al. (1998)}.] \quad (4)$$

où DBI est la dose brute d'irrigation (mm/an ou 10 m³/ha/an) ;

DNI est la dose nette d'irrigation (mm/an) ;

Ea est l'efficacité d'application de l'eau d'irrigation ;

S est la superficie cultivée (ha).

Dans le secteur privé utilisant les ressources souterraines, l'efficacité globale appliquée dans la plaine du Gharb est de 45 % (ORMVAG 2003, Ministère de l'Agriculture 2006). Ce pourcentage faible est dû à plusieurs facteurs liés aux techniques d'irrigation gravitaire (répandue à 88 % des superficies), mal adaptées à la nature sableuse du sol, notamment dans la zone côtière où les perméabilités élevées occasionnent des pertes importantes par percolation profonde. Par ailleurs, les contraintes économiques limitent l'expansion d'une agriculture moderne pratiquant une irrigation plus efficiente du point de vue économie d'eau (goutte à goutte). Les superficies concernées par ce type d'irrigation sont limitées et les cultures peu variées. L'efficacité adoptée dans ce cas est de 90 % (Bazza 1982).

RESULTATS ET DISCUSSION

Durant l'année sèche 1999, les besoins nets en eau des superficies irriguées à partir des ressources souterraines dans la zone étudiée (48 669 ha), ont été chiffrés à 213 Mm³ (Tab. III). L'application de l'efficacité globale a élevé les besoins bruts à 462 Mm³/an (Tab. III). Des travaux antérieurs (Ben Rebiha 1996), ont estimé la demande théorique en eau d'irrigation pour les quatre périmètres irrigués en grande hydraulique à partir du réseau superficiel (Fig. 4). Les besoins nets moyens annuels pour le périmètre le plus étendu (35 858 ha), sont de 179,3 Mm³. Compte tenu des différences de superficie, ce chiffre se rapproche

Tableau II. Exemple de calcul des besoins en eau de la tomate du printemps (commune, Moghrane ; station météorologique, Sidi Ameer).

Tomate (1884 ha)	P. eff. (mm)	Et ₀ (mm)	Kc moyenne	Etc (mm) formule 1	DNI (mm) formule 2	DBI mensuelle (m ³ /ha) formule 4	DBI par superf. de culture (m ³)
Mars	35,61	85,74	0,44	37,73	2,11	46,93	
Avril	28,84	102,26	0,74	76,01	47,17	1048,22	
Mai	18,44	139,95	1,05	146,95	128,51	2855,72	
Juin	2,58	149,22	1,02	152,20	149,63	3325,01	
Juillet	0,00	180,62	0,70	125,83	125,83	2796,28	
Total					453,25	10072,17	18975963,03

Tableau III. Exemple de calcul des besoins nets et bruts des superficies des cultures irriguées à partir des ressources souterraines et totaux concernant l'ensemble de la plaine du Gharb (pour la tomate sont prises en compte les deux saisons printemps et automne).

Province de Kénitra	Cultures	Superficies (ha)	DNI annuelle (mm) formule (2)	DNI an. en m ³ par superficie (=DNI*10*superf.)	DBI annuelle (m ³ /ha) (= DNI*10/0,45)	DBI an. en m ³ par superficie formule (3) *10
C. Moghrane						
Station Météo. Sidi Ameer	Tomate	1884	813,37	15323817,18	18074,80	34052927,07
	Maïs	720	603,70	4346657,80	13415,61	9659239,56
x: 410 000	Betterave	246	365,99	900326,03	8133,03	2000724,50
y: 430 000	C. à sucre	18	851,96	153352,54	18932,41	340783,41
Totaux pour l'ensemble de la plaine		48668,75 (ha)		214 Mm³		462 Mm³

Tableau IV. Bilan total des eaux mobilisées pour l'irrigation à partir des ressources souterraines dans la plaine du Gharb pour l'année 1999.

Superficie totale	DNI annuelle	DBI annuelle	Plaine Volume drainé ou infiltré (nappe phréatique)	Zone côtière Vol. infiltré par percolation profonde (45 % de DBI côtière)	Volume prélevé (DBI- percol)
48669 ha	213 Mm ³	462 Mm ³	86 Mm ³	130 Mm ³	332 Mm ³

de l'estimation effectuée dans ce travail (213 Mm³/an). Toutefois l'application d'une efficacité de 60 % pour le périmètre irrigué en grande hydraulique, supérieur à celle appliquée pour le secteur privé (45 %), a augmenté l'écart entre les besoins bruts.

Le résultat de la demande brute en eau d'irrigation des superficies qui exploitent les ressources souterraines est un volume calculé théoriquement qui devrait être totalement soutiré à la nappe profonde. Une fraction de cette eau constitue le retour d'irrigation qui désigne la quantité d'eau qui retourne vers la nappe par percolation profonde. Cette fraction d'eau fait partie des pertes liées à l'efficacité globale et dépend de la perméabilité du sol (Doorebos & Pruitt 1986). En absence d'une estimation directe, nous avons assimilé le taux de percolation profonde liée à l'irrigation à celui résultant des précipitations durant une période humide. Ceci nous a permis d'appliquer un taux moyen annuel de percolation profonde de 45 % calculé dans la zone côtière par la méthode du bilan hydrique des sols (El Mansouri 1999). L'application de ce pourcentage a permis de chiffrer le retour d'irrigation à 130 Mm³/an. Ce retour ne se produit que dans les zones d'infiltration couvertes de sols perméables situées dans la zone côtière et

en partie au sud (Fig. 3). Le bilan entre les prélèvements liés à l'agriculture, et le retour par percolation profonde à travers la zone côtière, a permis de chiffrer une sortie de 332 Mm³/an (Tab. IV). Par ailleurs, cette zone côtière, considérée comme l'une des principales sources d'alimentation naturelle de la nappe profonde, n'a reçu durant l'année en question, qu'un volume pluviométrique moyen de 200 Mm³ calculé d'après les données des stations météorologiques de la région. Pour la plaine proprement dite, la nature imperméable des sols et la proximité de la nappe phréatique empêchent la percolation profonde (ORMVAG 1994, 1996). Les eaux non consommées par les cultures estimées à 86 Mm³ sont généralement drainées artificiellement vers les oueds pour éviter l'engorgement des sols. Ces chiffres montrent qu'une exploitation soutenue à ce rythme élevé durant une période de plusieurs années consécutives de sécheresse conduirait à un déséquilibre irréversible. En effet, une période de stress hydrique se manifeste en général sur la nappe par une baisse du niveau piézométrique auquel s'ajoute le risque dans les zones côtières d'une avancée vers le continent du biseau salin. La structure du système aquifère et la subsidence au centre de la plaine du Gharb favorise l'intrusion saline (Ambroggi *et*

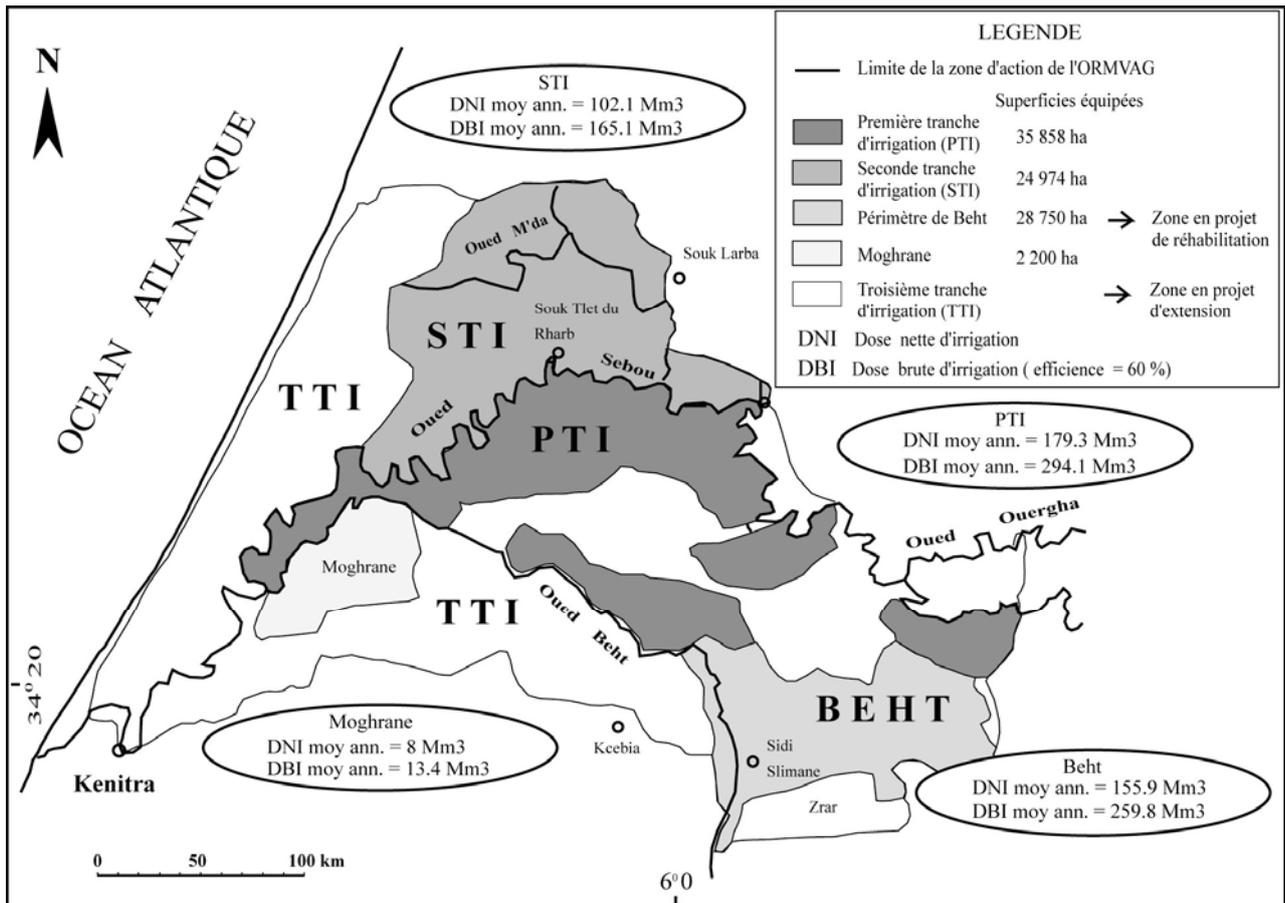


Figure 4. Situation d'équipement hydro-agricole (ORMVAG 1995), et besoins nets théoriques des principales cultures irriguées en grande hydraulique (synthésisés d'après les travaux de Ben Rebiha 1996).

al. 1960). Des études plus récentes dans la zone côtière (El Mansouri 1999), ont montré que les oscillations de la surface piézométrique sont inversement corrélables avec l'interface eau douce – eau salée. Une baisse de la surface piézométrique provoquerait inévitablement une avancée de cette interface vers l'intérieur des terres. Ce phénomène s'est déjà produit dans un bassin au Sud de l'Espagne dont la structure du système hydrogéologique présente beaucoup de similitudes avec le Gharb. Une surexploitation a provoqué dans cette région une invasion saline qui a affecté la majorité des sols (Pulido Bosch *et al.* 1992). Par ailleurs, Selon un rapport récent établi par le Ministère de l'Agriculture (2006), le potentiel des ressources en eau à l'échelle du pays est considérablement revu à la baisse. Le Maroc fait partie d'ores et déjà des pays qui frôlent la pénurie hydrique. L'ensemble de ces observations nous interpelle à une réflexion sur une gestion économique des ressources en eau dans le domaine de l'agriculture. Ceci impose entre autres en ce qui concerne le Gharb, une révision des techniques d'irrigation, en particulier dans le secteur privé visant à améliorer les efficacités. L'équipement de la zone côtière (non encore réalisé) permettra d'associer l'usage des eaux souterraines et superficielles et préservera cette zone d'une surexploitation risquée.

EAUX MOBILISEES POUR L'IRRIGATION A PARTIR DU RESEAU SUPERFICIEL

Dans la plaine du Gharb, l'irrigation à partir des oueds se fait par l'intermédiaire des stations de pompage situées le long des oueds Sebou et Beht (Fig. 4). L'acheminement des eaux vers les terres irriguées se fait par un réseau de canalisation qui dessert le secteur équipé, procédant à des prélèvements directs par pompage à partir des oueds régularisés par les barrages (complexe Idriss 1^{er} sur le haut Sebou et barrage El Kansera sur l'oued Beht).

Le bilan des eaux mobilisées à partir des oueds pour l'irrigation (Tab. V), est présenté ici à titre comparatif par rapport aux ressources mobilisées par la même activité puisant dans les ressources souterraines. Par rapport à la recharge des nappes souterraines, cette irrigation ne profite guère à la recharge de la nappe profonde car les périmètres irrigués par les oueds sont localisés dans des zones imperméables (Fig. 3). La percolation profonde pouvant résulter de cette activité, n'intéresse que la nappe phréatique; d'ailleurs, la proximité de celle-ci associée à la faible perméabilité des sols et à l'absence de drainage naturel, a imposé l'installation d'un réseau de drainage souterrain et d'un réseau d'assainissement pour l'évacuation des excès d'eau (Hammani 2002).

Le bilan proposé (Tab. V), a été établi à partir de données relatives aux campagnes agricoles pour la période 1987-2002. Les quantités nettes consommées par les cultures ont été déduites des volumes mobilisés au départ en tenant compte de deux pourcentages d'efficacité :

- l'efficacité du réseau qui désigne le pourcentage d'eau effectivement disponible pour l'irrigation après les pertes durant le transport. Elle varie de 70 à 80 % pour le secteur équipé et estimé à 50 % pour le secteur privé (ORMVAG 2003) ;
- l'efficacité d'application de l'eau à la parcelle, qui correspond au volume net consommé par la culture; une partie de l'eau apportée par l'irrigation est perdue par drainage ou infiltration vers la nappe souterraine; le

pourcentage appliqué est de 55 % pour le secteur équipé et de 45 % pour le secteur privé (ORMVAG 2003).

Les résultats de cette approche montrent qu'entre les années 1991 et 2002, le volume global annuel mobilisé à partir des oueds et destiné à l'irrigation varie entre 527 Mm³ (1997) et 951 Mm³ (1998) pour des superficies respectives d'environ 58 000 et 83 000 ha. La moyenne annuelle est de 683 Mm³. Si l'on considère le volume total mobilisé pour l'irrigation sur quinze années (1987-2002), on constate que 36 % seulement de ce volume est utilisé effectivement par les cultures, les deux autres tiers constituent des pertes, partagées entre d'une part le transport, et d'autre part, le drainage et la percolation.

Tableau V. Bilan annuel des eaux superficielles mobilisées pour l'irrigation dans la plaine du Gharb.

Camp. agricole	Superficie irriguée (ha)		Superf. total irriguée (ha)	Volume mobilisé (Mm ³)		Efficacité globale		Volume net consommé par les cultures (Mm ³)		Volume net global consommé (Mm ³)	Volume global perdu (Mm ³)
	Secteur équipé	Secteur privé		Secteur équipé	Secteur privé	Sect. équ.	Sect. privé				
1987/88				428,8	146,8	0,42	0,23	179,2	33,0	212,3	363,3
1988/89				225,1	51,4	0,42	0,23	94,1	11,6	105,7	170,9
1989/90				250,9	60,4	0,42	0,23	104,9	13,6	118,5	192,8
1990/91				410,1	173,8	0,42	0,23	171,4	39,1	210,5	373,3
1991/92	45546	16136	61682	511,0	216,9	0,42	0,23	216,4	48,8	265,2	462,7
1992/93	59525	23514	83039	526,0	312,0	0,43	0,23	225,7	70,2	295,9	542,2
1993/94	43971	20339	64310	450,6	260,6	0,43	0,23	193,3	58,6	252,0	459,3
1994/95	56060	17940	74000	365,1	213,7	0,39	0,23	140,6	48,1	188,7	390,2
1995/96	41543	14030	55573	387,9	183,2	0,44	0,23	170,7	41,2	211,9	359,2
1996/97	57445	13979	71424	586,6	171,2	0,43	0,23	251,6	38,5	290,2	467,6
1997/98	43120	14535	57655	380,5	147,0	0,45	0,23	169,5	33,1	202,6	324,9
1998/99	66031	16952	82983	748,2	203,4	0,36	0,23	267,5	45,8	313,2	638,3
1999/00	62049	15892	77941	473,4	194,0	0,41	0,23	192,7	43,6	236,3	431,0
2000/01	46357	12249	58606	423,3	132,2	0,40	0,23	169,9	29,8	199,7	355,8
2001/02	54159	13763	67922	446,4	183,8	0,43	0,23	191,5	41,4	232,8	397,3
Total				9264,17 Mm³ mobilisé de 1987 à 2001						3335,31 Mm³ soit 36% consommé	5928,87 Mm³ soit 64% perdu

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

La zone côtière est dépourvue d'équipement hydro-agricole permettant d'accéder aux eaux du réseau superficiel. L'agriculture privée en continuelle expansion dans cette région se base sur l'exploitation des ressources souterraines. Les quantités prélevées dans la nappe sont inconnues. Une nouvelle approche a été appliquée afin d'évaluer ces prélèvements. Elle est basée l'exploitation des résultats d'une enquête récente précisant la nature des différents types de cultures leurs superficies ainsi que la ressource en eau utilisée. L'estimation des besoins en eau de chaque type de culture a permis la détermination de la demande en eau d'irrigation de l'ensemble du périmètre cultivé (48 669 ha), qui s'élève à 462 Mm³ (1999). Ce volume mobilisé à partir de la nappe profonde représente un

prélèvement annuel de 332 Mm³, compte tenu des quantités retournées par percolation profonde. Par ailleurs, un bilan sur 15 années portant sur les eaux mobilisées pour l'irrigation à partir du réseau hydrographique régularisé par les barrages, fournit une moyenne annuelle de 618 Mm³ dont le tiers seulement est consommé par les cultures. Des pertes considérables sont dues au cumul des efficacités.

Cette étude a permis d'estimer un paramètre inconnu du bilan de la nappe qui permettra aux hydrogéologues de quantifier les prélèvements liés aux activités anthropiques. Toutefois il faut envisager d'appliquer cette méthodologie pour des évaluations concernant une année humide et une année moyenne pour tenir compte de l'influence des variations climatiques. Une autre perspective vise à réaliser une modélisation mathématique de la nappe profonde qui

permettra de valider ou de réviser ces estimations. Par ailleurs, l'importance des volumes mobilisés de manière globale par l'agriculture doit impérativement inciter les pouvoirs publics à remettre en question les pratiques agricoles et les techniques d'irrigation. La préservation de ce vaste système hydrogéologique menacé par l'invasion saline impose une économie rigoureuse des ressources hydriques.

Remerciements

Nous remercions l'Administration de l'Hydraulique (ADH) et l'ORMVAG d'avoir mis à notre disposition les données utilisées dans ce travail. Nos remerciements s'adressent également à Mr Ilias Kacimi et l'évaluateur anonyme pour leurs remarques et suggestions constructives.

Références

- Aberkan M. 1985. *Etude des formations quaternaires des marges du bassin du Rharb (Maroc nord-occidental)*. Thèse d'Etat, Univ. Bordeaux I, France, 290 p.
- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D. & Smith M. 1998. Crop evapotranspiration. guidelines for computing crop water requirements. FAO irrigation and drainage paper, Rome, N°56, 300 p.
- Ambroggi R., Cochet A., Colas Des Francs E., Derekoj M., Dijon R., Fellahi M., Hazan R., Margat J., Messaoud M., Monition L., Mortier F., Moullard L., Oberlin J.J. & Saddek M. 1960. Observations générales sur l'invasion des eaux marines dans les nappes d'eau souterraines et dans les régions d'estuaires le long des côtes du Maroc. *XII^{ème} Ass. Int. Hydrol. Sc.*, Helsinki, pp. 187-199.
- Bazza M. 1991. Irrigation de la betterave à sucre. Doc. Ronéo., DEH- Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, 14 p.
- Ben Rebiha R. 1996. *Evaluation de la demande en eau d'irrigation dans les grands périmètres irrigués du Maroc*. Mémoire de 3^{ème} Cycle, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc, 344 p.
- Cirac P. 1985. *Le bassin sud-rifain occidental au Néogène supérieur. Evolution de la dynamique sédimentaire et de la paléogéographie au cours d'une phase de comblement*. Thèse d'Etat, Univ. Bordeaux I, France, 283 p.
- Combe M. 1975. Le bassin Rharb-Mamora et les petits bassins septentrionaux des oueds Dradère et Soueire. In : Ressources en eaux du Maroc, T2. Plaines et bassins du Maroc atlantique. *Notes & Mém. Serv. géol. Maroc*, 231, pp. 93-128.
- De Marsily G. 1986. *Quantitative hydrogeology. Groundwater hydrology for Engineering*. Academic Press, New York, 440 p.
- Doorenbos J. & Pruitt W.O. 1986. Les besoins en eau des cultures. *Bull. FAO d'irrigation et de drainage*, Rome, N°24, 198 p.
- El Mahmoudi N., El Wartiti M., Zahraoui M., Caboi R. & Marteddu M. 2003. Contribution to a geochemical study of groundwater of the Gharb aquifer (Morocco). *Freiberg Online Geoscience*, ISSN 1434-7512.
- El Mansouri B. 1999. *Développement d'outils et concepts pour la gestion des eaux souterraines. Application à l'aquifère côtier du Rharb*. Thèse d'Etat, Univ. Ibn Tofail, Fac. Sci. Kénitra, Maroc, 142 p.
- Energy, Environment, and Sustainable Development Programme (EESD) 2001. Spatialisation recommendations, Key action 2, Global change, climate and biodiversity, European network for research on global change, Deliverable n. 11.
- Flinch J.F. 1993. *Tectonic evolution of the Gibraltar arc*. Ph. D. Thesis, Rice Univ., Houston, Texas, 212 p.
- Hammani A. 2002. *Modélisation couplée du drainage souterrain et du drainage de surface : Application à la conception du drainage agricole dans le périmètre irrigué du Gharb (Maroc)*. Thèse Doctorat es Sciences agronomiques, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc, 242 p.
- Litto W., Jaaidi E.B., Medina F. & Dakki M. 2001. Etude sismo-structurale de la marge nord du bassin du Gharb (avant-pays rifain, Maroc) : mise en évidence d'une distension d'âge miocène tardif. *Eclogae geol. Helv.*, 94, 63-73.
- Ministère de l'Agriculture, du Développement Rural et des Pêches Maritimes 2006. L'économie d'eau en irrigation : un grand défi pour la durabilité de l'agriculture irriguée. Administration du Génie Rural, Rapport inédit, 10 p.
- Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Environnement, de l'Urbanisme et de l'Habitat 1999 a. Région Gharb Chrarda Beni Hssen, Débat national sur l'Aménagement du Territoire, Eléments introductifs. *Edition Okad*, Rabat.
- Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Environnement, de l'Urbanisme et de l'Habitat 1999 b. Projet de protection de l'environnement du bassin de Sebou, Rapport inédit. 66 p.
- Mohan S. 1991. Intercomparition of evapotranspiration estimates. *Hydr. Sci. J.*, 36, 5-10.
- Morel J.L. 1988. *Evolution récente de l'orogène rifaine et de son avant-pays depuis la fin de la mise en place des nappes*. Thèse d'Etat, Mém. Géodiffusion, Paris, 584 p.
- Office régional de mise en valeur agricole du Gharb (ORMVAG) 1994. Etude pédologique au 1/20 000 de la troisième tranche d'irrigation (TTI) Sur une superficie de 100 000 ha. Zone Menasra, Z1 et Z2. Kénitra, Maroc. Rapport inédit, 180 p.
- Office régional de mise en valeur agricole du Gharb (ORMVAG) 1995. Etude d'aménagement hydro-agricole de la zone côtière de la troisième tranche d'irrigation du Gharb (Menasra), Etude de la situation actuelle et variante d'aménagement. Kénitra, Maroc. Rapport inédit, 220 p.
- Office régional de mise en valeur agricole du Gharb (ORMVAG) 1996. Etude pédologique au 1/20 000 de la troisième tranche d'irrigation (TTI). Zone centrale et Zone sud. Kénitra, Maroc. Rapport inédit, 452 p.
- Office régional de mise en valeur agricole du Gharb (ORMVAG) 2003. Enquête concernant les superficies et l'importance de l'irrigation privée. Rapport inédit, 30 p.
- Pulido Bosch A., Sanchez Martos F., Martinez vidal J.L. & Navarrete F. 1992. Groundwater problems in semiarid area (Low Andrax River, Almeria, Spain). *Environ. Geol. Water Sci.*, 20, 3, 195-204.
- Smith M. 1990. Report on expert consultation on revision of FAO methodologies for crop water requirements. Held in FAO, Rome, Italy, 28-31 May 1990.
- Wernli R. 1987. Micropaléontologie du Néogène post-nappes du Maroc septentrional et description systématique des Foraminifères planctoniques. *Notes & Mém. Serv. géol. Maroc*, 331, 265 p.
- Zouhri L., Gorini C., Lamoureux C., Vachard D., & Dakki M. 2003. Interprétation hydrogéologique de l'aquifère des bassins sud-rifains (Maroc) : apport de la sismique réflexion, *C.R. Géosciences*, 335, 319-326.

Manuscrit soumis le 14 février 2006
Version modifiée acceptée le 25 décembre 2006