

## Une Nouvelle Cartographie du Déficit Hydrique : Application à l'Est Algérien (et l'Algérie du Nord)

Azzedine MEBARKI

Faculté des Sciences de la Terre, de la Géographie et de l'Aménagement du Territoire  
Laboratoire d'Aménagement du Territoire,  
Université Mentouri de Constantine  
E-mail : mebarki\_azzedine@yahoo.fr

**ملخص :** اعتمادا على المعطيات المناخية الشهرية الموجودة على شكل شبكات رقمية للتساقط و التبخر - النتج الممكن، فضلا عن تحديد قيمة مرجعية قصوى للمخزون النافع للتربة، تم تعميم على منطقة الشرق الجزائري حساب الموازنة المائية وفق طريقة ثورنتوايت (Thornthwaite)، وذلك على مستوى كل عقدة من شبكة النموذج الرقمي لسطح الأرض (2 x 2 كلم).

تم بالتالي تقييم العجز المائي الزراعي و تمثيله في خرائط رقمية ( 12 خريطة للعجز الشهري و خريطة للعجز السنوي و خريطة أخرى لتساوي عدد الأشهر الجافة) و هي خرائط يعدها برنامج سورفر (SURFER). تترجم هذه الخرائط التباينات البيومناخية الكبرى للمنطقة حيث تتراوح القيم المتوسطة للعجز المائي السنوي بين 400 مم شمالا و ما يزيد عن 2000 مم جنوبا، في حين يزداد عدد الأشهر الجافة من 4 إلى 12 في السنة. تعتبر الخرائط المنجزة وسيلة للتقييم الشامل و السريع لحاجيات السقي الزراعي، و هي كفيلة بالتعميم على تراب الشمال الجزائري.

**Résumé :** L'exploitation des bases de données climatologiques, disponibles sous forme de grilles mensuelles de précipitations (P) et d'évapo-transpirations potentielles (ETP), a permis de généraliser le calcul du bilan hydrique de Thornthwaite, sur un maillage du MNT de 2 km de côté couvrant l'Est algérien. En se fixant une valeur maximale standard de la réserve facilement utilisable (RFU), la modélisation, à l'échelle mensuelle, du passage de l'ETP à l'ETR (évapotranspiration réelle) a conduit à estimer le déficit en eau agricole (Da) en chaque nœud de la grille, donnant lieu à la confection sous SURFER de 12 cartes mensuelles et d'une carte annuelle du déficit, en plus d'une carte annuelle d'iso-"mois secs". Reflet de la brutalité des contrastes bioclimatiques caractérisant la région, le déficit hydrique varie, en année moyenne, de 400 mm au Nord à plus de 2 000 mm au Sud, alors que la durée du stress hydrique passe de 4 à 12 mois dans l'année. Ces cartes, généralisées à l'Algérie du Nord, sont un moyen d'établir une évaluation globale des besoins en eau d'irrigation.

**Mots Clés :** Grille d'information, déficit hydrique, mois sec, cartographie automatique, Est algérien, Algérie du Nord.

**Abstract :** The grid data of monthly rainfall and potential evapotranspiration have allowed the assessment of the Thornthwaite water balance, on a regular digitalized grid of 2 km of side covering eastern Algeria. A maximum value of soil water

content was set in order to modelling actual evapotranspiration (from potential evapotranspiration) and to assess monthly agricultural water deficit at each node of the grid. So 12 monthly maps and an annual one of water deficit were elaborated with SURFER. Moreover, a zoning map of equally dry periods was drawn. Because of the major climatic contrasts, the annual agricultural water deficit varies from 400 mm in the North to more than 2000 mm in the South and the dry periods from 4 to 12 months in the year. This approach is generalized to northern Algeria and the established maps are ready to be used in the evaluation of irrigation requirements.

### 1. Introduction

Sous le climat méditerranéen, l'indigence pluviométrique en saison sèche, conjuguée à une évapotranspiration élevée, se traduit par des déficits hydriques très marqués. Calculés suivant la démarche simplifiée du bilan de Thornthwaite, les déficits mensuels en eau agricole se prêtent à l'interpolation spatiale (Mebarki A., 2005). Ils sont appréhendés à l'échelle de l'Est algérien, région climatiquement la plus variée du pays (Côte M., 1998). La cartographie qui en résulte, généralisée à l'ensemble de l'Algérie du Nord, se veut être un outil d'évaluation globale des besoins en eau d'irrigation et de la durée de la saison agronomiquement sèche (Mebarki A., 2007).

## 2. Approche hydroclimatique du déficit hydrique

Pour obtenir des résultats satisfaisants sous le climat algérien, le bilan est établi en estimant l'évapotranspiration potentielle à l'aide de la formule dite "ETP A.N.R.H" (relation calée sur le modèle de Penman et écrite sous forme simplifiée pour l'adapter à la formule de Blaney et Criddle) (A.N.R.H., 2002) :

$$\text{ETP A.N.R.H} = K_r * K_m * (H - 187) * (0,032 t + 0,077)$$

La valorisation des données de températures mensuelles disponibles ( $t$  en °C), la mise au point de deux coefficients correctifs, mensuel ( $K_m$  compris entre 0,90 et 1,22) et régional ( $K_r$  lu sur une carte d'isolignes variant entre 0,85 et 1,25), et enfin la prise en compte de la durée théorique des jours du mois ( $H$  en heures par mois) ont présidé à la mise en oeuvre de cette nouvelle formule algérienne (ETP en mm/mois).

La quantité d'eau stockée dans la réserve facilement utilisable (RFU), pouvant être reprise pour l'évaporation par l'intermédiaire des plantes, est bornée par 0 (la RFU vide) et RFU max (capacité maximale de la RFU dont la valeur varie essentiellement en fonction de la nature du sol - texture et structure- et de la profondeur d'enracinement de la végétation) (Cosandey Cl. et Robinson M., 2000).

On admet que la satisfaction de l'ETP a priorité sur l'écoulement (avant qu'il n'y ait d'écoulement, il faut avoir satisfait le pouvoir évaporant de l'atmosphère : ETP = ETR ou évapotranspiration réelle). Par ailleurs, la complétion de la RFU est également prioritaire sur l'écoulement.

On établit ainsi un bilan à l'échelle mensuelle, à partir de la pluie  $P$ , de l'ETP et de la RFU (Laborde J-P., 2000a) :

Si  $P > \text{ETP}$ , alors :

- $\text{ETR} = \text{ETP}$
- L'excédent des précipitations sur l'évapotranspiration potentielle ( $P - \text{ETP}$ ) est affecté en premier lieu à la RFU, et si la RFU est complète, à l'écoulement  $Q$  ;

Si  $P < \text{ETP}$  :

- on évapore toute la pluie et on prend à la RFU (jusqu'à la vider) l'eau nécessaire pour satisfaire l'ETR soit :

$$\text{ETR} = P + \min(\text{RFU du mois précédent} ; \text{ETP} - P)$$

$$\text{RFU} = 0 \text{ ou RFU du mois précédent} + P - \text{ETP}$$

- si  $\text{RFU} = 0$ , la quantité ( $\text{ETP} - \text{ETR}$ ) représente le déficit agricole  $Da$  (water deficiency de Thornthwaite), quantité d'eau, correspondant sensiblement à l'apport d'irrigation, qu'il faudrait fournir à la plante

pour qu'elle évapore au taux maximum.

Connaissant pour chaque mois  $i$  les valeurs de  $P$  et de ETP, et considérant une RFU max égale à 100 mm (valeur à adapter à chaque cas particulier), le calcul automatique des autres éléments du bilan s'écrit, sur le tableur Excel, à l'aide des fonctions suivantes (Laborde J-P., 2000b) :

$$\text{ETR mois}_i = \min(\text{ETP mois}_i ; P \text{ mois}_i + \text{RFU mois}_{i-1})$$

$$\text{RFU mois}_i = \min(\text{RFU max} ; \text{RFU mois}_{i-1} + P \text{ mois}_i - \text{ETR mois}_i)$$

$$Da \text{ mois}_i = \text{si} (\text{ETP mois}_i > \text{ETR mois}_i ; \text{ETP mois}_i - \text{ETR mois}_i ; \ll \gg)$$

## 3. Cartographie automatique des déficits mensuels

### 3.1 Les grilles d'information utilisées

Les données climatologiques, exploitées à l'échelle mensuelle interannuelle, sont le résultat d'un long travail de traitement des données d'observation et de leur valorisation à l'aide du MNT (Modèle Numérique de Terrain) (A.N.R.H., 2002 ; A.N.R.H.-G.T.Z., 2003).

Les grilles des précipitations mensuelles (série trentenaire : de septembre 1965 à août 1995) ont été établies de façon à respecter les relations entre les pluies mensuelles médianes et le relief de même que la distribution statistique dissymétrique, au pas de temps mensuel, des précipitations. Aussi, ces grilles tiennent-elles compte de la forte anisotropie spatiale du phénomène (Laborde J-P. et al. 2003). S'agissant des grilles des ETP mensuelles, elles ont été élaborées après avoir cartographié les deux principaux paramètres climatiques explicatifs : régression température-relief et spatialisation de l'information thermométrique ; interpolation de la durée théorique de l'insolation du mois, paramètre étroitement lié à la latitude.

### 3.2. Construction de la carte des déficits mensuels en eau agricole

Ces grilles d'informations épousant le quadrillage kilométrique de Lambert (système de projection de l'Algérie du Nord) ont permis d'extraire, sous Excel, les valeurs de  $P$  et de ETP aux noeuds de chaque maille de 2 km x 2 km, et de calculer (méthode du bilan), pour chacun des 12 mois de l'année, 33 200 valeurs (200 colonnes x 166 lignes) de déficit agricole  $Da$ .

Les résultats de  $Da$ , obtenus sur une feuille Excel et transférés sur le tableur Worksheet du logiciel SURFER, ont été ensuite élaborés, mois par mois, sous forme d'une grille (Grid data), prête à l'interpolation spatiale (Contours map) et donc à la construction de la carte finale (fig. 1).

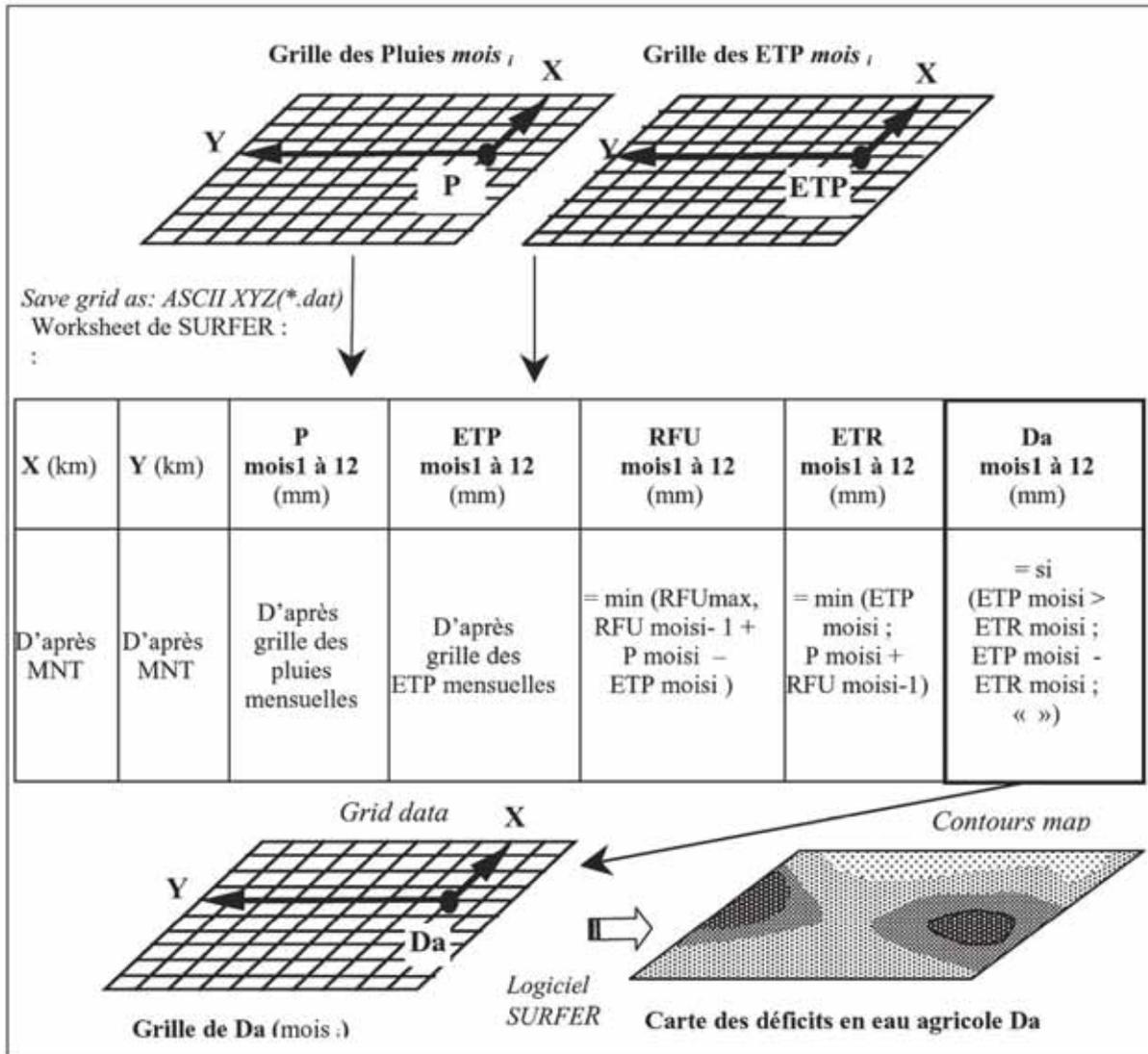


Fig. 1 Etapes de construction d'une carte des déficits mensuels en eau agricole (Da).

La carte du déficit en eau agricole du mois d'avril, présentée à titre d'exemple, est le résultat du croisement des grilles de l'ETP et de P du mois considéré (fig. 2, 3 et 4).

Elle reflète bien la variabilité spatiale du déficit : de l'ordre de 0-20 mm sur le littoral et la chaîne tellienne, Da passe à 80 mm sur les Hautes Plaines et atteint 140-200 mm sur le Piémont Sud de l'Atlas saharien.

#### 4. Cartographie des zones d'iso-"mois secs"

Considérant l'échelle de travail et par souci de simplification, est considéré comme "mois sec" tout mois de l'année où l'on enregistre un déficit agricole, la réserve hydrique du sol étant épuisée. Ce sont donc les mois qui traduisent un besoin d'irrigation. Le nombre annuel des mois secs N est obtenu aux nœuds de chaque maille élémentaire. Le tableau 1 en donne un exemple à l'aide de l'application de la fonction suivante sur Excel :

$$= \text{si} (Da = "0"; "0"; "1")$$

Tableau 1. Exemple de répartition annuelle des "mois secs" aux nœuds du maillage

X (km)	Y (km)	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Fev.	Mars	Avr.	Mai	Jun	Juil.	Août	N nombre de mois secs
1046	380	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	6
1048	380	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	7
650	382	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	6
652	382	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	5
654	382	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	4

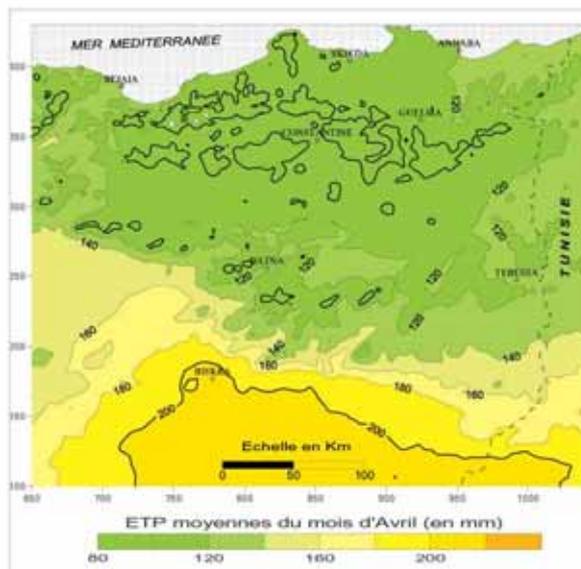


Fig. 2 ETP du mois d'Avril (Est algérien).

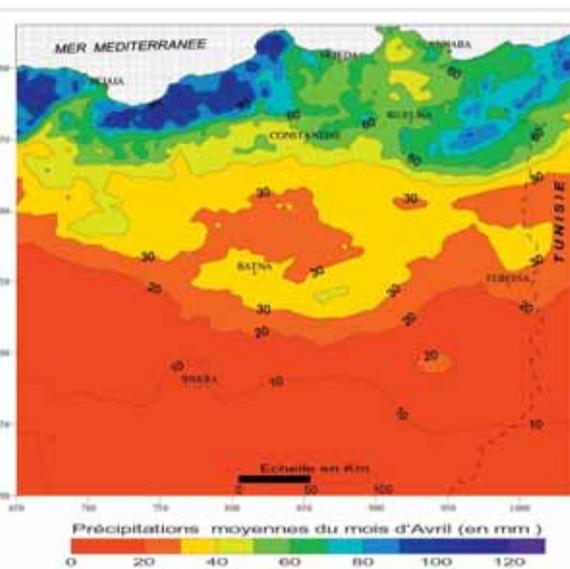


Fig. 3 Précipitations du mois d'avril (Est algérien).

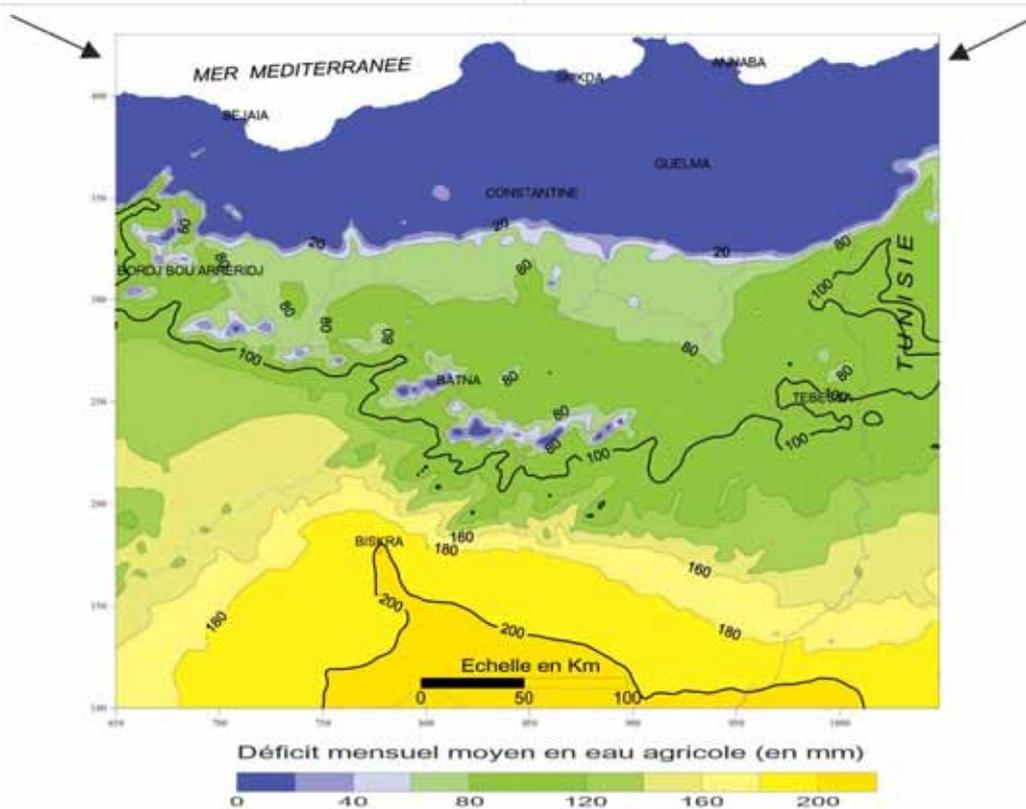


Fig. 4 Déficit en eau agricole du mois d'avril (Est algérien).

La carte qui en découle illustre la forte extension de la durée du stress hydrique en allant du Nord (4 "mois secs" sur les massifs arrosés de Collo et de Jijel) vers le Sud (10 à 12 mois sur le piémont

saharien et la partie méridionale des Hautes Plaines), en passant par une durée médiane (6 à 8 mois sur une grande partie du Tell et les massifs élevés de l'Aurès-Nemmecha) (fig. 5).

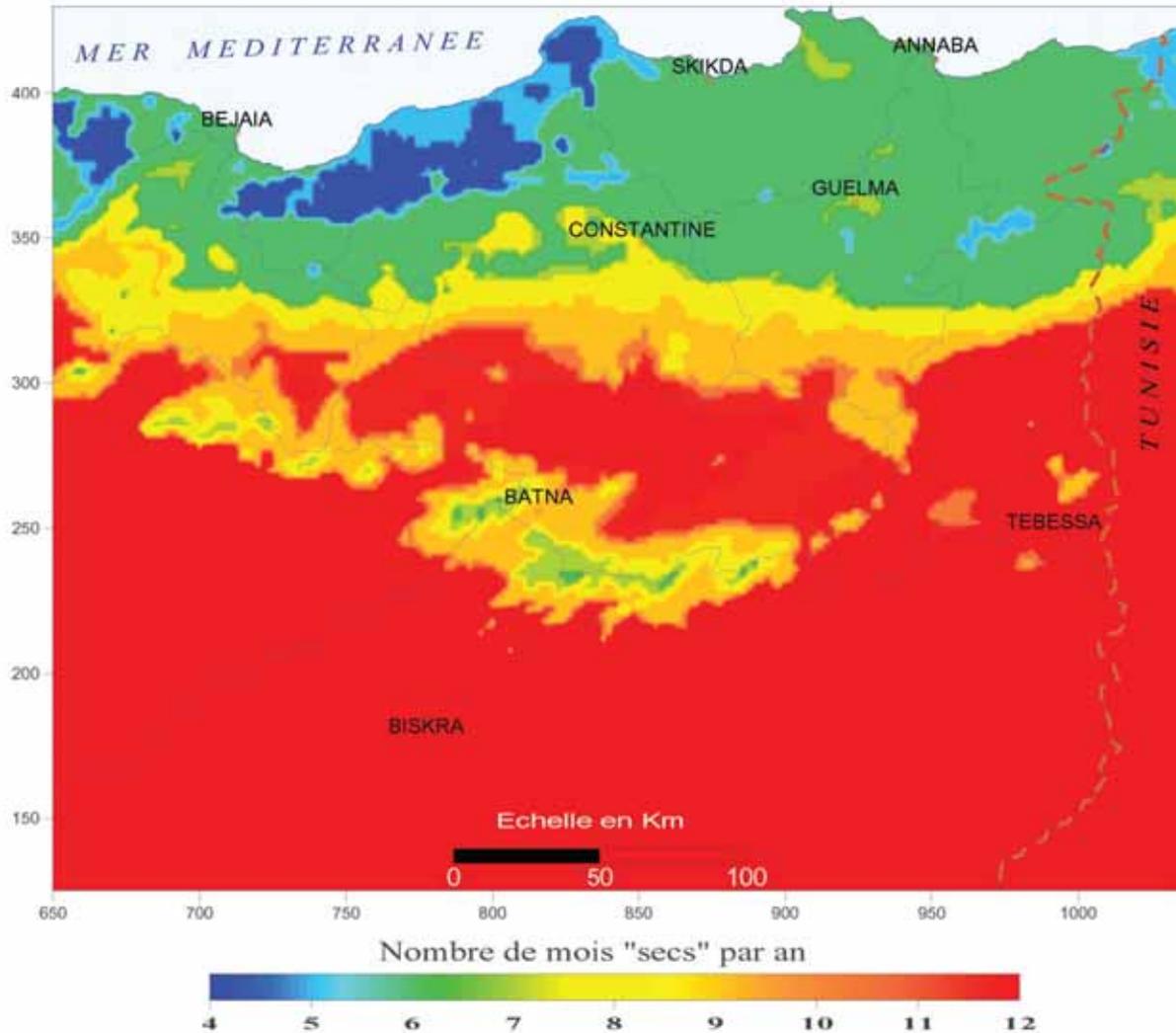


Fig. 5 Zones d'égal "mois secs" de l'Est algérien.

### 5. Généralisation de la démarche à l'Algérie du Nord

L'exploitation de l'information climatologique disponible sur l'ensemble de l'Algérie du Nord (201 lignes x 501 colonnes, soit 100 701 noeuds) conduit à généraliser la démarche proposée (fig.6 et 7). A l'échelle de l'année moyenne (cumul des 12 grilles mensuelles de Da), la carte du déficit (de 400 à plus

de 2 200 mm) montre une disposition en bandes zonales longitudinales traduisant les forts contrastes entre une bande côtière étroite souffrant moins du stress hydrique que les vastes zones méridionales à déficit très accusé. Par opposition à une région Est relativement arrosée, la région Ouest du pays, au climat semi-aride, accuse un déficit hydrique remarquable (la zone de plus de 800 mm pénètre jusqu'au littoral de l'Oranie).

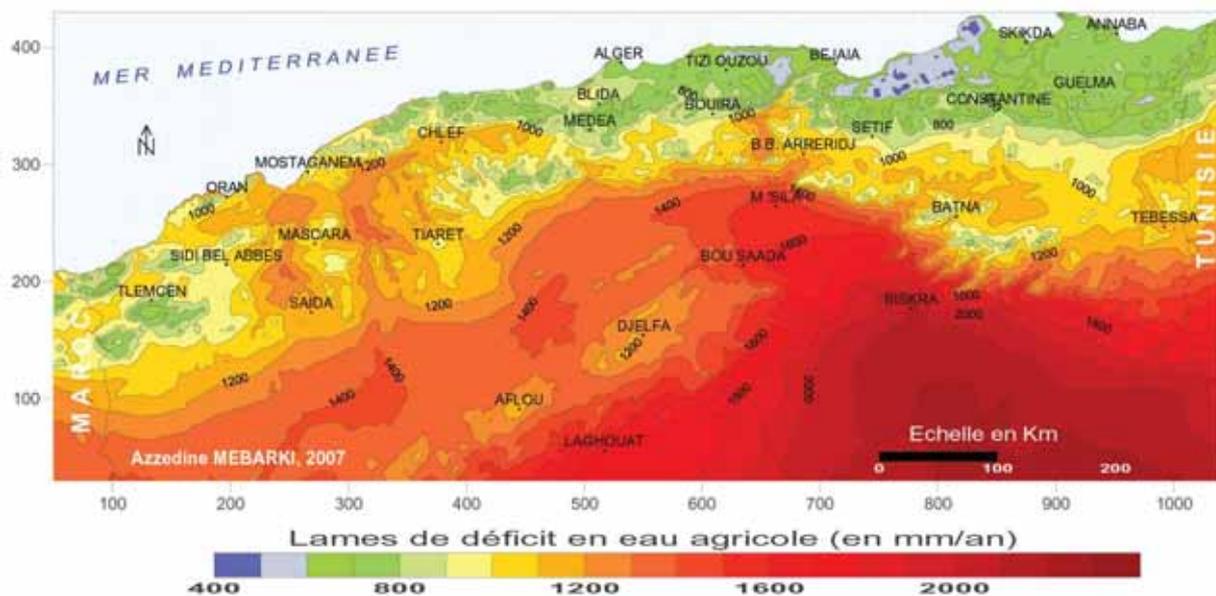


Fig. 6 Déficit hydrique annuel moyen de l'Algérie du Nord.

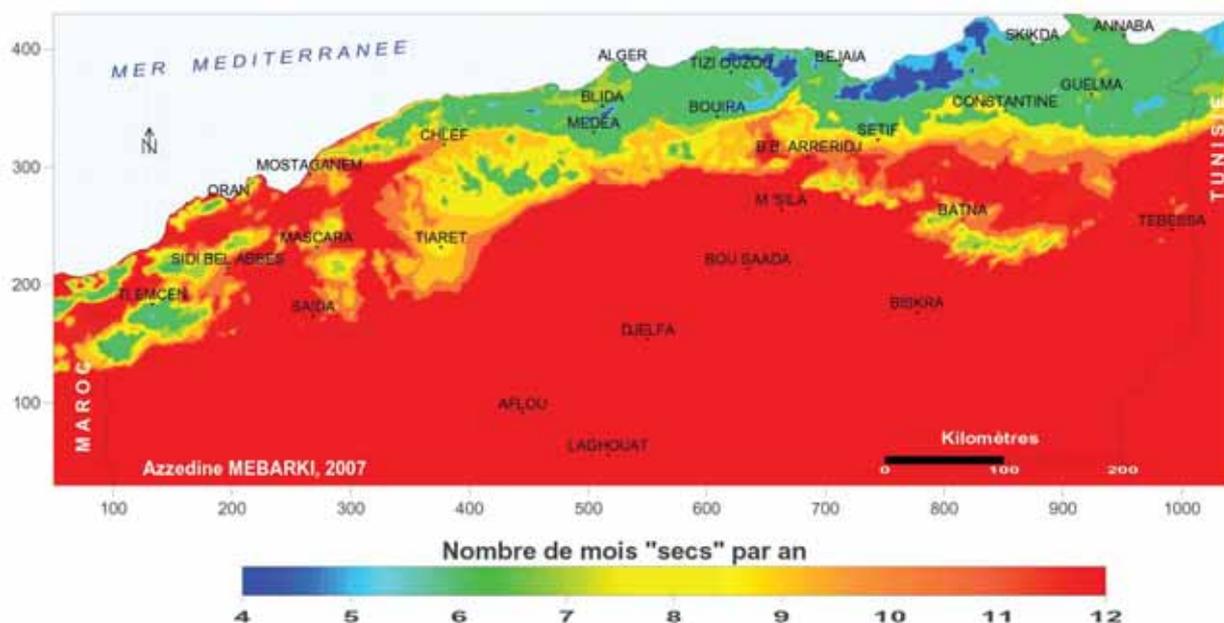


Fig. 7 Zones d'égal mois secs de l'Algérie du Nord.

Il devient possible, par simple lecture de la carte du déficit, de connaître en tout point du territoire la demande moyenne en eau d'irrigation qu'il y a lieu de moduler selon les cycles de cultures. Pour l'évaluation des besoins d'irrigation sur des domaines géographiques plus ou moins étendus (en hauteur d'eau moyenne ou en volume unitaire moyen :  $1\text{mm} = 10\text{ m}^3/\text{ha}$ ), il est préférable de se reporter aux fichiers grid, exploitables directement sous SURFER ou à l'aide d'un Système d'Information Géographique (S.I.G.).

## 6. Conclusion

La méthode proposée a pour originalité de s'adapter aisément à d'autres régions climatiques. Nous avons admis une réponse linéaire de la RFU à la demande climatique alors que d'autres modes de réponse de la réserve en eau du sol peuvent être envisagés (Cosandey Cl. et Robinson M., 2000). La modélisation du bilan de Thornthwaite conduit à rendre disponibles les données mensuelles du déficit hydrique tant sur les cartes que sous forme de grilles utilisables à l'intérieur de Systèmes d'Information Géographique.

Ces données peuvent être générées pour différentes valeurs moyennes de la RFU maximale, expérimentalement vérifiées (pour les sols algériens, les valeurs de la RFU max couramment admises vont de 25 à 100 mm).

Reflet de la brutalité des contrastes bioclimatiques caractérisant le territoire algérien, la répartition spatiale du déficit agricole est susceptible de varier de façon importante en relation avec la variabilité interannuelle des facteurs climatiques, et tout particulièrement des pluies, beaucoup plus irrégulières que les températures et l'ETP. D'où l'intérêt indéniable d'entreprendre une étude fréquentielle des déficits hydriques.

### Références bibliographiques

- A.N.R.H., 2002 : *Carte des évapotranspirations potentielles du Nord de l'Algérie au 1/500 000* (2 feuilles, notice de 42 p.). Agence Nationale des Ressources Hydrauliques, Alger, Ed. I.N.C.T.
- A.N.R.H.-G.T.Z., 2003 : *Etude de synthèse sur les ressources en eaux de surface de l'Algérie du Nord. Rapport d'étude*, Agence Nationale des Ressources Hydrauliques, Alger, 36 p.
- Cosandey Cl. et Robinson M., 2000 : *Hydrologie continentale*, Armand Colin, Paris, 360 p.
- Cote M., 1998, Les régions bioclimatiques de l'Est algérien. *Rhumel* n° 6, pp. 57-71.
- Laborde J.-P., 2000a : *Hydrologie de surface*, Cours de l'Université de Nice-Sophia Antipolis, 191 p.
- Laborde J.-P., 2000b : *Hydrolab. Logiciel d'hydrologie statistique*. Université de Nice-Sophia Antipolis
- Laborde J.-P., Assaba, M. et Belhouli L., 2003: Les chroniques mensuelles de pluies de bassin : un préalable à l'étude des écoulements en Algérie. *Colloque SHF : "Gestion du risque en eau en pays semi-arides"*, Tunis, 21-22 mai 2003, 10 p.
- Mebarki A., 2005 : *Hydrologie des bassins de l'Est algérien : ressources en eau, aménagement et environnement. Thèse de doctorat d'état*, Université Mentouri de Constantine, 360 p.
- Mebarki A., 2007 : *Utilisation de grilles d'information climatologique dans la cartographie du déficit hydrique de l'Est algérien. Généralisation à l'Algérie du Nord. Actes du XX<sup>ème</sup> colloque de l'Association Internationale de Climatologie*, Tunis-Carthage, 3-9 septembre 2007, pp. 375-380.