

**Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie**  
Département de Génie Rural  
En vue de l'obtention du Diplôme De Magister en Agronomie  
Spécialité : Hydraulique Agricole

# *Importance stratégique de l'eau virtuelle des céréales en Algérie*

**Présenté par : Melle LANI Souad**  
Dirigé par : M. MOUHOUCHE Brahim Professeur, ENSA  
Année universitaire 2010-2011

Jury : Président: M.HARTANI Tarik Professeur, ENSA Examineurs: M. ABDELGUERFI Issa  
Professeur, ENSA M. CHABACA Mohamed Nacer Maître de conférences, ENSA



# Table des matières

REMERCIEMENTS . .	5
Résumé . .	6
Abstract . .	7
ص خ لم . .	8
LISTE DES ABREVIATIONS . .	9
Introduction générale . .	10
Première partie Synthèse bibliographique . .	12
Chapitre I L'eau virtuelle des céréales en Algérie . .	12
1. Introduction . .	12
2. Le concept de l'eau virtuelle . .	12
3. Evolution de la production céréalière . .	15
4. Evolution de la superficie céréalière . .	15
5. Utilisation des ressources hydriques dans la production céréalière . .	16
6. Evaluation du besoin national moyen en céréales . .	17
7. Conclusion . .	17
Chapitre II Diagnostic de la situation actuelle et projections futures des disponibilités en eau Agricole . .	17
1. Diagnostic des ressources hydriques et de la population . .	17
2. Projections climatiques . .	20
3. Conclusion . .	21
Chapitre III L'eau et les céréales . .	21
1. Introduction . .	21
2. Modes d'irrigation des céréales . .	22
3. Effet de l'irrigation des céréales en Algérie . .	22
4. Conclusion . .	23
Chapitre IV Présentation de la zone d'étude . .	23
1. Zones aptes à la céréaliculture . .	23
2. Caractéristiques des sols . .	24
3. Données climatiques . .	24
Deuxième partie Matériels et méthodes . .	27
Chapitre I Caractéristiques de l'analyse en composante principale . .	27
1. Introduction . .	27
2. Présentation de l'ACP . .	27
3. Centrage et réduction des valeurs . .	28
4. Matrice de variance covariance et valeurs propres . .	28
Chapitre II Caractéristiques du programme Cropwat . .	28
1. Introduction . .	28
2. Caractéristiques du programme . .	29
3. Présentation des résultats . .	33
4. Conclusion . .	34
Troisième partie Résultats et discussion . .	35

1. Introduction . . .	35
2. Traitement statistique des données climatiques . . .	35
2.1. La matrice de corrélation . . .	35
2.2. Les valeurs propres et le cumulées . . .	35
2.3. Distribution des variables . . .	36
2.4. Distribution des individus . . .	37
3. Détermination de l'année sèche et de l'année humide . . .	38
4. Calcul des besoins en eau d'irrigation . . .	41
4.1. La demande climatique ETP . . .	41
4.2. Les besoins en eau des céréales ETm . . .	41
4.3. La pluie totale et la pluie efficace $P_{eff}$ . . .	42
4.4. Les besoins en eau d'irrigation . . .	43
5. Estimation des superficies céréalières et de la production . . .	44
6. Estimation des superficies céréalières irriguées . . .	45
7. Calcul des quantités de l'eau virtuelle . . .	46
7.1. Calcul de la quantité de l'eau verte . . .	47
7.2. Calcul de la quantité de l'eau bleue dans les céréales . . .	47
7.3. Calcul de la quantité de l'eau virtuelle dans les céréales . . .	48
8. Efficience de l'eau virtuelle dans la production des céréales . . .	48
8.1. Efficience de l'eau verte . . .	48
8.2. Efficience en culture irriguée . . .	49
9. Quantification de l'eau virtuelle dans les céréales importées par l'Algérie . . .	49
10. Conclusion . . .	50
Conclusion Générale . . .	51
Références bibliographiques . . .	54
ANNEXES . . .	57

## REMERCIEMENTS

Dans le cadre de la réalisation de ce mémoire sur l'importance stratégique de l'eau virtuelle dans les céréales en Algérie, je souhaite adresser mes remerciements à Monsieur Mouhouche Brahim Professeur à l'ENSA d'avoir accepté de m'encadrer et qui a ainsi contribué à l'élaboration de ce mémoire.

Merci à mes professeurs et membres de jury d'avoir accepté d'examiner ce travail :

Monsieur HARTANI Tarek Professeur à l'ENSA président de Jury

Monsieur ABDELGUERFI Professeur à l'ENSA examinateur et

Monsieur CHABACA Abd Nacer Maître de conférences à l'ENSA examinateur.

Je tiens à remercier aussi tous les professeurs de l'ENSA de la graduation et de la post graduation pour leurs enseignements et de nous avoir formé.

Monsieur REDJEL Noureddine Directeur du Développement Agricole dans les zones Arides et Semi Arides et Monsieur KESSIRA Mohamed Sous Directeur de techniques d'irrigation au Ministère de l'Agriculture d'avoir mis à ma disposition l'ensemble des informations nécessaires à la bonne réalisation de mon mémoire.

Mes remerciements les plus profonds vont aussi à mes parents, qui m'ont soutenue durant mes nombreuses années d'études.

Souad

### Résumé

Afin de mesurer la part de l'eau virtuelle contenue dans les céréales qui constituent le produit alimentaire principal de la consommation en Algérie, comparées aux potentialités qui sont annuellement mobilisées sur le territoire national et sur la base des statistiques agricoles, nous avons déterminé les quantités moyennes des céréales produites et importées par an afin de déterminer le volume virtuel de l'eau que ces céréales contiennent.

Les besoins en eau nécessaires pour les céréales produites en Algérie ont été calculés par le logiciel Cropwat, afin de définir les quantités équivalentes de l'eau dans la production sur la zone céréalière. Les résultats obtenus réaffirment l'importance de l'eau virtuelle annuellement importée rivalisant avec les potentialités hydrauliques nationales. Notre étude montre que malgré l'importance stratégique de l'eau virtuelle dans les céréales, une réduction des importations doit avoir lieu, à moyen terme, par une amélioration de l'efficacité d'utilisation de l'eau verte et une meilleure maîtrise de l'itinéraire technique

**Mots clés:** l'eau virtuelle, ressources hydriques, eau verte, eau bleue, Algérie, céréales

## Abstract

In order to quantify the virtual water part contained in the cereals which constitute the principal foodstuff of consumption in Algeria, compared with the potentialities which are annually mobilized through the national territory, and on the basis of the agricultural statistics, we have determined the average quantities of the imported cereals per year in order to determine the virtual water volume that these cereals bind.

The water needs of the cereals which are produced in Algeria have been calculated by the Cropwat software, in order to define the equivalent quantities of water in their production on the zone of study. The obtained results confirm the importance of the annually imported virtual water comparing with the national hydraulic potentialities. Our study shows also that in spite of strategic importance of the virtual water in the imported cereals, a diminution has to take place, on the average term, by an improvement of the use efficiency of the green water using the best mastery of the technical itinerary in the use of precipitation.

**Key words:** virtual water, hydrous resources, green water, blue water, Algeria, cereals

## ص خ لم

من أجل تحديد جزء المياه الافتراضية الواردة في الحبوب و التي تشكل المواد الغذائية الأساسية للاستهلاك في الجزائر ، مقارنة مع الإمكانات المائية التي تجب سنويا على المستوى الوطني ، وعلى أساس الإحصاءات الزراعية ، تم تحديد الكميات المتوسطة من الحبوب المنتجة و المستوردة سنويا من أجل تحديد حجم المياه الافتراضية التي تحملها هذه الحبوب. وقد حسبت الاحتياجات المائية للحبوب التي يتم إنتاجها في الجزائر بواسطة برنامج Cropwat ، من أجل تحديد كميات المياه المعادلة على منطقة الدراسة.

النتائج التي تم الحصول عليها تؤكد أنه على الرغم من الأهمية الإستراتيجية للمياه الافتراضية في الحبوب المستهلكة فإن خفض الواردات على المدى المتوسط ، عن طريق تحسين كفاءة استخدام المياه الخضراء باستخدام أفضل للأمت

**الكلمات المفتاحية:** المياه الافتراضية ، الموارد المائية ، المياه الخضراء ، المياه الزرقاء ، الجزائر ، الحبوب



---

## LISTE DES ABREVIATIONS

- ACPAnalyse en Composante Principale
- AEPIAlimentation en Eau Potable
- BEI Besoin en Eau d'Irrigation
- $ET_m$ Evapotranspiration maximale
- $ET_0$ Evapotranspiration de Référence
- FAO Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture
- INSID Institut National des Sols, de l'Irrigation et du Drainage
- $I_n$ Insolation de la station n
- ITGC Institut Technique des Grandes cultures
- $H_n$ Humidité relative de la station n (n: numéros de la station)
- MADRMinistère de l'Agriculture et du Développement Rural
- MRE Ministère des Ressources en Eau
- ONM Office National de Météorologie
- ONS Office National des Statistiques
- PNDAR Plan National du Développement Agricole et Rural
- PNE Plan National de l'Eau
- $P_n$ Pluviométrie mensuelle moyenne
- RU Réserve Utile
- $T_{mn}$  Température minimale
- TM Température moyenne
- $T_{mx}$ Température maximale
- $V_n$  Vitesse du Vent de la station n
- WWC World Water Council

## Introduction générale

Leur nom « céréales » vient du latin *cerealis*, qui fait référence à Cérès déesse romaine des moissons.

Sur le plan botanique, elles appartiennent à la famille des Poacées (ou Graminées) à l'exception du sarrasin (Polygonacées), certaines graines d'autres familles botaniques sont parfois assimilées aux céréales tel que le quinoa (Chénopodiacées) et le sésame (Pédaliacées).

Sur le plan agronomique, on distingue deux types de céréales: les céréales d'hiver et les céréales d'été, selon la période de semis.

La céréaliculture est l'une des cultures « dites stratégiques », elle occupe une place dominante en Algérie, tant par la grande superficie qu'elle occupe (plus de 3 millions d'hectares, entre jachère et céréales), que par son niveau de consommation élevé de 230 kg/habitant/an en 1996 (Medagri, 1999), dont 211 Kg destinés à l'alimentation humaine.

La production moyenne interannuelle des céréales en Algérie ne dépasse pas les 2 millions de tonnes (MADR, 2006), ce qui ne répond pas aux besoins intérieurs du pays évalués à 7 millions de tonnes.

Cette production est aussi instable, elle fluctue entre une production de l'ordre de 0,7 à 4,2 millions de tonnes, enregistrées respectivement en 1994 et 1995.

Afin de combler le déficit, 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.

Vu le contexte du commerce international instable qui s'est traduit par une augmentation des prix des céréales en passant de 20 000 DA la tonne en 2007 à 45 000 DA en 2008, il est important donc d'améliorer la production des céréales pour assurer la stabilité économique du pays.

De plus, l'eau est un facteur limitant pour le développement des céréales. Selon la FAO en 1997, la production d'une tonne de blé nécessite en moyenne un volume d'eau de 1500 m<sup>3</sup>, néanmoins, vu la demande climatique de l'Algérie, ce chiffre est beaucoup plus élevé en réalité, d'où l'importance stratégique de l'eau consommée virtuellement avec tous les produits agricoles, et particulièrement les céréales.

Devant cette situation et afin de palier au déficit hydrique contraignant, la nécessité de réduire le décalage entre l'offre nationale et la demande en produits agricoles, en particulier les céréales, ceci à travers une valorisation de l'eau d'irrigation devient un impératif incontournable.

### **A ) Problématique et méthodologie**

Malgré la superficie emblavée importante qu'occupent les céréales en Algérie, les rendements restent faibles. En effet, ils sont de l'ordre de 1,2 t/ha pour les céréales d'hiver et 0,7 t/ha pour les céréales d'été (MADR, 2006).

Même si l'extension des superficies céréalières permet d'améliorer la production, elle ne fera qu'aggraver le problème du manque d'eau.

Quelle sera alors la meilleure solution pour une amélioration effective de la production nationale? Est-elle celle qui permet une augmentation des rendements sur la base des disponibilités en eau dans les zones potentielles ? L'on sait que même si les techniques de travail du sol, l'utilisation des produits phytosanitaires et l'emploi des semences sélectionnées apportent une certaine amélioration des rendements (cas des céréales dans le sud), leur efficacité dépend particulièrement de la répartition spatiotemporelle de la pluviométrie, d'où leurs nom cultures pluviales. Cette considération suggère l'utilisation de techniques appropriées pour améliorer la réponse aux besoins en eau des céréales.

Par cette étude, nous envisageons de mettre en évidence l'importance de la gestion de l'eau consommée par les céréales faisant apparaître la notion de l'eau virtuelle en tant que palliatif au problème du manque d'eau.

A cet effet, nous adoptons le plan suivant :

- Diagnostic des potentialités hydriques actuelles

Dans cette partie nous décrivons la situation de la ressource en eau destinée à l'irrigation en 2006 et les projections pour les années 2010 - 2025.

- La céréaliculture en Algérie

Dans cette partie nous évaluons

- le besoin national actuel en céréales, ainsi que la projection de cette demande pour les années à venir (2010 -2025).
- l'évolution de la production et des superficies céréalières des dix dernières années, et l'importation de l'année en cours.
- Estimation des quantités d'eau contenues dans les céréales en Algérie

Dans cette partie, nous évaluons les quantités d'eau virtuelle que recèlent les céréales ce qui permet de chiffrer et de définir le sens de l'eau virtuelle et son importance en Algérie.

## **B ) Objectifs de l'eau virtuelle**

Les objectifs de l'eau virtuelle sont doubles : fournir aux gouvernements des pays déficitaires en eau les informations et les outils pour leur permettre:

- d'opter pour l'utilisation de l'eau virtuelle comme moyen performant pour parvenir à économiser davantage d'eau, et de faire de ce procédé une partie intégrante des politiques régionales et nationales des gouvernements en matière de l'eau, de nourriture et d'environnement;
- d'instaurer des mécanismes pour soutenir les pays concernés par des pénuries d'eau chroniques afin de trouver les moyens (à travers l'utilisation de leurs ressources humaines et naturelles) d'accéder aux devises étrangères et aux marchés internationaux pour assurer leur propres sécurité alimentaire.

# Première partie Synthèse bibliographique

## Chapitre I L'eau virtuelle des céréales en Algérie

### 1. Introduction

---

Lors du séminaire organisé par le conseil mondiale de l'eau en Mars 2007, portant sur « la gestion de la demande en eau en méditerrané progrès et politiques »; une question relative à l'exploitation du potentiel hydrique dans la région a été posée:

« Pourquoi n'y a-t-il pas de véritables guerres de l'eau dans la région ? » (WWC, 2007)

Citons le cas de la Libye et son exploitation abusive de l'albien qui est une grande nappe partagée avec d'autres pays voisins.

La réponse à cette question est liée aux politiques alimentaires des pays de la région basées essentiellement sur l'importation de produits agricoles.

« ...Il y a d'avantage d'eau qui pénètre dans la région via les importations alimentaires par an que d'eau qui s'écoule annuellement dans le Nil et le Jourdain... » (Allan, 1997).

De ce fait, les pays de la région ne voient pas la nécessité d'utiliser leurs ressources hydriques, tant que leurs moyens financiers leurs permettent de recourir aux importations massives de produits alimentaires qui recèlent d'importantes quantités d'eau virtuelles qu'ils ne pourront, dans certains cas, jamais mobiliser par manque de précipitations.

### 2. Le concept de l'eau virtuelle

---

Les travaux de comptabilisation de l'eau virtuelle ont été accompagnés d'une évolution de sa définition.

La première définition correspond à la quantité d'eau consommée dans la sphère de la production (Renault, 2003) ou l'eau utilisée dans le processus de la production d'un bien économique (FAO, 2005). Elle s'exprime, généralement, en litres par kilo.

Le concept de l'eau virtuelle a été développé au milieu des années 80 par des économistes israéliens. Mais c'est au début des années 90 que le professeur J. Tony Allan de l'université de « l'université de King, London » a définie pour la première fois ce concept (kerbart Sivakuma, 2004).

Les différences dans l'utilisation de cette eau, sont frappantes d'un continent à l'autre. Si, en Asie, on en consomme en moyenne 1 400 l/hab/j, ce chiffre avoisine les 4 000 l en Europe et 5 400 l aux Etats-Unis (Hoekstra et Hung, 2002).

Pour les produits agricoles et les produits d'élevage, l'eau virtuelle est principalement l'eau évapo transpirée par les cultures.

Afin de cerner ce concept, nous analysons dans ce qui suit, ses deux aspects théorique et pratique, en prenant comme cas d'étude notre pays.

## 2.1. La perspective intensive de l'eau virtuelle

Cette perspective est théorique, elle met en liaison deux variables qui sont les ressources hydriques et les produits agricoles, il s'agit donc de l'eau évapo transpirée. « Bilan Hydrique ».

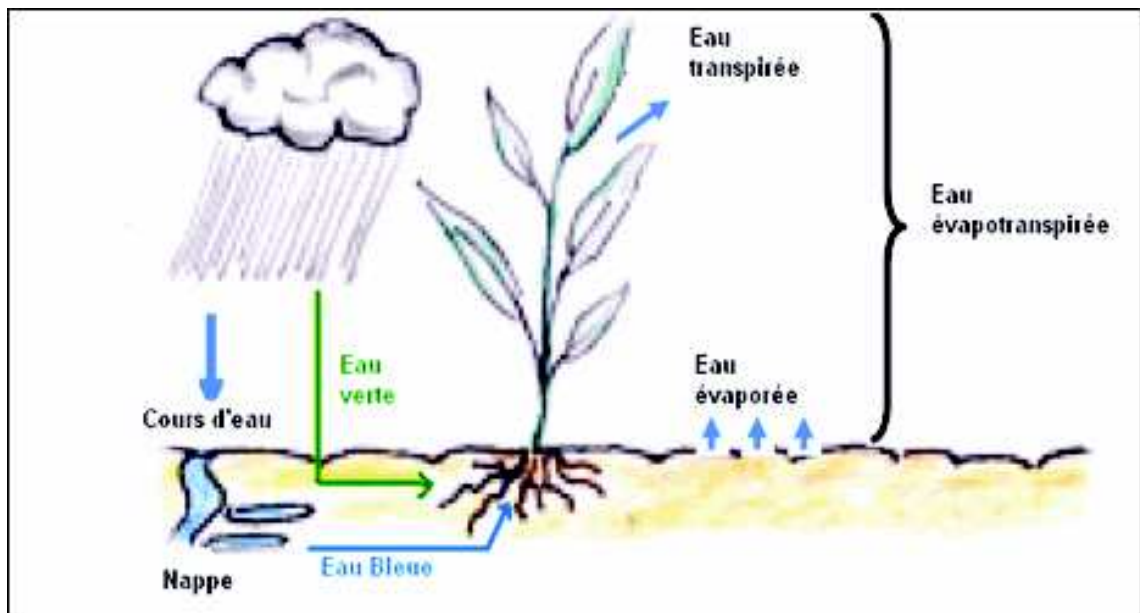


Figure 1 : Composantes de l'eau virtuelle

Source : PNUE. 2008

## 2.2. La perspective extensive de l'eau virtuelle

L'approche extensive impose l'introduction d'une troisième variable : le commerce, qui s'additionne aux deux variables auxquelles se limite l'approche intensive: ressources hydriques et production agricole.

Le commerce de l'eau virtuelle «transferts silencieux d'eau» est conçu comme une stratégie politique qui envisage l'importation d'eau virtuelle dans les denrées agricoles, par les pays à climat aride.

Cette eau mesure le degré de dépendance d'un pays par rapport au marché international pour assurer son approvisionnement en produits contenant cette eau.

Cependant, la composante économique de cette eau (le commerce de l'eau virtuelle) est liée à la théorie de l'avantage comparatif du commerce international<sup>1</sup>.

### A ) Importation des céréales en Algérie

La figure 2 montre les volumes d'eau virtuelle importés par différents pays, ainsi, l'Algérie se situe dans le groupe de pays à densité élevé.

<sup>1</sup> 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.

Il y a lieu de préciser que l'Algérie qui compte 35 millions d'habitants environ, importe 12,4 Gm<sup>3</sup> d'eau par an, avec l'exploitation de 35 % de son potentiel hydrique limité, contre 18 Gm<sup>3</sup> en Égypte qui exploite à 99 % son potentiel hydrique et qui compte environ 90 millions d'habitants. L'Algérie se situe au même rang que la République islamique d'Iran et l'Arabie Saoudite.

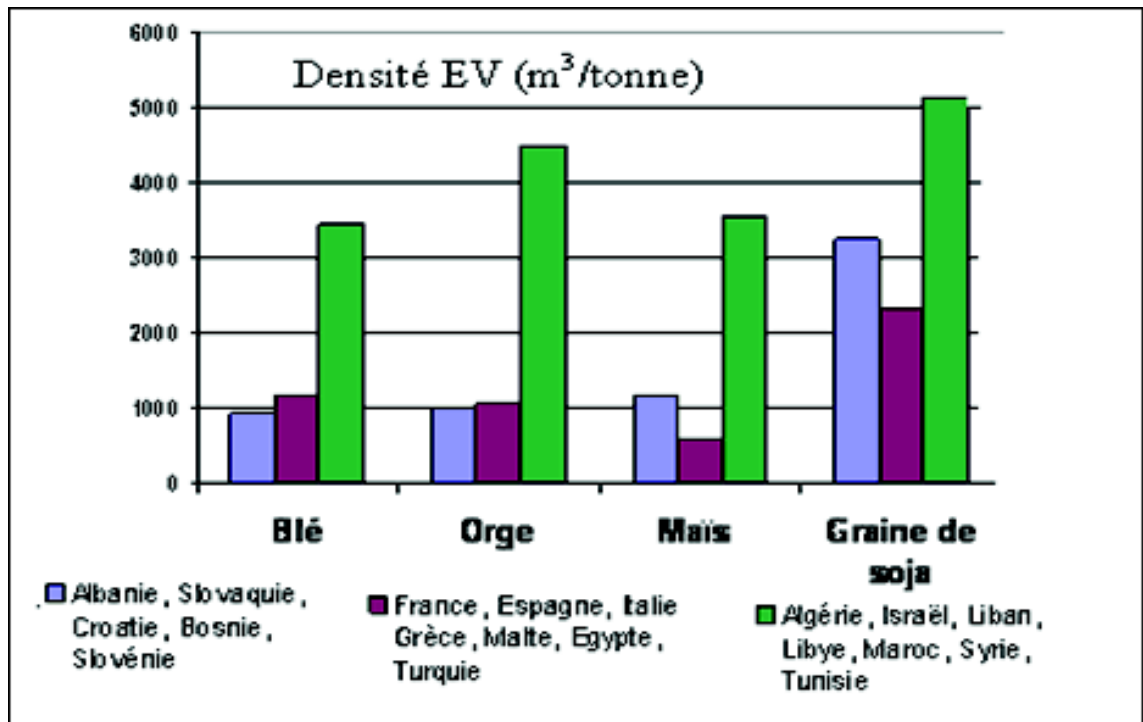


Figure 2: Densité de l'eau virtuelle importée dans les céréales en m<sup>3</sup>/tonne

Source Fernandez S. 2007

La France est le premier fournisseur de céréales pour l'Algérie, que ce soit le blé dur ou tendre, selon les statistiques des Douanes.

Les autres quantités de blé dur ou tendre sont importées de différents pays, notamment des États-Unis, d'Italie, de Pologne, d'Allemagne, de Suède, l'Ukraine et de la Russie Fédérale.

### B ) Facteurs déterminants les échanges de l'eau virtuelle

On peut définir trois facteurs majeurs qui déterminent l'importance de l'importation de l'eau virtuelle dans un pays :

- le premier est le volume global de la consommation. Celui-ci est directement relié à la richesse d'un pays. c'est pourquoi des pays comme les États-Unis, l'Espagne ou la Suisse arrivent en tête.
- un deuxième facteur est le mode de vie des habitants: une alimentation riche en viande augmente considérablement la consommation en eau d'un pays. Chaque américain consomme ainsi 120 kg de viande par an, trois fois plus que la moyenne mondiale.
- le troisième facteur est le climat : défavorable de certains pays et qui ont le plus souvent de mauvaises pratiques agricoles coûteuses en eau (Calderon, 1999).

### C ) Critères d'analyse

- la période : nous avons choisi un intervalle de 18 ans, de 1989 à 2006, ce qui nous a permis de considérer l'avant- et l'après- PNDAR ;
- le deuxième paramètre relève des ressources en eau disponibles en Algérie ;
- nous avons également considéré les ressources en eau théoriquement utilisées dans la production des céréales, en utilisant le tableau d'équivalence de la FAO (annexe 1) qui considère que la production d'un kg de céréale nécessite 1500 kg d'eau;

## 3. Evolution de la production céréalière

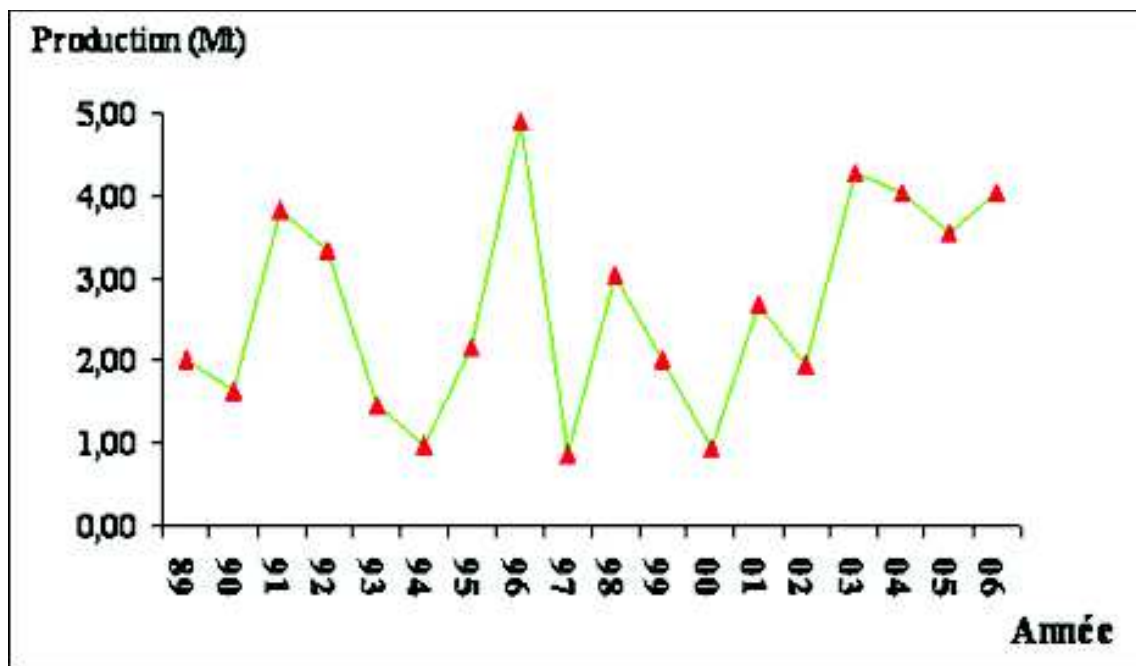


Figure 3 : Evolution de la production céréalière (Millions tonnes) en Algérie période [1989 – 2006]

(Source : MADR, 2007)

Il est toutefois remarquable que dans une année sèche (1999/2000), la production des céréales a régressé.

## 4. Evolution de la superficie céréalière

Durant la période 1989-2001, la superficie récoltée des céréales d'hiver<sup>2</sup> occupe en moyenne annuellement une superficie de 2,4 millions d'ha, représentant ainsi les deux tiers (65,1%) de la superficie totale emblavée. Pour la campagne 2000/2001, la superficie emblavée en céréales d'hivers a connu un léger recul de 8,6% par rapport à la campagne précédente, alors que la superficie récoltée a plus que doublé.

La structure moyenne de la superficie récoltée par espèce de céréale d'hiver est la suivante : 44% pour le blé dur, 34% pour l'orge, 19% pour le blé tendre et 3% pour l'avoine (fig. 4).

<sup>2</sup> Blé dur ; blé tendre ; orge et avoine.

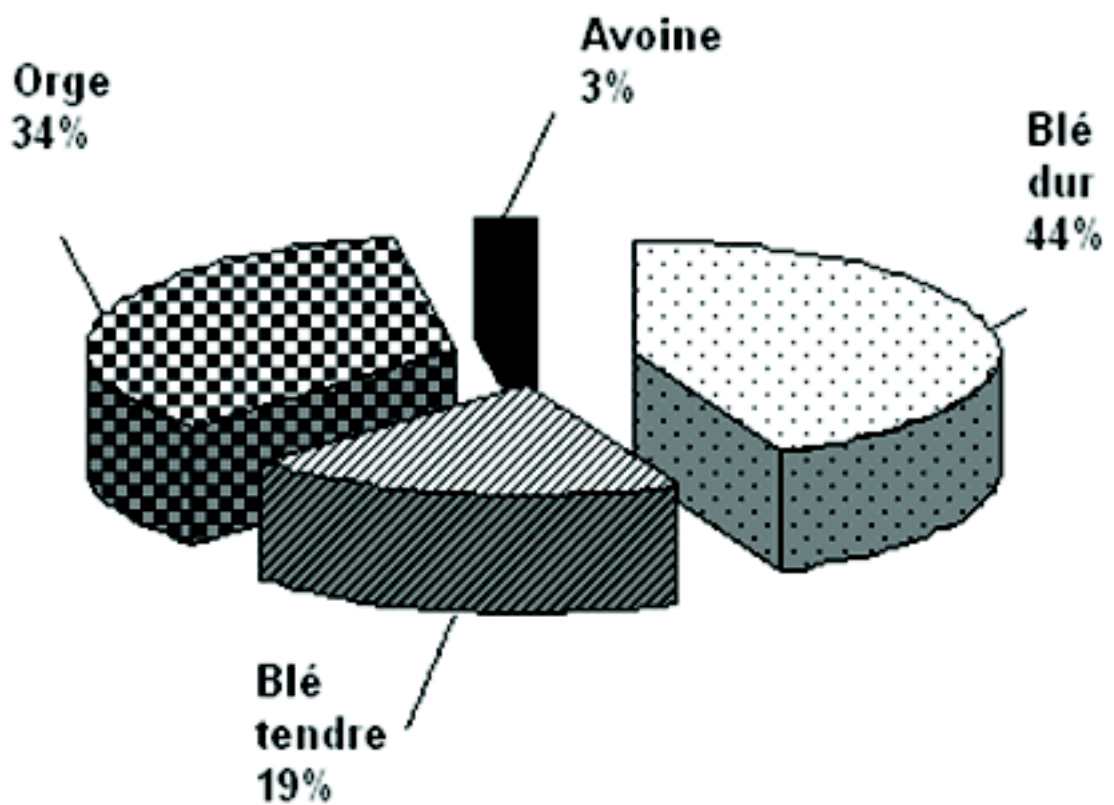


Figure 4 : Répartition de la superficie moyenne des céréales 1989-2001

## 5. Utilisation des ressources hydriques dans la production céréalière

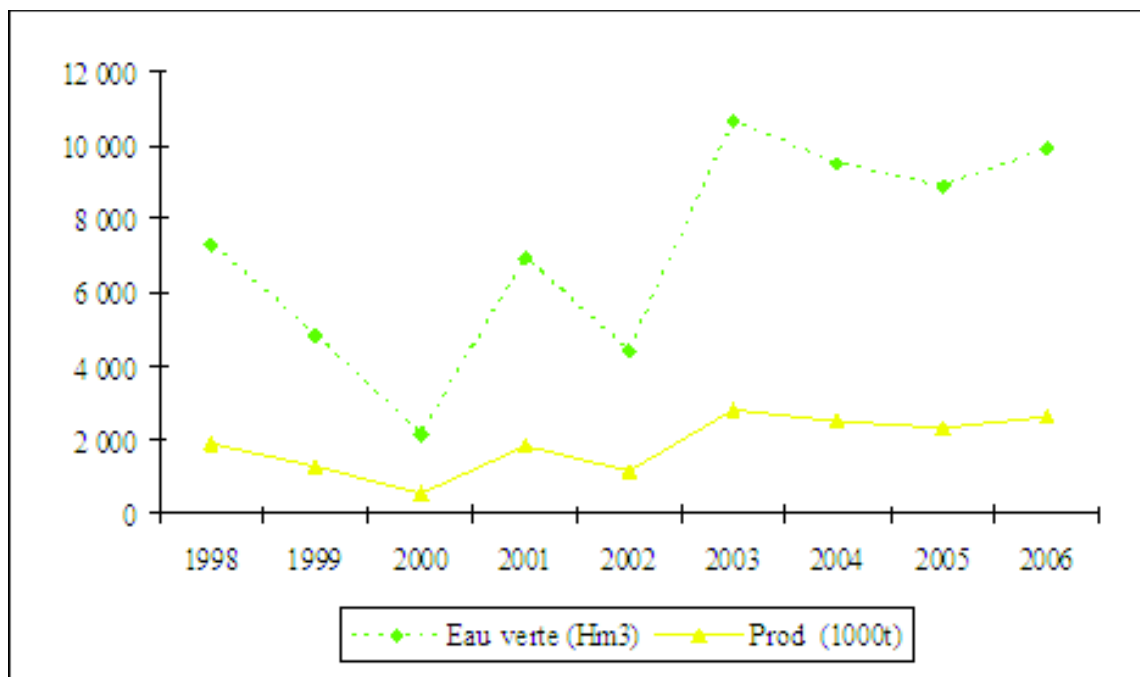




Figure 5 : Consommation de l'eau verte dans la production céréalière en Algérie 1988-2006

Source (1) série B. source (2) Euro stat .

La superficie céréalière irriguée en Algérie ne représente que 3% de la superficie totale des céréales (MADR, 2006), sachant que selon les travaux d'expérimentation de l'irrigation des céréales menés au niveau des fermes expérimentales de l'INSID et de l'ITGC, et qui ont porté principalement sur l'effet de l'apport d'eau sur l'amélioration de la productivité des céréales démontrent qu'un apport d'eau augmente le rendement à l'hectare de 10 q.

## 6. Evaluation du besoin national moyen en céréales

La céréaliculture constitue la base de l'alimentation en Algérie, les besoins nationaux en cette denrée dépassent les 7 Mt en moyenne par an (MADR 2007), ce qui représente un besoin théorique unitaire de 230 kg/hab./an, cependant la consommation mondiale moyenne est évaluée à 100 kg/hab./an.

La consommation moyenne par habitant et par an en céréales sans cesse croissante sera de l'ordre de 250 kg/hab./an selon quelques rapports, si on prend ce besoin pour les années à venir, les besoins nationaux en céréales seront comme suit:

Tableau 1 : Demande en céréales et population 2006, 2010 et Projection2025

Année	2006	2010	2025
Besoin en millions de tonnes (Mt)	7.4	8.7	10.6
Population	32 312 305	34 769 843	42 468 698

Source : ONS, 2006

## 7. Conclusion

Ce chapitre a permis d'avoir une idée générale sur la notion de l'eau virtuelle, les données exposées annoncent la place de l'eau verte qui est une ressource rare et précieuse, puisqu'elle contribue théoriquement dans la production céréalière en Algérie à plus de 97%. Un tel pourcentage confirme davantage que notre céréaliculture est tributaire de la pluviométrie, en comparaison avec la Tunisie dans laquelle cette eau contribue à hauteur de 60% (Aquastat., 2005).

Pourquoi, alors toutes cette dépendance vis-à-vis des aléas climatiques?

Dans le second chapitre nous allons présenté un bref aperçu sur les ressources en eau mobilisées et mobilisables dans les années à venir pour le secteur de l'agriculture.

# Chapitre II Diagnostic de la situation actuelle et projections futures des disponibilités en eau Agricole

## 1. Diagnostic des ressources hydriques et de la population

L'Algérie est au cœur d'une des régions du monde (MOAN, Moyen Orient et Afrique du Nord) les plus déficitaires en eau, soit en dessous du seuil théorique de rareté fixé par la banque mondiale à  $1000 \text{ m}^3/\text{hab./an}$  d'eau renouvelable.

Si en 1962, la part en eau théorique par habitant et par an était de  $1500 \text{ m}^3$ , elle n'était plus que de  $720 \text{ m}^3$  en 1990,  $680 \text{ m}^3$  en 1995,  $630 \text{ m}^3$  en 1998, estimée à environ  $600 \text{ m}^3$  à l'heure actuelle, elle ne sera que de  $500 \text{ m}^3$  en 2025 (MRE, 2006).

La pression démographique varie en fonction des régions naturelles et se concentre dans la région est et centre du pays, ce qui explique les taux de couvertures faibles dans ces régions par rapport à celle de l'ouest qui est déficitaire en la ressource hydrique.

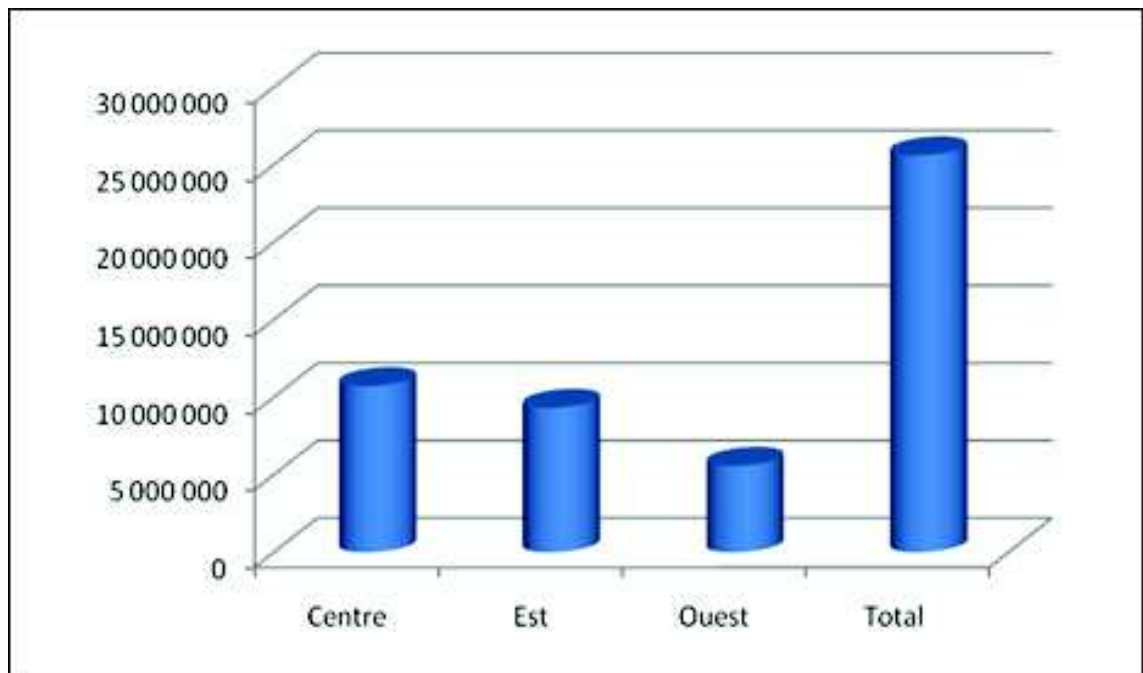


Figure 6: Répartition de la population par région naturelle

CHABACA, 2007

### 1.1. Situation actuelle de l'AEPI dans les zones céréalières<sup>3</sup>

L'alimentation en eau potable et industrielle est à l'origine d'une concurrence intersectorielle avec l'agriculture. Pour l'année 2006, un déficit marquant dans les ressources mobilisées par rapport aux besoins de la région Nord et Hauts plateaux est ressenti, ce déficit est de l'ordre de  $-140 \text{ hm}^3/\text{an}$  pour la région Nord, et  $-387 \text{ hm}^3/\text{an}$  pour la région des Hauts Plateaux, réduisant d'une part la disponibilité moyenne de l'eau évaluée à  $43 \text{ hm}^3/\text{hab./an}$ , ce qui représente la moitié du besoin théorique qui est de  $83 \text{ m}^3/\text{hab./an}$  et diminuant par conséquent les possibilités d'affectation de la ressource à des fins agricoles d'autre part.

<sup>3</sup> La zone céréalière (chapitre suivant) coïncide en grande partie aux zones Nord et Hauts Plateaux (24 wilayas céréalières sur 25 appartiennent à la région Nord décrite dans le PNE, cependant 7 sur 14 wilayas appartiennent à la région des Hauts Plateaux, ces deux régions sont de même subdivisées en trois zones: Est ; Ouest ; Centre).

Les besoins en AEPI dans la région Nord et Hauts Plateaux sont couverts à 71 %.

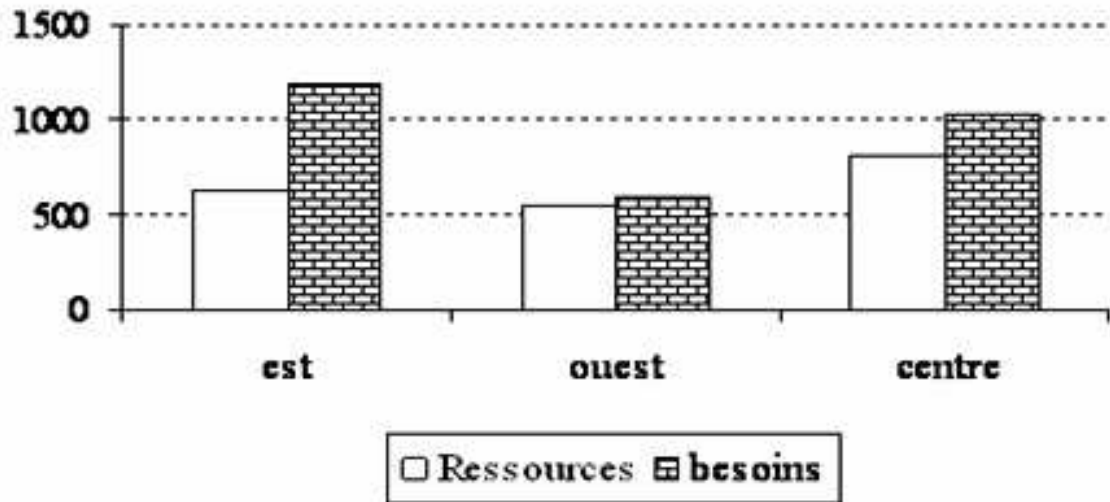


Figure 7: Situation actuelle de l'A.E.P.I dans la région Nord et Hauts plateaux ( $hm^3$ )

Source: MRE, 2006

## 1.2. Situation actuelle de l'irrigation

Les besoins en eau d'irrigation dans les régions Nord et Hauts Plateaux, déterminés par les services du ministère des ressources en eau (MRE) pour l'année 2006 excèdent la ressource en eau mobilisée avec un écart de  $-346 \text{ hm}^3/\text{an}$  pour les Hauts Plateaux, et d'environ un milliard de  $m^3$  ( $-946 \text{ hm}^3$ ) pour le Nord.

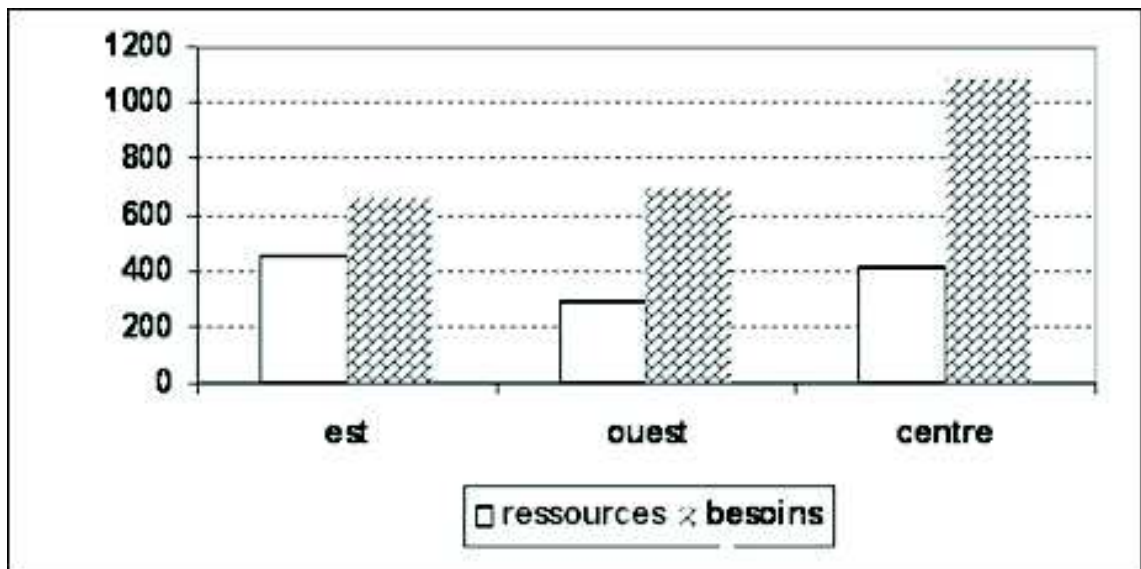


Figure 8: Situation actuelle de l'irrigation dans la région Nord et Hauts plateaux (Volume en  $hm^3$ )

Source: MRE, 2006

## 2. Projections climatiques

Les modèles de simulation; même s'ils ne sont pas assez précis pour les pays Maghrébins, convergent pour estimer :

- un réchauffement probable de la région de l'ordre de 2° à 4°, en particulier plus de 1°C de réchauffement entre 2000 et 2020 selon des études réalisées pour le Maroc et l'Algérie (Agoumi A, 2001).
- une réduction de 5 à 20% des précipitations vers 2020 et une diminution des ruissellements annuels de 10 %<sup>4</sup> (Vindel B., Seiler A., 2005), cela représenterait la perte d'un barrage par an, se qui signifie une perte d'un volume dépassant les **5 hm<sup>3</sup>** pouvant assurer une irrigation de complément d'une superficie de **2000 ha** de céréales avec un complément de **2500 m<sup>3</sup> /ha**.

Ceci entraîne des impacts sur l'agriculture, liés à:

- -une baisse de rendements des cultures pluviales pouvant atteindre jusqu'à 50% durant la période 2000–2020;
- une réduction de la durée végétative des cultures; nécessitant par conséquent l'investissement dans le domaine de la biotechnologie et la sélection des variétés.

### 2.1. Projections futures de la ressource en eau

Des projections climatiques font paraître deux scénarios, pour la période 2010 - 2025:

- l'un à pluviométrie moyenne
- l'autre avec une périodicité importante de la sécheresse, entraînant une réduction de 50% des volumes régularisés pour les eaux superficielles et de 30% des prélèvements en eau souterraines.

Les besoins en eau d'irrigation et la ressource en eau disponibles projetées définies sur la base de l'un des deux scénarios sus cités, en année sèche (scénario réaliste) sont comme suit :

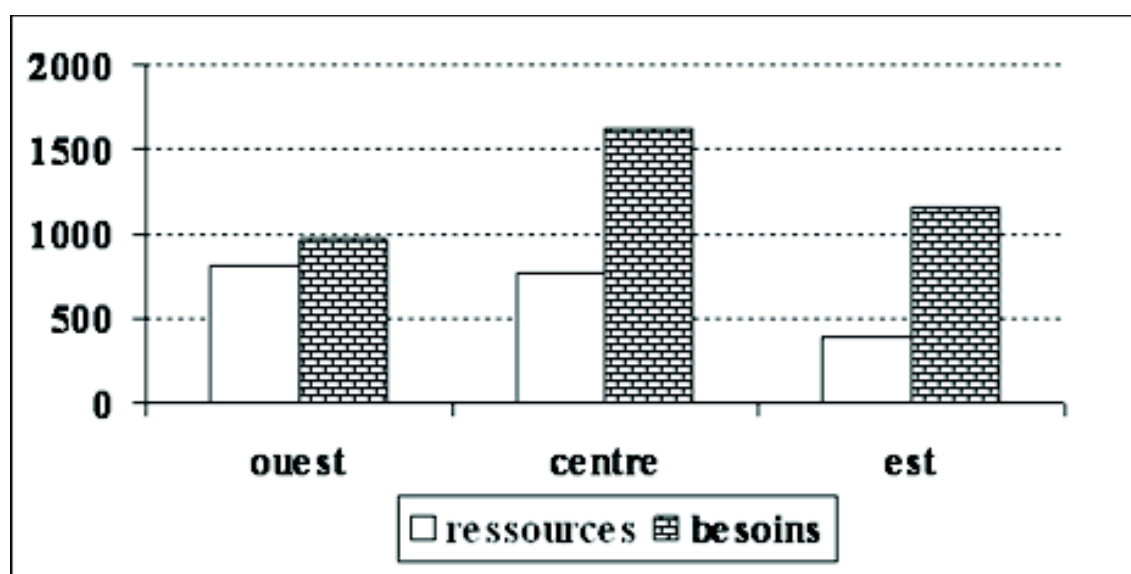


Figure 9 : Projections des Besoins et des ressources en eau d'irrigation pour l'année 2010

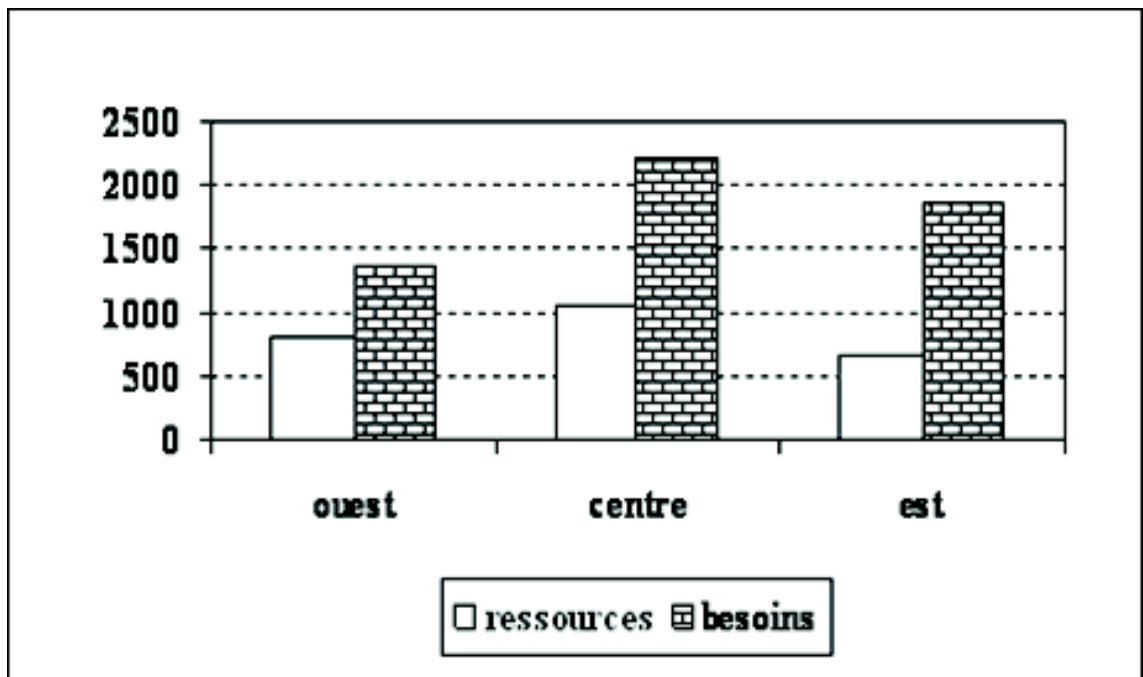


Figure 10 : Projections des Besoins et des ressources en eau d'irrigation pour l'année 2025

Les besoins en eau d'irrigation pour les années 2010, 2025 sont évalués à 4 et 6,4 milliards de m<sup>3</sup> dans les régions Nord et Hauts Plateaux contre un volume disponible de 2 puis de 2,6 milliards de m<sup>3</sup>, donnant un déficit de 2 et 3.8 milliards de m<sup>3</sup>, le volume disponible provient de la mobilisation des ressources souterraine et superficielle.

### 3. Conclusion

Les données exposées dans le deuxième chapitre traduisent une situation hydrique révélant un déficit avéré en quantités d'eau mobilisées pour des fins agricoles, du fait des potentialités limitées en cette ressource naturelle, et de la concurrence intersectorielle (AEPI et autres).

Le troisième chapitre porte sur l'eau et les céréales en Algérie, en abordant les modes d'irrigation utilisés.

## Chapitre III L'eau et les céréales

### 1. Introduction

Le problème du stress hydrique que subit les céréales dans les zones arides et semi arides, s'identifie à l'aide de trois facteurs, à savoir : son intensité; sa durée et sa fréquence. Ces facteurs permettent une meilleure appréciation du niveau de satisfactions des besoins en eau des céréales.

L'efficacité de l'eau qui est le rapport entre le rendement récolté (t/ha) et la quantité d'eau consommée ( $m^3$ ) durant le cycle de développement, permet de pallier au problème du stress hydrique.

## 2. Modes d'irrigation des céréales

---

Deux types d'irrigation sont pratiqués actuellement en Algérie, l'irrigation d'appoint et l'irrigation totale, particulièrement au sud qui occupe une superficie irriguée de 30 400 ha (MADR, 2006)

### 2.1. Irrigation totale ou systémique

Ce type d'irrigation est basé sur la satisfaction complète des besoins en eau. Cette irrigation a pour but l'atteinte de l'Etm.

Les quantités d'eau sont apportées en fonction de l'humidité du sol, la première irrigation suit le semis, elle permet l'homogénéisation et l'optimisation du taux de levée des plantes qui conditionne le nombre de plantes/ $m^2$ .

Les autres irrigations favorisent l'élaboration du nombre de grains/ $m^2$  et le poids de mille grains (PMG).

Les apports d'eau en pré anthèse ont un effet plus significatif sur le rendement que les apports en post anthèse. En effet, l'irrigation au stade tallage a un double objectif, d'une part, elle favorise le tallage et d'autre part, elle assure une meilleure valorisation des apports d'eau en post floraison (Ouattar et al, 1990).

En Algérie, l'irrigation totale est pratiquée uniquement au sud, cas des systèmes oasiens, ou 8 à 10 irrigations peuvent être apportées.

### 2.2. Irrigation de complément ou d'appoint

Ce mode s'impose pour corriger l'irrégularité dans temporelle de la ressource hydrique, il consiste à apporter une quantité d'eau limitée pour pallier au déficit hydrique temporaire, il est d'autant plus bénéfique qu'elle est appliquée aux stades critiques.

Cette pratique permet d'augmenter le rendement et assure la stabilité de la production céréalière, même sous des conditions climatiques variables.

Le nombre des irrigations dépend de la zone agro. climatique, il est de l'ordre de 1 à 3 dans les zones humides, dans les zones semi arides, il est recommandé d'apporter 3 à 4 irrigations, cependant il atteint 5 à 6 irrigations dans les zones arides.

Le nombre d'irrigations précité pour chacune des zones peut être revu à la hausse en cas de semis tardifs, d'utilisation de variétés à cycle long ou de sols peu profonds.

## 3. Effet de l'irrigation des céréales en Algérie

---

Les essais menés par l'ITGC sur des parcelles de production de blé dur et du blé tendre avec une superficie minimale de 1 ha conduite en irrigué et comparée à des parcelles conduite en conditions pluviales.

Les résultats des essais indiquent que

- le rendement final ne dépend pas du cumul pluviométrique mais de la répartition de cette dernière;
- les rendements sont proportionnels aux doses d'irrigation apportées et aux phases critiques de développement de la céréale.
- la période critique d'irrigation correspond généralement au stade montaison à post floraison. A ce stade la céréale est très sensible au stress hydrique.
- la près irrigation en conditions sèches est importante pour une levée totale et homogène;
- la réussite de l'irrigation d'appoint dépend étroitement de la réussite de la phase de levée
- la variété HD1220 qui montre une bonne rentabilité en irriguée.
- les stades montaison et épiaison sont très sensibles au stress hydrique
- la meilleure période d'irrigation se situe durant la phase de la montaison au début de la formation du grain, durant cette phase, les besoins en eau de la céréale sont relativement importants et la culture est très sensible au stress (Ameroun et al; 2002).
- les phases épiaison, floraison et grossissement du grain constituent les phases critiques.
- l'irrigation au stade montaison assure 50% du potentiel de la culture
- l'irrigation des céréales permet d'avoir des rendements de 35 q/ha représentant l'équivalent d'une superficie de 5 ha d'une culture de céréale menée en sec
- l'irrigation précoce (montaison) entraîne un effet dépressif sur le rendement en grains, cependant l'irrigation tardive (épiaison) permet une augmentation du nombre des épis et le nombre de grains par épi.
- l'apport de 40 mm (20 mm au début épiaison + 20 mm au début floraison) a permis d'obtenir la meilleure efficacité économique qui est de l'ordre de  $19.95 \text{ DA/m}^3$ , alors que le prix de l'eau d'irrigation considéré est de  $5 \text{ DA/m}^3$ .

## 4. Conclusion

---

Le troisième chapitre s'est proposé pour définir la relation existante entre la ressource en eau, sous ses différentes formes (verte ou bleue), ainsi que la place de l'irrigation des céréales en Algérie.

Nous verrons dans le quatrième chapitre qui est consacré à l'étude de la zone d'étude à savoir les zones céréalières potentielles, ce dernier peut avoir un effet remarquable sur la production nationale.

# Chapitre IV Présentation de la zone d'étude

## 1. Zones aptes à la céréaliculture

---

Les zones aptes à la céréaliculture en Algérie sont définies sur la base de trois paramètres, à savoir : les précipitations; la disponibilité en ressources hydriques et la qualité des sols.

---

Notre étude porte sur 21 wilayas de l'Algérie du nord, représentées par 21 stations météorologiques sur une zone potentielle couvrant 31 wilayas, comme le montre la carte (fig. 10). Cette zone est limitée par les coordonnées géographiques suivants:

Longitude : entre 1,27 LW et 7,49 LE, Latitude : entre 36,41et 35,01 LN.

## 2. Caractéristiques des sols

Les sols calcimagnésique sont les plus répandus au Nord de l'Algérie avec une superficie de 12.8 millions ha, alors que les moins représentés sont les sols hydro morphes situés essentiellement dans les wilayas d'Annaba, El Taraf.

La steppe est caractérisée par des sols squelettiques de faible profondeur, pauvres et fragiles. Les bons sols existants dans la steppe sont seulement localisés dans les dépressions et les piémonts de montagnes.

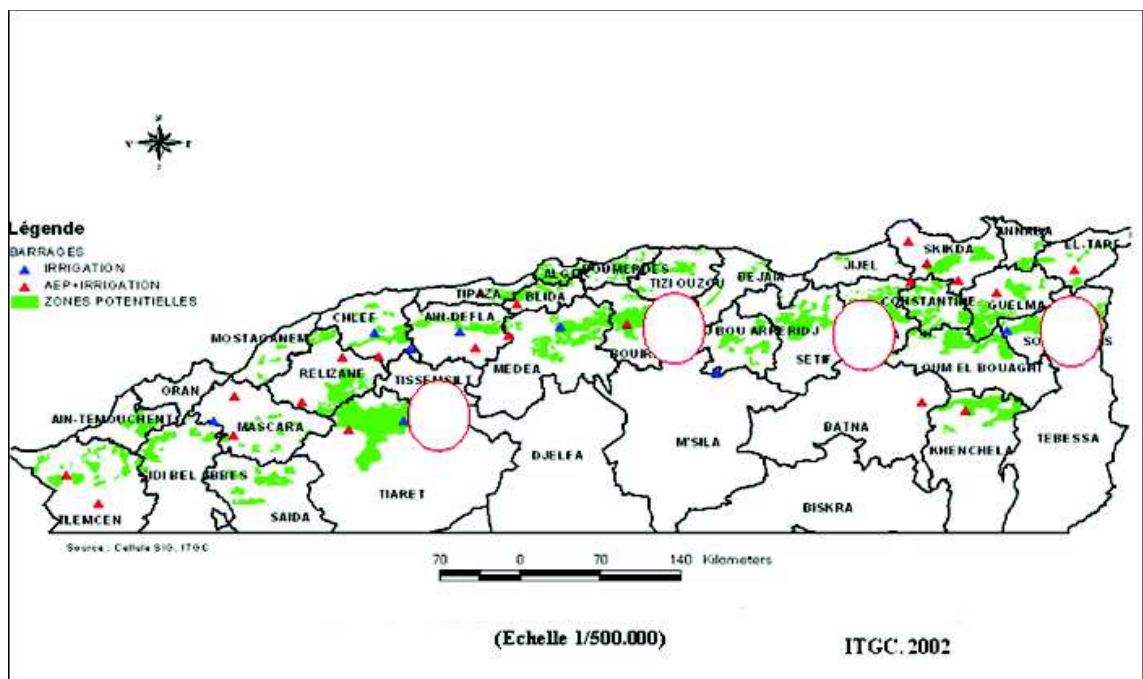


Figure 11: Zones potentielles à la céréaliculture et localisation des barrages en Algérie

## 3. Données climatiques

### 3.1. Précipitations

Le cumul pluviométrique mensuel dans la zone d'étude oscille entre une valeur maximale de 204 mm enregistré dans la wilaya de Jijel et un minimum de 1 mm à Tlemcen.

Le cumul annuel le plus important 939 mm est enregistré dans la wilaya de Jijel. Le plus faible est de 257 mm à SBA



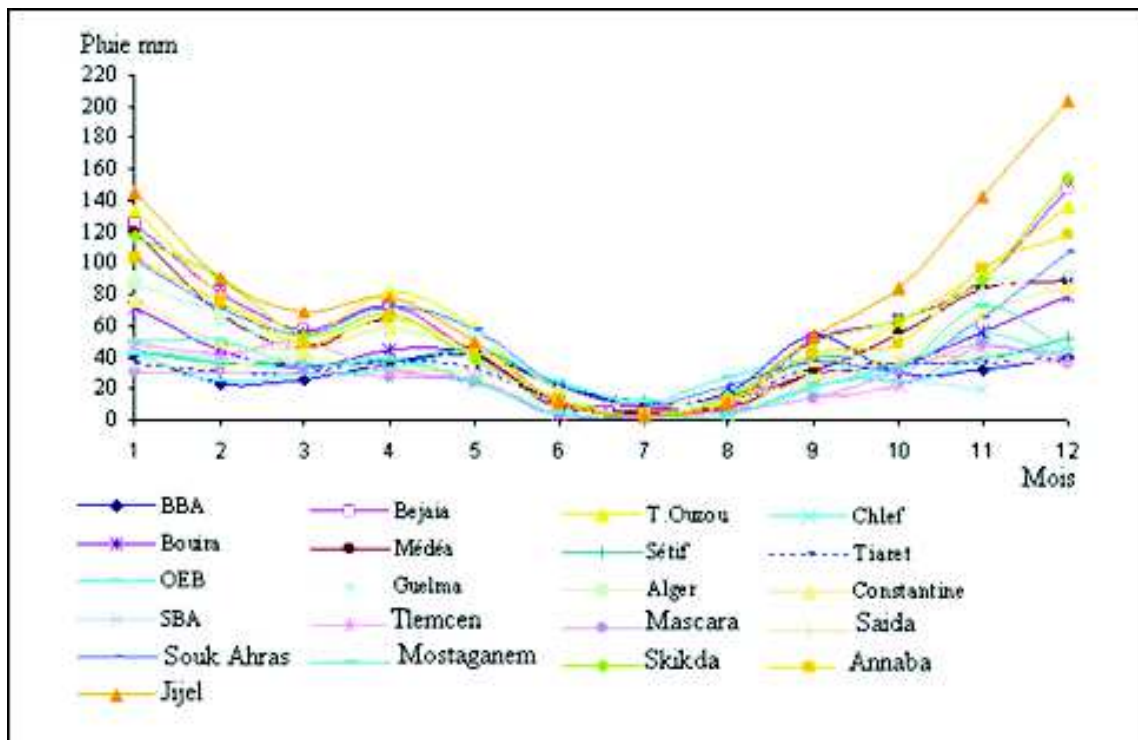


Figure 12 : Evolution mensuelle des précipitations

Source : ONM, 2006

### 3.2. Température

La température oscille entre un maximum de 39 degrés enregistré dans la station de Chlef en mois d'Août et un minimum de 2 degrés dans la wilaya d'OEB en mois de Janvier

### 3.3. Etages bioclimatiques

L'étage humide et subhumide correspond à une pluviométrie annuelle supérieure à 600 mm, il couvre des zones restreintes, situées dans les régions Nord - Est et dans la partie septentrionale d'Ouest en Est de l'Atlas tellien. La zone semi aride correspond à une pluviosité annuelle entre 400 et 600 mm.

La steppe méridionale arides et présaharienne correspondent à une pluviométrie de 100 à 300 mm.

Ces zones sont caractérisées par une réduction importante du couvert végétal donnant lieu à des parcours médiocres sur des sols squelettiques et ayant atteint un seuil de dégradation très avancée.

Les 21 stations étudiées se situent dans les régions des Hauts Plateaux et du Nord, le climagramme d'Emberger (fig. 12) présente les étages bioclimatiques des wilayas concernés.

Cette étude s'effectue donc sur l'étage bioclimatique humide qui est couvert par six wilayas. quatre wilayas dans l'étage subhumide et 10 wilayas dans l'étage semi aride qui est caractérisé par une grande variabilité des conditions climatiques.

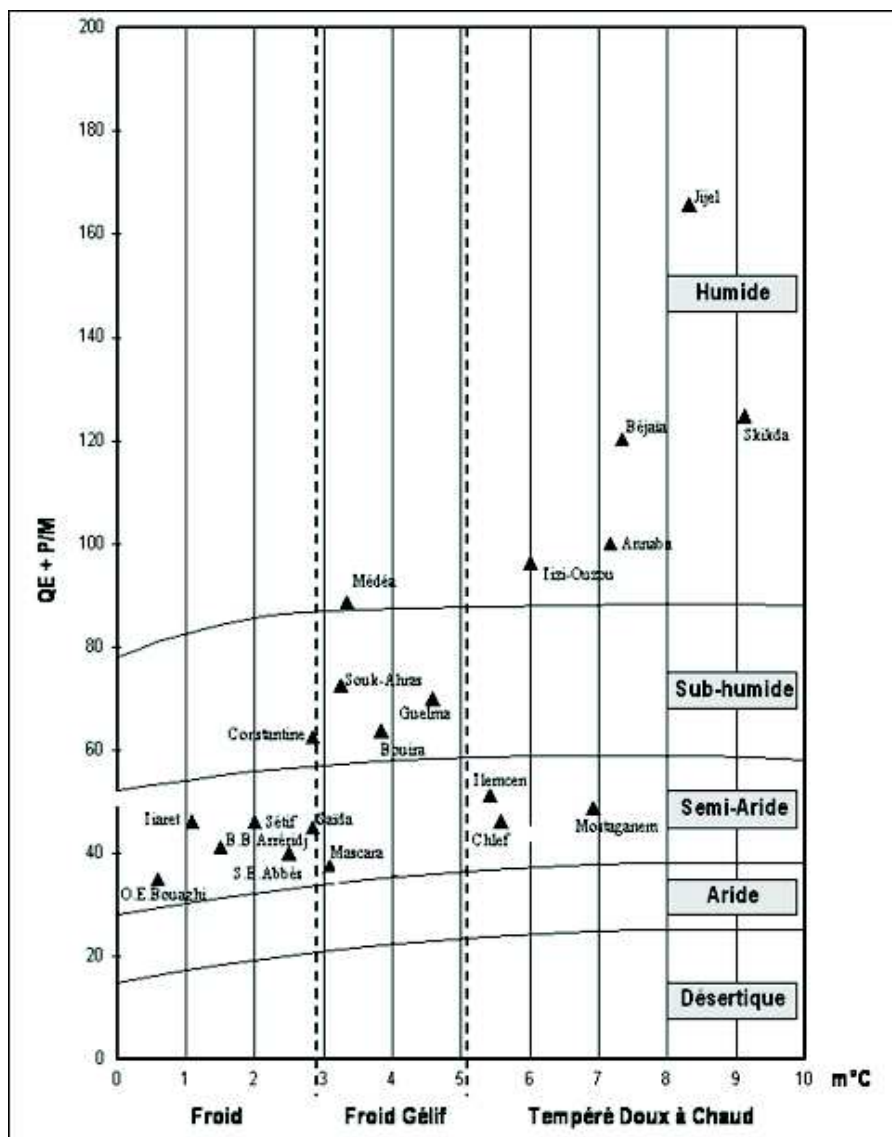


Figure 13: Positionnement des stations étudiées sur le climagramme d'EMBERGER  
Source : ITGC, 2008

# Deuxième partie Matériels et méthodes

## Chapitre I Caractéristiques de l'analyse en composante principale

### 1. Introduction

L'analyse en composante principale (ACP) est une méthode d'analyse statistique de données, elle permet de décrire et d'explorer les relations qui existent entre plusieurs variables simultanément, et de présenter sous la forme géographique le maximum de l'information contenu dans un tableau caractéristique de  $n$  variables et  $x$  individus. Cette méthode est réalisée par plusieurs logiciels parmi : le Xlstat.

### 2. Présentation de l'ACP

Les données de base se présentent sous forme d'un tableau, avec en lignes les individus (mois) et en colonnes les données climatiques des 21 stations en question.

L'ACP a pour but de remplacer les paramètres par 2 axes qui seront à la fois interprétables et représentatifs de l'information contenue dans le nuage de points. Son objectif est alors de trouver des sous espaces qui représentent au mieux le nuage initial.

**Tableau 2 : Présentation de tableau de base de données climatique**

Mois	P <sub>1</sub>	Tmx <sub>1</sub>	Tmn <sub>1</sub>	TM <sub>1</sub>	H <sub>1</sub>	VMv <sub>1</sub>	P <sub>21</sub>	Tmx <sub>21</sub>	Tmn <sub>21</sub>	TM <sub>21</sub>	H <sub>21</sub>	I <sub>21</sub>
Janvier	42	10	2	6	73	6	92	15	5	9	76	5
Février	23	12	3	7	66	7	62	16	5	10	74	6
Mars	26	16	5	10	59	8	51	20	6	12	71	6
Avril	36	18	7	13	55	8	73	21	8	14	71	7
Mai	42	24	12	18	51	10	56	27	11	19	66	9
Juin	21	30	17	24	41	11	18	32	16	24	57	10
Juillet	9	34	21	27	36	11	3	35	18	27	51	11
Août	16	33	20	27	38	10	15	36	20	27	51	10
Septembre	53	27	16	22	52	9	42	32	18	24	61	8
Octobre	29	22	12	17	57	7	40	27	14	20	68	7
Novembre	32	16	6	10	69	6	81	21	9	14	72	5
Décembre	39	11	3	7	74	6	93	16	6	11	75	5

Avec : P : pluie ; Tmx et Tmn : température maximale et minimale ; H : humidité du sol ; VMv : vitesse moyenne du vent et I : insolation.

Les indices de 1 à 21 représentent les stations en question.

**Tableau 3 : Présentation des stations météorologiques et leurs indices**

Station	Indice	Station	Indice	Station	Indice
BBA	1	Tiaret	8	Mascara	15
Bejaia	2	OEB	9	Saida	16
T.Ouzou	3	Guelma	10	Souk Ahras	17
Chlef	4	Alger	11	Mostaganem	18
Bouira	5	Constantine	12	Skikda	19
Médéa	6	SBA	13	Annaba	20
Sétif	7	Tlemcen	14	Jijel	21

### 3. Centrage et réduction des valeurs

---

Le tableau contient des informations qui ont des unités différentes ce qui rend l'interprétation des données difficile. Pour parer à ce problème, le principe est basé sur un centrage de chaque colonne: on soustrait la valeur de la moyenne de la colonne à chaque valeur. La nouvelle moyenne de la colonne va être 0. Puis on fait une réduction de la colonne, c'est à dire que l'on va diviser chaque valeur par l'écart type de sa colonne. Le nouvel écart type de la colonne va être 1.

### 4. Matrice de variance covariance et valeurs propres

---

On appelle D la matrice des données centrées réduites, t (D) est la matrice transposée de D (c'est à dire le tableau obtenu en mettant les individus comme colonne et les variables en lignes).

La matrice de corrélation est symétrique par rapport à la diagonale. Elle donne une première idée des associations entre les différentes variables, elle indique des valeurs comprises dans l'intervalle (-1 ,1). Une valeur positive indique une relation fonctionnelle croissante entre deux variables et inversement lorsque cette valeur est négative.

Les valeurs considérées en valeurs absolues sont significatives. C'est de cette matrice que l'on va trouver les axes factoriels et pour cela on calcule les valeurs propres et les vecteurs propres associés.

## Chapitre II Caractéristiques du programme Cropwat

### 1. Introduction

---

Pour économiser l'eau et assurer son utilisation de manière efficace dans le secteur agricole, nous avons besoin de déterminer les quantités d'eau exactes nécessaires pour les différentes cultures puis sélectionner les méthodes d'irrigation et les installations d'irrigation adéquates.

Cropwat est un programme qui utilise les méthodes de la FAO – Penman - Monteith, pour le calcul de l'évapotranspiration de référence des cultures, ces estimations sont utilisées dans le calcul des besoins en eau des cultures et dans l'établissement des calendriers d'irrigation. Ce programme a été amélioré pour devenir un logiciel convivial.

## 2. Caractéristiques du programme

Le logiciel Cropwat exige 5 données climatiques d'une station météorologique normalisée, pour que cette dernière soit représentative elle doit être la plus proche de la zone agricole, les stations comme celle des aéroports ou dans les zones urbaines sont à éliminer (Doorenbos et Kassam, 1987).

En cas où la station la plus représentative ne donne pas les 5 données climatiques il est conseillé de les estimer.

La FAO propose les méthodes d'estimation de l'humidité relative, du rayonnement et de la vitesse du vent dans son Bulletin 56.

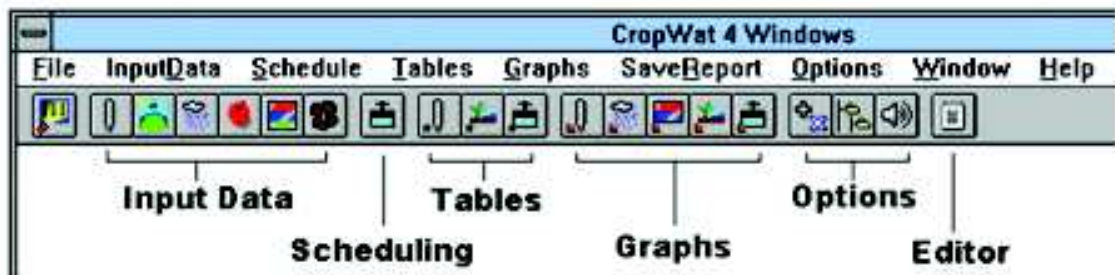


Figure 14 – Présentation de l'interface du CropWat

Cropwat peut traiter plusieurs cultures avec un maximum de 30 dans le même système (la même parcelle) et la programmation des irrigations peut être calculée pour chaque bloc de cultures.

Cet outil permet la définition des événements d'irrigation et il a aussi la possibilité d'ajouter des ajustements au déficit en eau du sol SMD.

Les données climatiques sont essentielles au fonctionnement du Cropwat. Cependant, dans la plupart des pays en voie de développement, les données climatiques ne sont pas disponibles car il n'y a pas beaucoup de stations météorologiques, dans ce cas, nous pouvons utiliser la base de données du Climwat qui contient les données climatiques mensuelles de plusieurs pays (annexe 2).

### 2.1. Calcul de l'évapotranspiration de référence (ET<sub>o</sub>)

C'est la quantité d'eau évapotranspirée par une végétation courte et verdoyante (0.12 m) et par unité de temps, recouvrant complètement le sol et de hauteur uniforme. Le cropwat utilise la formule de Penman Monteith, qui est la meilleure des formules mises au point à partir des données climatiques de la région.

Month	Max Temp. (C)	Min Temp. (C)	Humidity (%)	WindSpeed (km/d)	SunShine (hours)	Solar Radiation (MJ/m2/d)	ETo (mm/d)
January	16,0	7,0	77,0	345,6	5,0	8,7	1,9
February	17,0	7,0	75,0	345,6	6,0	11,8	2,4
March	19,0	8,0	75,0	345,6	7,0	15,8	3,1
April	20,0	10,0	74,0	345,6	8,0	19,9	3,7
May	24,0	13,0	75,0	345,6	9,0	22,9	4,7
June	28,0	17,0	72,0	345,6	10,0	24,8	5,7
July	31,0	19,0	68,0	345,6	11,0	26,0	6,6
August	32,0	20,0	68,0	345,6	10,0	23,2	6,3
September	29,0	19,0	71,0	345,6	8,0	18,0	4,8
October	26,0	15,0	72,0	259,2	7,0	13,8	3,4
November	22,0	11,0	74,0	345,6	5,0	9,2	2,7
December	17,0	9,0	76,0	345,6	5,0	8,1	1,9
Average	23,4	12,9	73,1	338,4	7,6	16,8	3,9

Figure 15 : Table de données climatique

Les valeurs d'ETo sont entrées à partir de

- soit de valeurs mesurées en utilisant InputData ETo.
- ou calculées automatiquement, lorsqu'on introduit les 5 données climatiques, selon l'équation de Penman-Monteith.

Les données peuvent être entrées, en utilisant: InputData, Climate, Enter/ Modify ou à partir d'un fichier de données en utilisant InputData, Climate, Retrieve.

On peut également utiliser la base de données Climwat, et ce par l'ouverture des anciens fichiers \*. PEM puis modifier le type de fichier à \*.PEN.

## 2.2. Choix du système de culture

Composé d'un ou de plusieurs noms de cultures et de la date de semis, pour utiliser ces données, on utilise les options de menu: InputData, Crops, Cropping Pattern.

(\* . CRO). Un ensemble de fichiers de données coefficient cultural sont fournis dans C:\CROPWAT\CROPS.

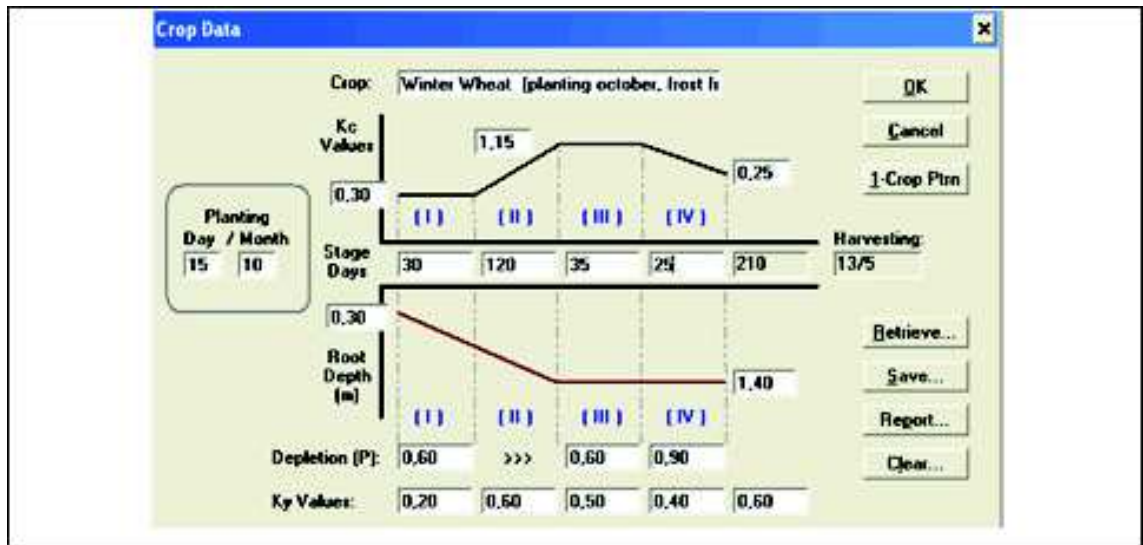


Figure 16 : Planning du modèle de culture

### 2.3. Introduction de données pluviométriques

Les données pluviométriques sont nécessaires dans le cas de pluie durant la saison de croissance. On utilise les options: Input Data, Rainfall,

On peut également utiliser la base de données Climwat, et ce par l'ouverture des anciens fichiers \*. CRM puis modifier le type de fichier à \*.CLI.

Le calcul de la pluie efficace  $P_{eff}$  se fait automatiquement, cette dernière est définie comme étant la fraction des pluies qui est effectivement utilisée par la culture après déduction des pertes par percolation profonde.

Le choix de la méthode appropriée pour le calcul de la  $P_{eff}$  demande une réflexion sérieuse, ainsi, différentes méthodes ont été développées, chacune prend en compte, le climat de la région en question.

Le Cropwat en propose 4:

La première formule propose un pourcentage fixe, avec A : fraction donnée par l'utilisateur, elle est comprise entre 0.7 et 0.9

$$P_{eff} = A * P_{moy}$$

La deuxième formule a été développée à partir de données provenant de zones arides et semi arides

$$P_{eff} = 0.6 * P_{moy} - 10 \quad \text{pour } P_{moy} < 70 \text{ mm/mois}$$

$$P_{eff} = 0.8 * P_{moy} - 25 \quad \text{pour } P_{moy} > 70 \text{ mm/mois}$$

La troisième formule est empirique, elle est développée localement, les coefficients utilisés sont déterminés à partir d'une analyse des données climatiques locales:

$$P_{eff} = A * P_{moy} + B \quad \text{pour } P_{moy} < x \text{ mm/mois}$$

$$P_{eff} = 0.8 * P_{moy} + c \quad \text{pour } P_{moy} > x \text{ mm/mois}$$

La quatrième formule à été mise au point par le département américain de l'agriculture (USDA), les pertes par percolation et par ruissellement sont incluses:

$$P_{eff} = P_{moy} * (1 - 0.2 * P_{moy} / 125) \quad \text{pour } P_{moy} < 250 \text{ mm/mois}$$

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

Exemple de calcul

Le besoin en eau d'irrigation au niveau de la station d'Annaba est comme suit en fonction des différentes formules citées ci-dessus:

- Pour la 1ère formule → BEI = 2140 m<sup>3</sup>/ha/an ;
- Pour la 2ème formule → BEI = 3050 m<sup>3</sup>/ha/an ;
- Pour la 3ème formule → BEI = 3010 m<sup>3</sup>/ha/an ;
- Pour la 4ème formule → BEI = 1930 m<sup>3</sup>/ha/an.

Il s'avère clairement que les 3 premières formules surestiment le volume d'eau à apporter, tandis que la 4ème formule prend en considération les pertes par ruissellement et par percolation, on a opté pour la quatrième formule.

	Total	Effective	
January	103.0	86.0	[mm/month]
February	75.0	66.0	[mm/month]
March	48.0	44.3	[mm/month]
April	65.0	58.2	[mm/month]
May	44.0	40.9	[mm/month]
June	13.0	12.7	[mm/month]
July	3.0	3.0	[mm/month]
August	12.0	11.8	[mm/month]
September	42.0	39.2	[mm/month]
October	48.0	44.3	[mm/month]
November	97.0	81.9	[mm/month]
December	118.0	95.7	[mm/month]
Total	668.00	584.00	

Figure 17 : Table de données pluviométriques mensuelles

## 2.4. Critères de programmation

Le Scheduling Criteria est la base sur laquelle les horaires seront définis. La programmation dépend de la période d'apport et de la quantité à apportée, par exemple 100 mm tous les



14 jours, sinon, irriguer pour maintenir le sol à la capacité au champ a chaque fois que la RFU est puisée.

La procédure est valable même si on modifie les données, puisque le programme recalcule automatiquement les résultats.

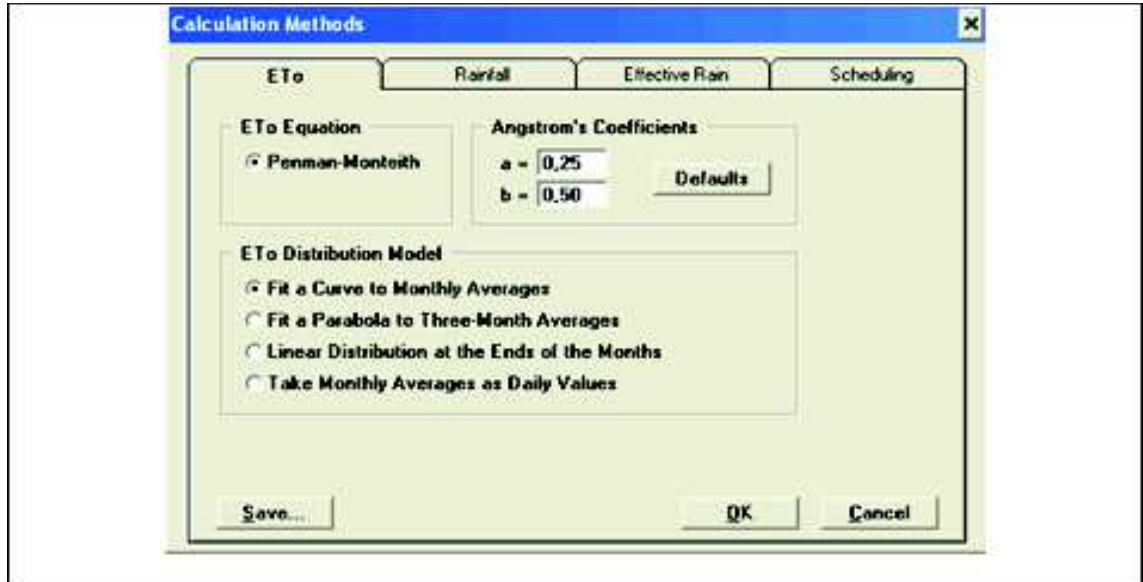


Figure 18 : Table des méthodes de calcul

Il y a lieu de préciser que le sol doit être profond, au moins 40 cm pour le blé dur, et de 30 cm pour le blé tendre pour conserver l'humidité en fin de cycle.

Les données liées aux sols sont entrées en utilisant Input Data, Soil, un ensemble de types de sols typiques sont fournis dans C: \ CROPWATW \ SOILS.

Les données de sol sont nécessaires dans le pilotage des irrigations pour la détermination de la réserve utile (RU) qu'est liée à deux facteurs :

Les valeurs de la RU selon les différentes textures de sol considérées généralement sont comme les montre le tableau 4

La profondeur d'enracinement des céréales à prendre en compte pour les calculs des besoins en eau d'irrigation sont comme suit:

Tableau 4 : Les données liées au sol proposées dans le Cropwat

Texture	Moyen	Lourd
Eau utilisable	140 mm/m	180 mm/m
Taux maximum d'infiltration de pluie	40 mm/jour	40 mm/jour
Humidité de sol initial disponible	140 mm/m	180 mm/m
profondeur d'enracinement max	0,6 ou 1,2 m	0,6 ou 1,2 m

FAO, 1987

### 3. Présentation des résultats

L'option Tables du menu montrera des tableaux de données et de résultats.

L'option Graphs permet de tracer les données et les résultats

Pour enregistrer, on utilise l'option de Save Report pour créer ASCII (text) et .CSV pour exporter les fichiers.

Date	ETo (mm/period)	Crop Area (%)	Crop Kc	CWR (ETm) (mm/period)	Total Rain (mm/period)	Effect. Rain (mm/period)	Irrig. Req. (mm/period)	FWS (l/s/ha)
1/10	113,57	100,00	0,30	34,07	50,70	46,60	0,00	0,00
31/10	81,45	100,00	0,39	31,67	92,49	77,59	0,00	0,00
30/11	58,96	100,00	0,58	33,74	114,84	94,02	0,00	0,00
30/12	52,52	100,00	0,76	39,86	100,43	83,90	0,00	0,00
29/1	62,30	100,00	0,94	58,86	75,33	66,03	0,00	0,00
28/2	86,81	100,00	1,11	96,82	59,00	53,42	43,41	0,18
30/3	119,80	100,00	1,15	137,77	55,94	50,65	87,12	0,35
29/4	152,30	100,00	0,69	102,12	45,95	42,26	59,86	0,24
Total	727,71			534,92	594,69	514,47	190,39	[ 0,10 ]

Figure 19 : Table des besoins en eaux des cultures

- Pour imprimer - Utilisez l'éditeur de texte ASCII pour imprimer les fichiers créés avec Save Report
- Les graphiques peuvent être mis en rotation à Paysage ou Portrait avec le Gestionnaire d'impression.

#### 4. Conclusion

Dans cette section, nous avons appris ce que Cropwat et Climwat sont, et comment les utiliser et aussi comment déterminer les besoins en eau des cultures et les besoins en eau d'irrigation.

---

# Troisième partie Résultats et discussion

## 1. Introduction

Notre travail a pour but de quantifier la quantité d'eau nécessaire à la production des céréales, et ce, sur un ensemble de wilayas potentielles à la céréaliculture. Pour cela nous avons axé notre travail sur les paramètres agropédoclimatiques comme déjà mentionnées.

Nous avons divisé cette section en 2:

La première section porte sur le traitement statistique des données climatiques

La deuxième section porte sur la quantification des volumes requis pour la production des céréales, cette section se subdivise en 5 parties :

- Calcul de la demande climatique ou de l'évapotranspiration de référence  $ET_0$ ,
- Calcul de la quantité de d'eau virtuelle des céréales (besoins en eau des céréales),
- Calcul de la quantité de d'eau verte avec une différenciation entre la pluie totale et la pluie efficace,
- Calcul de la quantité de l'eau bleue des céréales (besoins en eau d'irrigation de complément),
- Efficience de l'eau virtuelle dans la production des céréales.

## 2. Traitement statistique des données climatiques

Cette partie est conçue pour la vérification de la fiabilité de données climatiques. Les résultats du traitement statistique de données climatiques, par le logiciel Xlstat, sont présentés dans la matrice de corrélation et sont schématisés dans le cercle de corrélation.

### 2.1. La matrice de corrélation

---

Par définition, toute matrice de corrélation est symétrique ( $a_{ij}=a_{ji}$ ), sa diagonale est égale à 1, quelque soit  $i$  ( $a_{ii}=1$ ) et quelque soit  $i$ , quelque soit  $j$ :  $a_{ij}$  appartient à  $(-1, +1)$

La matrice de corrélation.

### 2.2. Les valeurs propres et le cumulées

---

On considère que l'axe n'apporte pas d'information lorsque le pourcentage de variance soit inférieur à 10%. C'est pourquoi nous avons choisie la première composante principale représentant la grande part de l'information (fig. 20).

Le premier axe extrait permet d'expliquer 83% de la variance, autrement dit les paramètres qui composent le premier axe synthétise 83% de l'information. Le premier facteur explique donc 83% de l'information totale.

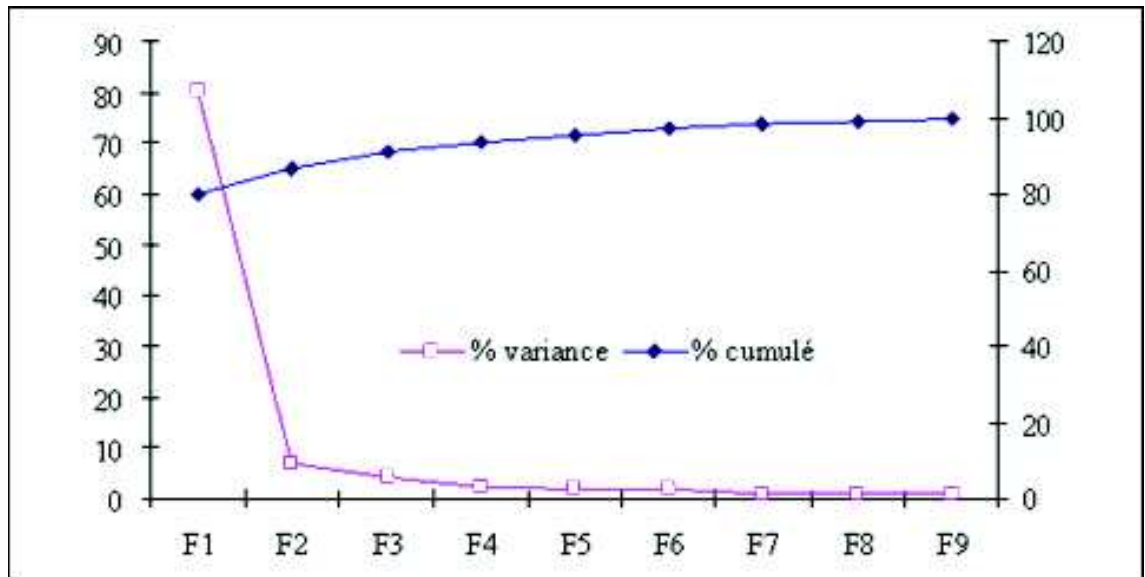


Figure 20 : Présentation des variances et des cumulés des valeurs propres pour les données climatiques

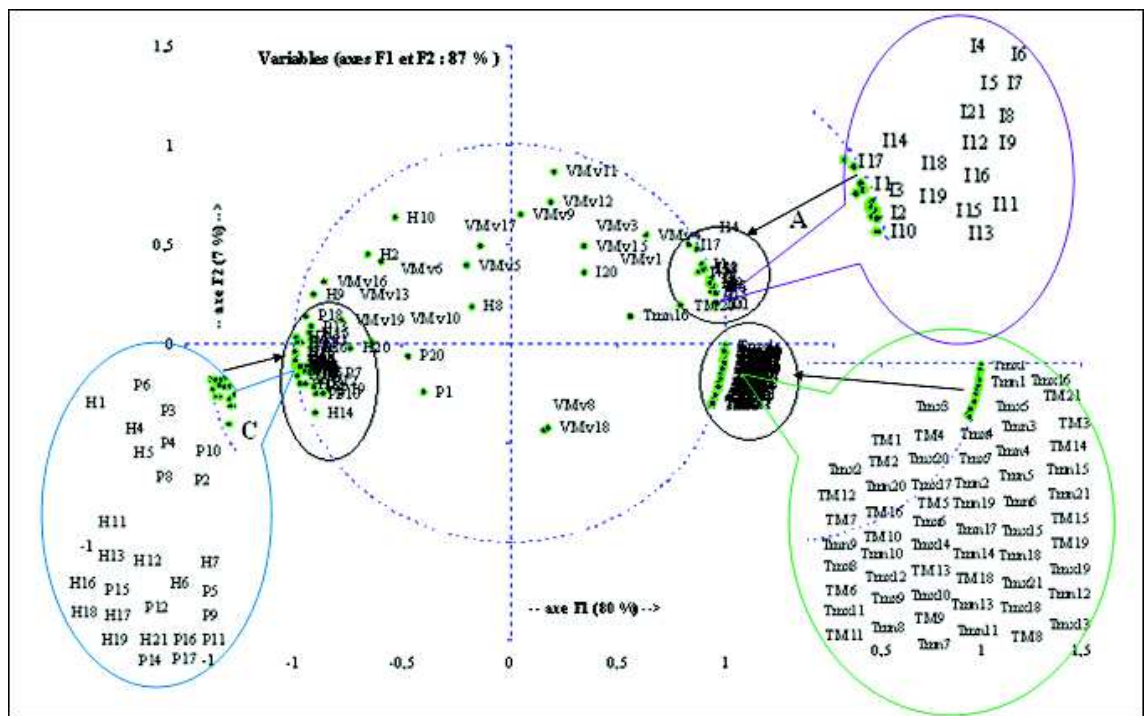


Figure 21: Cercle de corrélation détaillée (Plan F1 - F2) –variable

### 2.3. Distribution des variables

On définit pour chaque axe factoriel quelles sont les variables qui se suivent et celles qui s'opposent. Au plus une variable à d'importance au plus elle sera représentée proche du cercle. Dans le cas contraire, les variables qui n'ont pas d'explication (insignifiantes) se dirigent vers le centre.

Une fois ces axes calculés, il faut en connaître la signification. Pour cela on va regarder les projections des variables sur des plans formés par un couple d'axes factoriels.

Notre analyse s'est limitée sur le premier facteur (première composante principale), puisqu'il porte la plupart de l'information sur les données climatiques, il permet d'expliquer les variables suivantes : la température, la pluviométrie, l'insolation et l'humidité.

L'information est concentrée dans ces paramètres qui sont proche de la direction positive de l'axe F1 alors elles sont corrélées positivement à F1.

La comparaison entre les points se fait lorsque ces derniers sont proches de la circonférence du cercle, dans notre cas on constate que les paramètres P et H sont très proches entre eux dans la direction négative, l'axe F1 tend à démontrer que ces deux paramètres sont liés. Effectivement l'humidité est fonction de la pluviométrie, et s'exprime par la relation suivante :

Idem pour les valeurs de la température qui corréleront positivement avec F1

Les paramètres H et P sont associés, et forme un groupe distinct.

L'ACP a permis de trouver des sous-espaces qui représentent au mieux le nuage initial, ainsi nous avons démarré avec 60 paramètres difficilement interprétables. Alors que l'information qui nous permet d'apprécier les données se concentrent en les paramètres suivants : H ; P et température.

Les valeurs des données climatiques de la station n° 20 (Annaba) se concentrent au centre du cercle, et cela veut dire que les données ne sont pas significatifs par rapport à l'ensemble des stations.

## 2.4. Distribution des individus

---

Comme déjà annoncé l'analyse en composante principale pour but de remplacer un ensemble complexe de données par des axes portant l'essentiel de l'information sur le phénomène à étudier.

Notre ACP montre 2 groupements distincts pouvant servir à la constitution de 2 ensembles d'individus cohérents. Les individus se concentrent au niveau de la circonférence du cercle, cette situation explique que le facteur temps influe sur la variabilité des paramètres climatiques. Ainsi les trois mois de Juin, Juillet et Août forme un groupement distinct correspondant aux mois de pointe.

Les mois de Mars, Mai et Octobre corréleront positivement avec F1, ce qui sous entend que les paramètres climatiques durant ces mois sont liés, en cas pratique, ces mois coïncident les phases de développement les plus critiques et décisives pour le développement des céréales, puisqu'il s'agit des phases: semis et tallage, ou la plante nécessite une pré irrigation dans la première phase et un apport de complément pour la phase floraison, durant ces phases la demande climatique est importante, puisque la sol est épuisé durant la période estivale (Juin, Juillet et Août), et aussi en mois de Mars et mai.

Ainsi ces résultats laissent dire que la pré irrigation des céréales est importante

Le mois de Septembre corréle positivement avec F<sub>2</sub>, et peut être assimilé à la période estivale, cependant les autres mois corréleront négativement avec F<sub>2</sub>, et la plante peut demander des apports de complément.

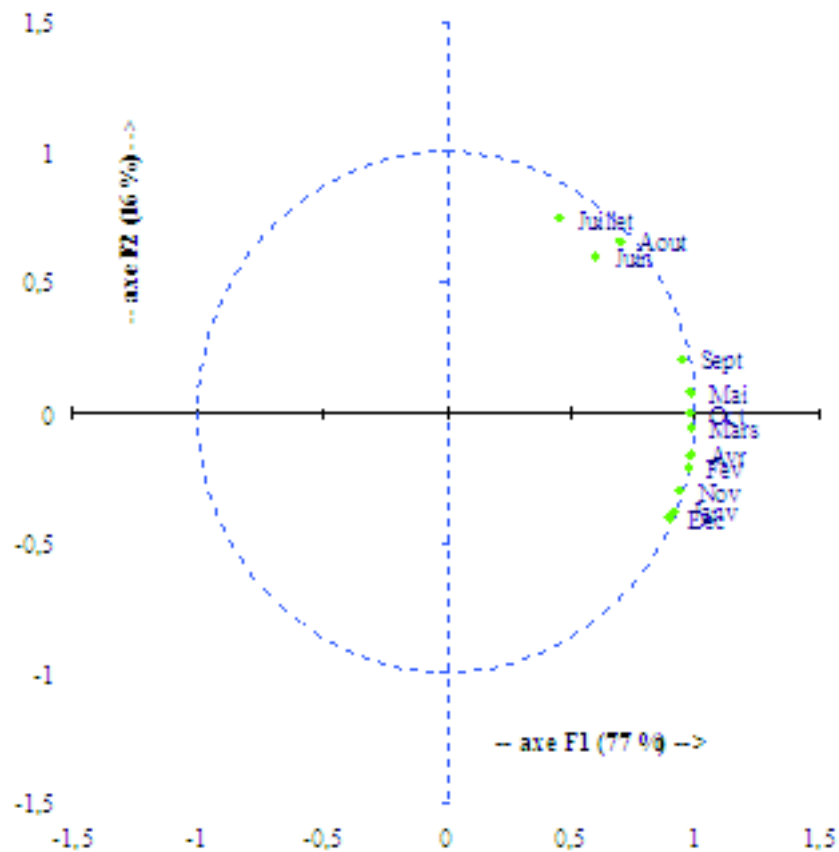


Figure 22: Cercle de corrélation (Plan F1 - F2) –individus

### 3. Détermination de l'année sèche et de l'année humide

La pluviométrie à l'instar des autres facteurs climatologiques, contribue d'une manière plus importante à la satisfaction des besoins en eau des cultures, plus particulièrement pour les cultures pluviales (céréales).

Une analyse statistique a été faite à partir d'une série de données sur une période de 25 ans pour la station de Tiaret, comme cas d'étude, ce choix vient du fait, que cette wilaya est classée première en terme de superficies céréalière en Algérie, et aussi par rapport à la disponibilité des données pluviométrique sur une période statistiquement acceptable (25 ans).

La définition des années normales, humides et sèches est utilisée pour la gestion de l'eau, l'estimation de ces valeurs est obtenue en calculant les probabilités à partir des données de précipitations brutes. Les étapes suivantes ont été adoptées:

Tableau 5: Présentation des pluies annuelles pour la période 1984 - 2008

Année	Valeurs de départ (mm)	Année	Valeurs de départ (mm)
1984	225,56	1997	503,94
1985	153,4	1998	257,32
1986	353,63	1999	162,57
1987	327,04	2000	214,13
1988	250,95	2001	292,05
1989	263,15	2002	248,18
1990	201,45	2003	476,83
1991	326,15	2004	447,36
1992	272,31	2005	326,96
1993	263,97	2006	534,41
1994	269,76	2007	410,96
1995	245,9	2008	382,29
1996	370,9		
Moyenne interannuelle			311,25

Tableau 6: Classement des données par ordre décroissant

Valeurs classées (mm)	Rang	Valeurs classées (mm)	Rang
534,41	1	269,76	14
503,94	2	263,97	15
476,83	3	263,15	16
447,36	4	257,32	17
410,96	5	250,95	18
382,29	6	248,18	19
370,9	7	245,9	20
353,63	8	225,56	21
327,04	9	214,13	22
326,96	10	201,45	23
326,15	11	162,57	24
292,05	12	153,4	25
272,31	13		

Tableau 7 : Classement de la position relevée selon la formule de WeilBull:  $Fa=100+m/(n+1)$

Rang	FD	Rang	FD
1	3,8	14	53,8
2	7,7	15	57,7
3	11,5	16	61,5
4	15,4	17	65,4
5	19,2	18	69,2
6	23,1	19	73,1
7	26,9	20	76,9
8	30,8	21	80,8
9	34,6	22	84,6
10	38,5	23	88,5
11	42,3	24	92,3
12	46,2	25	96,2
13	50,0		

Fa : fréquence au dépassement m : numéro du rang n : nombre d'enregistrements

- Rapport des valeurs sur papier de probabilités ou sur graphe, et trace de la droite de régression

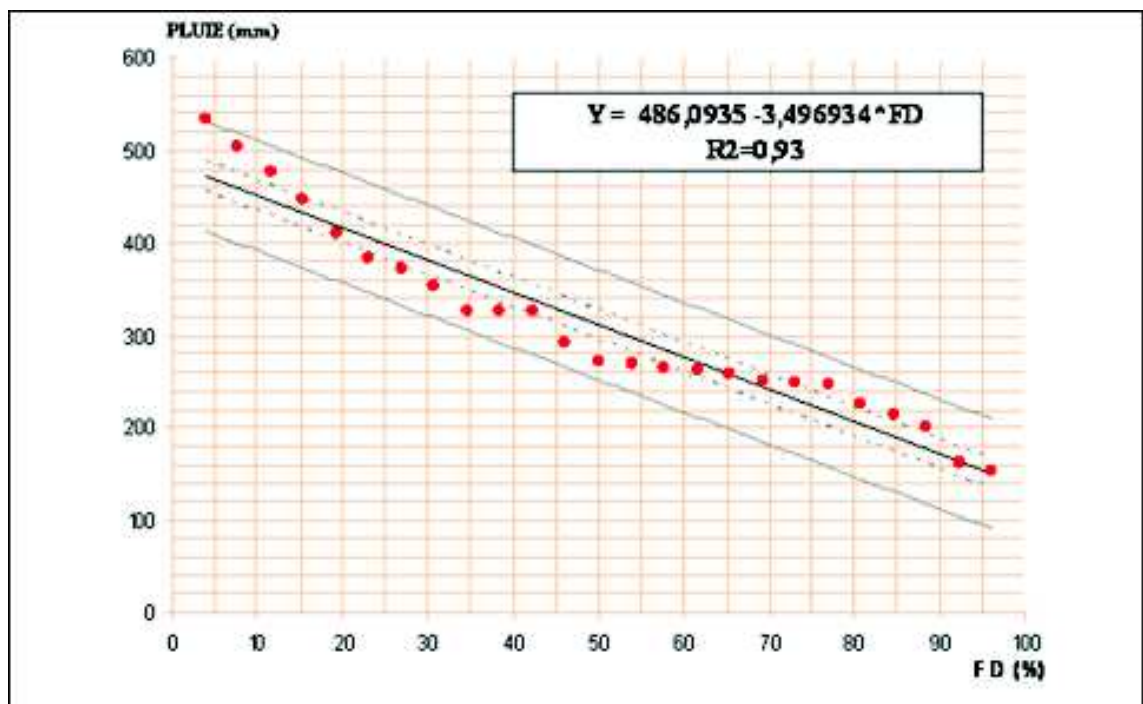


Figure 23 : Étude fréquentielle des pluies moyennes annuelles (sur 25 ans)

De la droite de régression, on sélectionne les valeurs annuelles correspondant à une probabilité de 20, 50 et 80%, avec la formule  $Y = 486,0935 - 3,496934 * FD$

P20= 416,2 mm

P50= 311,25 mm

P80= 206,34 mm

L'analyse statistique des données pluviométriques de la station de Tiaret sur 25 ans indique que même dans le cas d'une année humide, la pluviométrie est de 416 mm, ce



qui est inférieure à l'isoète requise pour le développement des céréales (Mouhoucheet Guemraoui., 2004). L'irrigation de complément, s'avère importante dans une wilaya comme Tiaret.

## 4. Calcul des besoins en eau d'irrigation

### 4.1. La demande climatique ETP

Les facteurs climatiques ou physiques utilisés pour le calcul de l'ETP, sont: le rayonnement solaire; la température de l'air; l'humidité de l'air; la vitesse du vent.

Les valeurs de l'évapotranspiration de référence mensuelle moyenne, sont calculées par l'introduction des coordonnées géographiques et des données climatiques mensuelles, les résultats obtenus sont calculés par la formule de Penman – Monteith etsont présentés dans la figure 24.

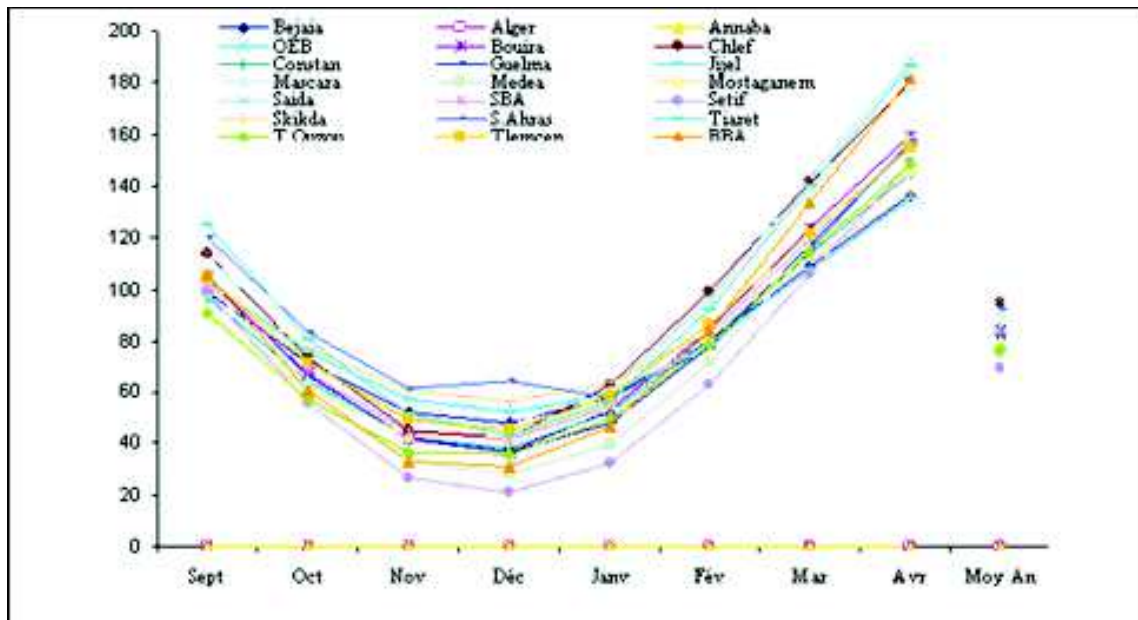


Figure 24 : Evolution de  $ET_0$  mensuelle dans les 21 stations retenues (mm/mois)

On constate selon la figure 24 que la demande climatique ( $ET_0$ ) est à son pic durant les mois de Mars et Avril, avec une moyenne mensuelle qui oscille entre les 106 mm et 187 mm par mois, et ce, pour l'ensemble des stations étudiées. De ce fait, toutes les cultures, durant ces mois et en fonction de leurs stades végétatifs, nécessitent une attention particulière en terme de disponibilité en eau pour combler le déficit climatique.

### 4.2. Les besoins en eau des céréales $ET_m$

L'évapotranspiration maximale  $ET_m$ , ou encore le besoin en eau des cultures est le produit de l'évapotranspiration de référence  $ET_p$  par le coefficient cultural  $K_C$ , qui dépend du type de la culture.

Les valeurs de l'ETm se présentent ainsi comme suit :

**Tableau 8 : Besoin en eau annuel des céréales par ordre décroissant.**

Station	Evapotranspiration maximale (mm)	Station	Evapotranspiration maximale (mm)
Saida	581,95	Alger	491,43
Chlef	575,23	Jijel	491,3
Tiaret	572,99	Bejaia	484,64
Mascara	554,05	Mostaganem	483,08
Annaba	534,92	Guelma	480,7
Souk Ahras	529,88	Constantine	473,75
Tlemcen	516,64	OEB	464,26
Skikda	511,28	Tizi Ouzou	462,86
BBA	511,08	Médéa	445,48
Bouira	502,39	Sétif	405,35
SBA	499,55		

Le besoin en eau des céréales varie entre un maximum de 582 mm à Saida et un minimum de 405 mm à Sétif. Les wilayas d'Alger et de Jijel présentent les mêmes besoins en eau de céréales qui est de 491 mm, Skikda et BBA présentent aussi des niveaux similaires des besoins en eau de cultures.

### 4.3. La pluie totale et la pluie efficace $P_{eff}$

---

Les valeurs des pluies totales et efficaces, que le Cropwat a calculé avec la méthode USDA, sont présentées dans le tableau 9, les résultats obtenus permettent de constater que 11 stations sur 21 se situent dans une isoète inférieure à 450 mm, qui est considérée comme étant le niveau requis des précipitations, pour la pratique des cultures céréalières en pluviales.

Les quantités moyennes des pluies enregistrées durant les mois de Mars et Avril sont faibles par rapport aux autres mois, coïncidant avec un déficit climatique important.

Le mois de septembre est aussi l'un des mois les plus secs, particulièrement dans la région ouest du pays.

**Tableau 9: Pluies totales et efficaces par ordre décroissant**

Station	P totale (mm)	Pluie eff (mm)	Station	P totale (mm)	Pluie eff (mm)
Jijel	850,61	675,7	Mostaganem	351,53	323,8
Tizi Ouzou	684,54	578,8	Sétif	312,67	292,4
Béjaia	668,01	564,9	Chlef	308,04	287,9
Skikda	665,23	561,2	Tlemcen	298,71	279,4
Annaba	594,69	514,5	SBA	283,8	266,8
Médéa	559,98	489,7	Tiaret	276,09	260,6
Souk Ahras	553,92	485,7	Saida	275,59	260,3
Guelma	542,19	478,6	OEB	275,47	259,5
Alger	515,52	457,4	BBA	264,82	250,2
Constantine	453,36	408,5	Mascara	253,54	240
Bouira	398,23	363,3			

#### 4.4. Les besoins en eau d'irrigation

Pour obtenir les besoins en eau d'irrigation de complément (BEI) global, nous avons multiplié le besoin unitaire par la superficie de chaque wilaya.

Le tableau 10 montre que les besoins en eau d'irrigation annuels de dix huit wilayas dépassent les besoins en eau défini par la FAO en 1986 dans les zones arides et qui sont fixés à 1500 m<sup>3</sup>/ha.

Il est aussi remarquable, qu'une wilaya comme Tiaret qui dispose de sols potentiels à la céréaliculture avec une pente faible, et où l'eau fait défaut, le besoin est très important.

**Tableau 10 : Les cumuls des besoins annuels en eau d'irrigation de complément**

Station	BI complément (m <sup>3</sup> /ha)	Station	BI complément (m <sup>3</sup> /ha)
Mascara	3410	Sétif	1863
Saida	3336	Constantine	1842
Chlef	3261	Annaba	1814
Tiaret	3227	Médéa	1738
BBA	2927	Skikda	1677
Tlemcen	2657	Guelma	1637
SBA	2618	Souk Ahras	1565
OEB	2521	Bejaia	1474
Bouira	2394	Tizi Ouzou	1457
Mostaganem	2367	Jijel	1276
Alger	1890		
Moyenne pondérée <sup>5</sup>			2738

Le tableau 10 montre que 86% des stations étudiées nécessite une dose d'irrigation qui dépasse les 1500 m<sup>3</sup>/ha (FAO, 1986).

14% de ces stations ont un besoin supérieur à 1200 m<sup>3</sup>/ha (3 stations).

Si à l'échelle nationale le cumul pluviométrique est un facteur important dans le développement des céréales, il s'avère que la répartition temporelle des volumes d'eau apportés diffère au niveau local d'une région à l'autre comme le montre le tableau 11.

Le nombre des irrigations varie de 3 à 6 irrigations selon la station en question:

47% des stations nécessitent 3 irrigations, 29% nécessite 4 irrigations, 19% nécessite 5 irrigations et 5 % avec 6 irrigations.

Quatre stations de l'ouest de l'Algérie nécessitent une pré-irrigation, pour la préparation du sol

Tableau 11: Les BEI mensuels des céréales par station

Station	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avril	Totaux
Béjaia						28,82	68,47	50,13	147,42
Alger						39,8	86,91	62,21	188,92
Annaba						34,41	87,12	59,86	181,39
Guelma						33,07	77,17	53,5	163,74
Jijel						22,26	60,37	44,93	127,56
Médéa						27,96	83,71	62,13	173,8
Sétif						37,8	85,35	63,16	186,31
Skikda						39,02	74,5	54,2	167,72
S.Ahras						28,48	73,94	54,04	156,46
T.Ouzou						28,7	71,18	45,78	145,66
OEB					23,25	66,21	101,18	61,43	252,07
Bouira					5,41	59,39	104,65	69,96	239,41
Chlef					23,77	75,9	129,49	96,91	326,07
Constan					0,1	44,46	84,16	55,51	184,23
Mostaganem					7,74	53,48	101,44	74,05	236,71
BBA					18,44	68,48	120,8	85,02	292,74
Saida				4,27	23,01	72,71	132,82	100,8	333,61
Tiaret	5,78				23,48	72,03	126,73	94,67	322,69
Tlemcen	10,68				10,64	55,83	107,46	81,13	265,74
SBA	2,69				11,76	56,89	108,57	81,93	261,84
Mascara	2,37			1,81	26,78	78,5	133,36	98,17	340,99

## 5. Estimation des superficies céréalières et de la production

La superficie céréalière est un indicateur physique important dans le développement des céréales, et la production en Algérie dépend de cet indicateur.

La figure 25 montre que les superficies et productions céréalières des trois premières années 1998, 1999 et 2000, ont la même tendance d'évolution, cela veut dire que la production est dépendante du facteur superficie, il s'agit donc d'une approche extensive, dans le développement des céréales.

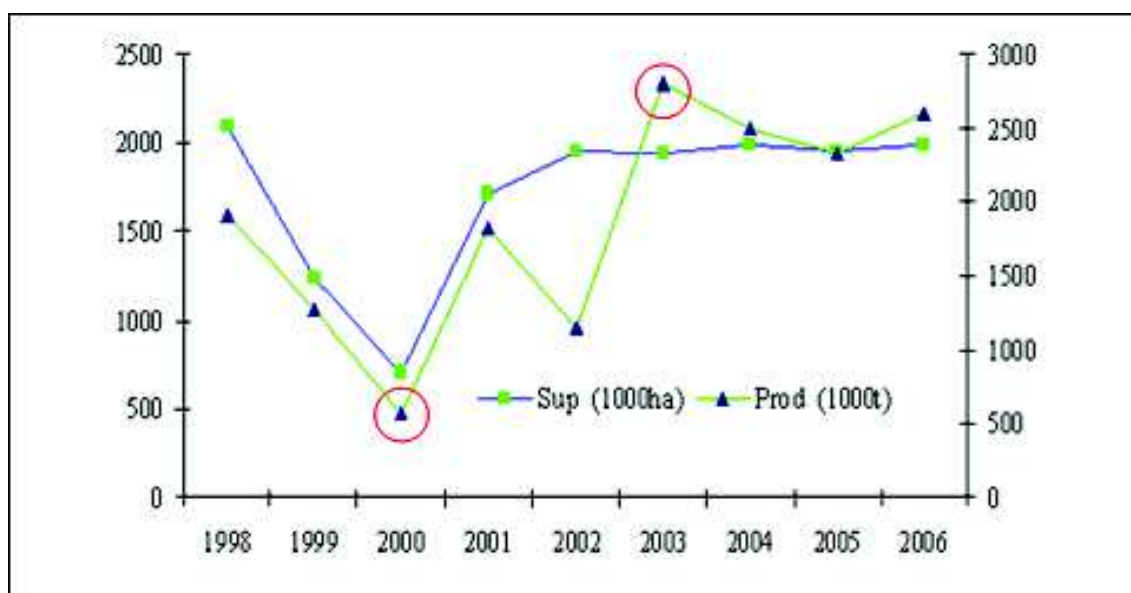


Figure 25 : Evolution des superficies et de la production Période 1998 – 2006

A partir de 2001, la superficie céréalière s'est stabilisée dans la zone d'étude, mais les productions présentent des niveaux différents :

- une chute en 2002, car il s'agit de l'une des années les plus sèches de la décennie.
- une amélioration des productions due à l'amélioration du contexte climatique et à l'utilisation des intrants.

La production des céréales en Algérie obéit à 2 approches de développement à savoir:

- l'intensification : par l'amélioration des rendements, dans des superficies limitées et ce, par l'utilisation des intrants (intensification)
- l'extension : par l'augmentation des superficies avec des rendements faibles.

Tableau 12: Superficies céréalières moyennes durant la période 1998 - 2006

Wilayas	Superficie céréalière (ha)	Wilayas	Superficie céréalière (ha)
Tiaret	254 552	B.B.A	72 205
S.B.A	152 659	Bouira	66 953
O.E.B	151 197	Constantine	64 573
Sétif	134 464	Mostaganem	52 676
Souk Ahras	127 316	Skikda	37 616
Tlemcen	108 015	Annaba	15 259
Mascara	105 379	Tizi Ouzou	10 638
Médéa	98 996	Bejaia	10 609
Saida	94 802	Alger	3 486
Guelma	87 116	Jijel	1 756
Chlef	82 016		
Superficie totale céréalière			1 732 283

## 6. Estimation des superficies céréalières irriguées

Les superficies moyennes annuellement irriguées des 10 dernières années sur l'ensemble des 21 wilayas représentent 0,8% de la superficie totale.

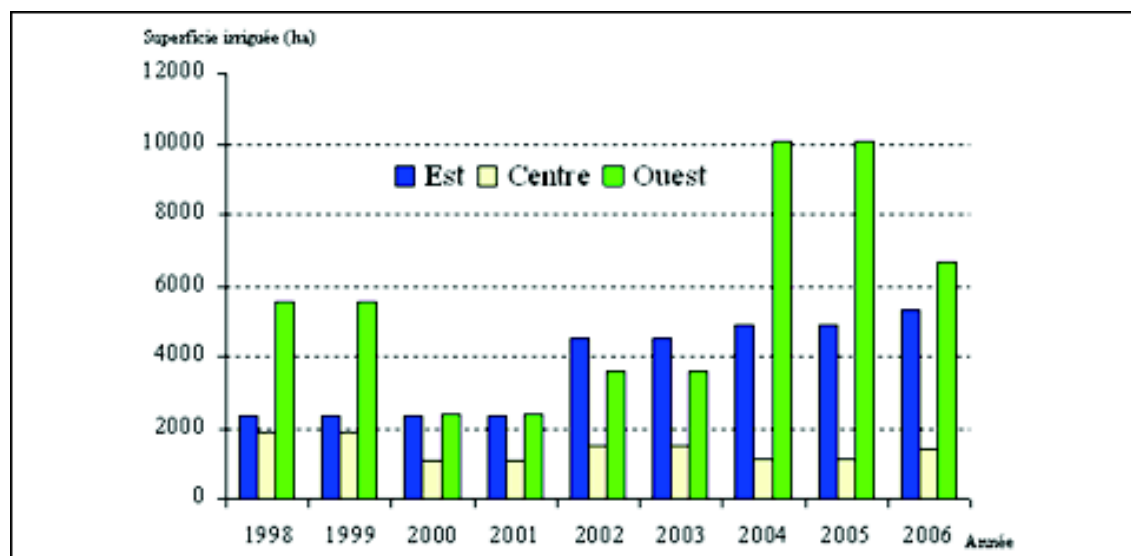


Figure 26 : superficies céréalières irriguées période 1998-2006

Source : MADR, 2006

La wilaya de Chlef irrigue 17% de la superficie irriguée totale, suivie de la wilaya de Sétif avec un taux de 15,5%.

Tableau 13 : Superficies céréalières moyennes irriguées durant la période 1998 – 2006

Wilayas	Céréales irriguées (ha)	Wilayas	Céréales irriguées (ha)
Chlef	2496	Skikda	449
O.E.B	1693	S.B.A	30
Bejaia	7	Annaba	0
Bouira	922	Guelma	249
Tlemcen	1202	Constantine	59
Tiaret	1087	Médéa	176
Tizi Ouzou	0	Mostaganem	13
Alger	0	Mascara	2056
Jijel	1	B.B.A	760
Sétif	2155	Souk Ahras	0
Saida	521		
Totales de céréales irriguées (ha)			13 867

## 7. Calcul des quantités de l'eau virtuelle

L'eau virtuelle est définie comme étant l'eau incorporée dans tous les produits commercialisés (Allan 1998). La production et/ou l'importation d'un kilogramme de grain est approximativement équivalente à mobiliser et/ou à importer 1 mètre cube d'eau (IWMI, 2004).

Actuellement, les céréales représentent la majorité des échanges de produits agricoles, et donc le cheminement des échanges des céréales est un bon indicateur des écoulements virtuels globaux de l'eau.

Le calcul des quantités de cette eau s'effectue en 2 étapes:

- le calcul des quantités de l'eau verte,
- le calcul des quantités de l'eau bleue.

## 7.1. Calcul de la quantité de l'eau verte

Bien que la bibliographie sur l'eau virtuelle, assimile la part verte de cette eau à la pluie totale sur la région en question, et cela est dû probablement à l'aspect économique que revêt l'eau virtuelle, nous avons jugés utile de calculer aussi la pluie efficace.

Pour représenter la part verte de l'eau virtuelle, par région naturelle, les pluies totales ou efficaces (selon la méthode de calcul) doivent être multipliées par les superficies recevant ces dernières, de ce fait, les résultats par région naturelle, se présentent comme suit:

**Tableau 14 : Estimation des quantités de l'eau verte dans la zone d'étude (m<sup>3</sup>)**

Station	P totale (m <sup>3</sup> /ha)	Peff (m <sup>3</sup> /ha)	Superficie moyenne (ha)	Eau verte Pt (m <sup>3</sup> )	Eau verte Peff (m <sup>3</sup> )
Centre	5653	4908	190 682	982 646 306	865 405 839
Est	5014	4362	691 502	2 854 368 802	2 566 651 851
Ouest	2925	2741	850 099	2 424 947 243	2 278 729 045
Totales	4470	3952	1 732 283	6 261 962 351	5 710 786 736

Les quantités moyennes de l'eau verte effectivement consommées par les céréales sur la superficie emblavée et qui en moyennes de 1,7 Mha sont de l'ordre de 5.71 milliards m<sup>3</sup>, soit l'équivalent des volumes d'eau utilisés annuellement sur tout le territoire national et pour tout secteur confondu. Cependant les quantités perdues par ruissellement, par évaporation et/ou par percolation profonde dans le sol sont de l'ordre de 551 Hm<sup>3</sup>.

## 7.2. Calcul de la quantité de l'eau bleue dans les céréales

La détermination de la quantité d'eau bleue est le produit des superficies céréalières irriguées dans les wilayas en question.

Comme nous l'avons déjà énoncé, les superficies irriguées dans la zone d'étude durant la période 1998 – 2006 est de 13 867 ha représentant ainsi 1% de la superficie céréalière totale qui est de 1 732 283 ha.

Le volume d'eau bleue est de 38 000 393 m<sup>3</sup>, ce qui représente un taux de 0.41% du volume de l'eau verte (tableau 15).

**Tableau 15: Estimation des quantités d'eau bleue utilisée durant la période 1998 - 2006**

Wilayas	Eau Bleue (m <sup>3</sup> )	Wilayas	Eau Bleue (m <sup>3</sup> )
Bejaia	10 319	Bouira	2 207 360
Alger	0	Chlef	8 138 707
Annaba	0	Constantine	108 696
Guelma	407 713	Mostaganem	30 772
Jijel	1 276	B.B.A	2 224 824
Médéa	305 888	Saida	1 738 108
Sétif	4 014 981	Tiaret	3 507 640
Skikda	753 063	Tlemcen	3 194 195
Souk Ahras	0	S.B.A	78 552
Tizi Ouzou	0	Mascara	7 010 754
O.E.B	4 267 545		
Total			38 000 393

### 7.3. Calcul de la quantité de l'eau virtuelle dans les céréales

La quantité de l'eau virtuelle dans les céréales est la somme des quantités de l'eau verte et de l'eau bleue, les résultats obtenus sur ces deux composantes.

La quantité de l'eau virtuelle contenue dans les céréales produites en Algérie est de 5 734 253 680 m<sup>3</sup> pour une superficie de 1 732 283 ha.

Les chiffres relatifs à la surface et à la production permettent de déterminer le niveau de valorisation de l'eau verte, qui s'exprime par le concept d'efficacité d'utilisation de l'eau de l'eau totale de pluie et de la pluie efficace.

Il y a lieu de signaler que ce volume reste un volume moyen des 10 dernières années 1998 – 2006.

## 8. Efficience de l'eau virtuelle dans la production des céréales

L'efficacité d'utilisation de l'eau est le rapport du poids de la production commercialisable (kg) et le volume d'eau consommé par la culture durant tout son cycle végétatif (m<sup>3</sup>).

### 8.1. Efficience de l'eau verte

Le rendement moyen des céréales conduites en pluviales sur l'ensemble des wilayas étudiées varie entre 700 et 1800 Kg par hectare, soit une moyenne pondérée de 1100 Kg par hectare (Tableau 16).

La production nationale moyenne interannuelle durant la période 1998 – 2006 est de 1 897 725 500 kg.

Nos calculs font ressortir que la production d'un kilogramme de céréale conduite en pluviale nécessite donc un volume d'eau de 3,3 m<sup>3</sup>. Ce volume est calculé sur la base des



quantités d'eau de pluie totale évaluées à 6 261 962 351 m<sup>3</sup>. Il n'est que de 3 m<sup>3</sup> pour la production d'un kilogramme de céréale, si l'on ne comptabilise que la pluie efficace. Le volume d'eau de pluie sur une parcelle de céréales d'un hectare produisant 1100 kg de céréales est de 3630 m<sup>3</sup>/ha.

**Tableau 16: Rendement moyens des wilayas durant la période 1998 - 2006**

Wilayas	Rendement (Kg/ha)	Wilayas	Rendement (Kg/ha)
Chlef	1200	Skikda	1400
O.E.B	900	S.B.A	1000
Béjaia	1400	Annaba	1700
Bouira	1200	Guelma	1300
Tlemcen	1000	Constantine	1600
Tiaret	900	Médéa	1100
Tizi Ouzou	1800	Mostaganem	1000
Alger	1700	Mascara	900
Jijel	1400	B.B.A	900
Sétif	1200	Souk Ahras	1100
Saida	700		
Moyenne pondérée			1100

## 8.2. Efficience en culture irriguée

Les travaux d'expérimentation menés par l'ITGC sur l'irrigation des céréales permettent de constater que cette dernière permet un gain de mille kilogramme par hectare, et ce, en faisant abstraction des autres intrants et de la bonne conduite de l'itinéraire technique.

Ainsi l'irrigation des céréales donne théoriquement des rendements de l'ordre de 2100 kg à 2800 kg par hectare. L'irrigation d'une superficie de 13 867 ha, avec un rendement de 2100 kg/ha, donne ainsi une production de 29 120 700 kg en moyenne.

La production des céréales conduites à l'irriguée contribue théoriquement à hauteur de 2% dans la production nationale moyenne et l'irrigation de complément de 1,2 m<sup>3</sup> en moyenne, produit un kg de céréale.

## 9. Quantification de l'eau virtuelle dans les céréales importées par l'Algérie

Si à l'échelle régionale, la détermination des quantités d'eau virtuelle se fait par le calcul des besoins en eau unitaires relatif à l'hectare irrigué et des pluies totales sur la culture envisagée (Mouhouche, 2005), Les volumes d'eau importés virtuellement sont calculés par l'exploitation des données climatiques des pays exportateurs. Néanmoins nous avons opté pour le calcul de ces volumes par le biais de normes FAO, qui donnent les besoins en eau et les rendements des cultures.

**Tableau 17 : quantification de l'eau virtuelle dans les céréales importées par l'Algérie**

Culture	importé (Tonne)	BEC (m3/ha)	Rendement (t/ha)	Rendement (tonne / m3)	Eau virtuelle m3
Mais	1 425	5 000	7	714	1 017 857
Riz	67 276	3 500	6	583	39 244 333
Blé	4 823 638	4 500	4	1125	5 426 592 750
Sorgho	673	4 500	3,5	1286	865 286
Total	4 895 210				5 468 892 493

FAO, 1986

Les résultats obtenus démontrent qu'un volume de 5.5 milliards de m<sup>3</sup> permet la production de 4.9 millions de tonnes, la production d'un kg de céréales importée nécessite donc un volume de 1.1 m<sup>3</sup>.

## 10. Conclusion

- L'eau bleue constitue 0,41% de la quantité moyenne de l'eau virtuelle dans les céréales produites en Algérie durant la période 1998-2006, ainsi un volume de 38000393 m<sup>3</sup> est apporté pour l'irrigation de 13 867 ha (ce qui représente 1% de la superficie céréalière totale, avec une irrigation de complément moyenne de 1692 m<sup>3</sup>/ha, ce qui est logique.
- Les travaux d'expérimentation menés par l'ITGC sur l'irrigation de complément des céréales permettent de constater que cette dernière permet un gain d'une tonne par hectare, et ce, en faisant abstraction des autres intrants et de la bonne conduite de l'itinéraire technique.
- Le rendement moyen des céréales conduites en pluviales, sur l'ensemble des stations étudiées varie entre 0,7 et 1,8 tonne par hectare, soit une moyenne de 1,1 tonne/ha. Ainsi l'irrigation des céréales donne théoriquement des rendements de l'ordre de 1,7 à 2,8 tonnes par hectare.

Théoriquement, l'irrigation d'une superficie de 13 867 ha, avec un rendement de 2,8 t/ha, donne une production de 38 828 tonnes.

- Les céréales conduites en pluviale, occupent une superficie de 1 732 283 ha dans la zone d'étude, avec un rendement moyen de 1,1 t/ha (rendement moyen dans la zone d'étude) donnant ainsi une production de 2 078 740 tonnes
- La production des céréales conduites à l'irriguée contribue à hauteur de 2% dans la production nationale.
- Le volume de l'eau bleue de 38 000 393 m<sup>3</sup> permet de produire 38 828 tonnes, ainsi un complément de 979 m<sup>3</sup> en moyenne, produit une tonne de céréale.
- L'eau verte contribue donc à hauteur de 98%, et un volume de 5 710 786 736 m<sup>3</sup>, produit 2 078 740 tonnes. Ainsi 2747 m<sup>3</sup> d'eau verte produit une tonne de céréales, alors que la FAO année considère en moyenne seulement 1500 m<sup>3</sup>/ha. Ceci montre l'importance de la demande climatique dans notre pays qui représente le double du chiffre donné par la FAO.

---

# Conclusion Générale

L'analyse de la situation concernant le problème du manque d'eau en Algérie montre bien que ce manque est réel et indiscutable, mais il n'est pas aussi catastrophique qu'on le fait croire car ce problème de manque d'eau ne date pas d'aujourd'hui, vue la situation géographique de notre pays.

En effet, le manque de potentialités hydrique aggravé par une mauvaise répartition spatiotemporelle des précipitations ne permettent pas une bonne conduite de notre agriculture pluviale, particulièrement dans la zone nord du pays.

De ce fait, l'Algérie a depuis fort longtemps eu recours à des importations massives de produits alimentaires stratégiques, particulièrement des céréales, pour compenser le déficit enregistré par la production nationale, qui est à 99% sous régime pluvial.

Cette production recèle des quantités considérables d'eau virtuelle, dite verte qui n'est jamais prise en considération dans nos plans de gestion de nos potentialités hydriques

Malheureusement, bien que le concept "d'eau virtuelle" soit évoqué depuis une vingtaine d'années par d'imminents spécialistes, et malgré son importance pour notre pays, ce concept reste méconnu dans la stratégie de gestion des ressources hydriques dans notre pays.

L'intérêt de ce concept vient du constat des faibles niveaux de satisfaction de la demande de l'une des cultures les plus stratégiques, en l'occurrence les céréales. En effet, le fait de dépendre des marchés internationaux pour un produit aussi important, comme les céréales, met l'Algérie dans une situation d'insécurité permanente, particulièrement avec tous les aléas et les perturbations que connaissent ces derniers temps ces marchés (disponibilité, fluctuation des prix, monopole etc.) (Mouhouche, Lani; 2010).

Néanmoins, à l'exception d'un miracle technologique futur (énergies renouvelables et désalinisation), l'Algérie sera toujours dépendante, en partie, des marchés internationaux pour l'alimentation de sa population toujours croissante et plus exigeante, et du fait de ses potentialités hydriques limitées.

Le présent travail a pour but de trouver des alternatives concrètes pour une amélioration effective des niveaux de production des céréales, ce qui nécessite une évaluation beaucoup plus proche de la réalité des quantités d'eau requises et/ou consommées effectivement pour la production des céréales en Algérie.

Les volumes d'eau ont été estimés par le logiciel Cropwat, avec l'exploitation des données climatiques de vingt et une (21) stations météorologiques des zones d'étude.

Les résultats obtenus permettent d'en déduire que le volume d'eau verte seulement calculé sur la zone d'étude permet de produire le tiers de la demande céréalienne algérienne, puisque l'irrigation est pratiquement inexistante (moins de 1% des surfaces emblavées annuellement).

Et pour expliquer la faiblesse de la production, nous avons considéré les hypothèses suivantes :

- La première cause est technique et porte sur la quantité de l'eau requise ( 4, 3 milliards m<sup>3</sup>/an). En effet, ces volumes d'eau estimés par le logiciel Cropwat, permettent de conclure que les superficies irriguées ne représentent que 1% des superficies totales et les besoins en eau d'irrigation sont importants par rapport à la pluviométrie reçue sur la zone d'étude (mm/an ou m<sup>3</sup>/an).

Ce paramètre est donc en premier lieu à l'origine de la faiblesse des productions par rapport à la demande, compte tenu des volumes importants requis, la variabilité spatiotemporelle est prise en compte.

- La deuxième cause est socioéconomique. Elle s'explique par la rentabilité du m<sup>3</sup> d'eau, selon sa nature eau bleue (kg/m<sup>3</sup>) ou eau verte (kg/m<sup>3</sup>) et par rapport à la rentabilité d'autres cultures.

La meilleure solution pour l'amélioration des niveaux de production, est celle qui permet une augmentation des rendements sur la base des disponibilités en eau dans les zones potentielles, car même si les techniques de travail du sol, l'utilisation des produits phytosanitaires et l'utilisation des semences sélectionnées apportent une certaine amélioration des rendements (cas des céréales dans le sud), leur efficacité dépend des conditions climatiques (aléas climatiques); plus particulièrement de la répartition spatiotemporelle de la pluviométrie.

Ces considérations suggèrent l'utilisation de techniques appropriées pour améliorer la réponse aux besoins en eau des céréales, afin de mieux valoriser le peu d'eau destinée à cet effet.

Finalement, actuellement, bien que ça paraisse contradictoire, paradoxal et même choquant, l'Algérie est sûrement gagnante à tout point de vue en important ces produits alimentaires qui recèlent virtuellement des quantités considérables d'eau que l'Algérie ne pourra jamais mobiliser actuellement pour produire l'équivalent en produits alimentaire importés.

En effet, les trois contraintes simultanées de manque de SAU et de ressources hydriques, ainsi que le faible niveau de performance de notre agriculture, en général et celle irriguée, en particulier, montrent à quel point il est plus que judicieux de maintenir l'option d'importation des céréales tant que les moyens financiers du pays le permettent, néanmoins, une question se pose d'elle-même : jusqu'à quand ?

Une chose est sûre, est que l'Algérie ne doit pas rester l'éternel pays importateur de céréales et d'autres produits stratégique, à la merci des aléas des marchés internationaux.

Ainsi, Avant que la dépendance alimentaire ne devienne un handicap pour le développement économique et social pour le pays, il s'agira d'œuvrer pour une augmentation de la production de céréales par la pratique d'une agriculture performante par la réhabilitation de notre agriculture pluviale et par l'augmentation des surfaces irriguées, dans la mesure du possible.

De ce fait, le recours à l'irrigation sous toutes ses formes (intégrale ou de complément) s'avère nécessaire pour une production agricole en mesure de couvrir les besoins alimentaire de la population, particulièrement pour les produits de large consommation

Ainsi une des priorités du programme d'actions futures à réaliser par le MRE et le MADR concernerait tous les aspects de la mobilisation des ressources hydriques et leur utilisation rationnelle efficace et durable à tous les niveaux et par tous les utilisateurs potentiels.

En effet, actuellement, à l'exception des aspects naturels du manque d'eau, les principaux problèmes de la gestion des ressources hydriques sont beaucoup plus d'ordres techniques, organisationnels, législatifs et socio-économiques.

Donc, il reste seulement aux utilisateurs et aux gestionnaires de l'eau sous ses différentes formes de savoir comment conjuguer tous leurs efforts pour diminuer l'intensité du manque d'eau et surtout de se préparer avec tous les moyens dont on dispose pour vivre en permanence avec ce danger permanent d'avoir un jour soif, parce qu'on n'a pas su comment nous comporter face au problème du manque d'eau, comme c'est le cas aujourd'hui

Nous dirons pour terminer que l'existence et la place de l'Algérie dépendront de la maîtrise du peu d'eau dont elle dispose car ce peu d'eau est relativement important s'il est bien géré, et il est dérisoire s'il ne l'est pas, comme c'est le cas aujourd'hui malheureusement.

## Références bibliographiques

- Allan J.A. (2001).** The Middle East Water Question, Tauris, London.
- Allan J.A. (1999).** Les dangers de l'eau virtuelle, [www.unesco.org/courrier/1999](http://www.unesco.org/courrier/1999)
- Allan J.A. (1983).** Natural resources as national fantasies, Geoforum, pp.243-247.
- Ayeb H. (1998).** L'eau au Proche-Orient : la guerre n'aura pas lieu, Karthala, Paris.
- Boulassel A. (1997).** Contribution à l'étude de l'effet de l'irrigation d'appoint sur deux variétés de blé dur (Waha et Acsad 65). INRAA. Laboratoire de Bioclimatologie.
- Benseddik B. (1997).** L'efficience de l'eau en zone semi-aride : une approche simple pour l'optimisation du rendement et une meilleure gestion de l'eau. Université D. Liabés 23, Institut des Sciences de la Nature, laboratoire de Gestion des Ecosystèmes, e-mail: [benseddik@mail.univ-sba.dz](mailto:benseddik@mail.univ-sba.dz)
- Bakre M., Bethemont J., Commère R et Vant A. (1980).** L'Égypte et le barrage d'Assouan : de l'impact à la valorisation, Saint- Etienne, Presses de l'Université.
- Beaumont P. (1994).** The myth of water wars and the future of irrigated agriculture in the Middle-East. International Journal of Water Resources Research, X-1, pp. 9-21.
- Bethemont J. (1999).** L'eau, le pouvoir, la violence dans le monde méditerranéen, Hérodote, n° 103, pp. 175-200.
- Bethemont J. et Faggi P. (1998).** Originalité, potentialités et limites de l'agriculture dans le Nord-Sinaï, Géo carrefour, 73-3, pp. 239-245.
- Boutet A. (2001).** L'Égypte et le Nil. Pour une nouvelle lecture de la question de l'eau, Paris, L'Harmattan.
- Chabaca M. (2007).** Analyse des paramètres d'efficience de l'irrigation gravitaire traditionnelle en Algérie. Optimisation de la pratique d'irrigation par une modélisation simplifiée à l'échelle de la parcelle et propositions de pilotage. Thèse doctorat. ENSA El Harrach. Alger.
- Collins R. (1996).** The Water of the Nile, Marcus Wiener, Princeton.
- Clarke D. (1998).** Cropwat for Windows. User Guide. University of Southampton,
- FAO. (1986).** Bulletin FAO d'irrigation et de drainage n° 24 " les besoins en eau des cultures
- FAO. (2005).** FAO Aquastat. Système d'information de la FAO sur l'eau et l'agriculture.
- FAO. (1997).** Les besoins en eau d'irrigation.
- FAO. (2003).** L'irrigation d'appoint dans les pays du Maghreb, Tunis
- Fernandez S. (2007).** Etude régionale : L'eau virtuelle en Méditerranée. Un indicateur pour contribuer à l'analyse des questions de gestion et de répartition de l'eau ? Gestion de la demande en eau en Méditerranée, progrès et politiques. Saragosse, 19-21 mars 2007

- 
- Fernandez S., Bonnier S., Briens M., Coignac J. et Taquarort M. (2007).** L'eau virtuelle en Méditerranée : un indicateur pour contribuer à l'analyse des questions de gestion et de répartition de l'eau en situation de pénurie ? Engref Montpellier. France.
- Fernandez S., Thivet G. (2008).** Les Notes du Plan Bleu. Environnement et Développement en Méditerranée, n° 8 Avril 2008.
- Hammiche B. (1993).**Le marché des céréales et des légumes secs. L'économie n°2, pp.40-47.
- Hoekstra A.Y., Hung P.Q. (2002).** Virtual water trade. A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade, Value of Water Research Series n° 11, UNESCO-IHE
- Howell P., Allan J. (1994).** The Nile: Sharing a scarce resource, Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- Hurst H. (1966).** The Nile Basin. Cairo. Ministry of Public Works.
- ITGC. (2002).** Programme de développement de l'irrigation d'appoint des céréales
- Sowmya K. S. (2004).**Si vous n'avez pas d'eau, importez vos céréales ! Courrier international - 29 juil. 2004
- Lasserre F., Descroix L., (2003).** Eaux et territoires, tensions, coopérations et géopolitiques de l'eau, Paris, L'Harmattan.
- Mekhlouf A., Bouzerzour H., Benmahammed A., Sahraoui A., Harkati N. (2006).**Adaptation des variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) au climat semi-aride.
- MADR. (2007).** Statistiques agricoles, commerce extérieur agricole.
- MADR. (2006).** Statistiques agricoles, Série B.
- MADR. (2002).** Rapport national sur l'irrigation d'appoint en Algérie.
- Mouhouche B. et Guemraoui M. (2004).** Réhabilitation des grands périmètres d'irrigation en Algérie. Séminaire sur La Modernisation de l'Agriculture Irriguée dans les Pays du Maghreb 19 au 21 avril 2004 Rabat, Maroc.
- Mouhouche B & Lani S. (2011).**The strategic importance of cereal virtual water in Algeria. Report and perspectives, journal of agriculture science and technology, ISSN 1939- 1250, USA.
- MRE. (2006).** Le Plan National de l'eau.
- Majzoub T. (1994).** Les fleuves du Moyen-Orient, Paris, L'Harmattan.
- Mutin G. (2000).** L'eau dans le monde arabe, Paris, Ellipses.
- Rousset N. (2007).** 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. Note de travail n° 24/2007. Laboratoire d'économie de la production et de l'intégration internationale.
- OSS-UNESCO (2000).** Les ressources en eau des pays de l'Observatoire du Sahara et du Sahel, Paris, UNESCO.
- ONS. (2001).** Les productions, rendements et superficies des céréales en Algérie 1989-2001
-

**ONS. (2006).** Prévission de la population pour les années 2010 et 2025

**ONM. (2006).** Les données climatiques de 21 stations météorologiques en Algérie.

Sara Fernandez, Jean Verdier (2004). Problématique de l'eau agricole en méditerranée. IPTRID Montpellier, Atelier international de l'IME. 24 & 25 mai 2004

**Riad S.. (2003).** Typologie et analyse hydrologiques des eaux superficielles à partir de quelques bassins versants du Maroc, Thèse doctorat.

**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, Gestion de la demande en eau en Méditerranée, progrès et politiques. Saragosse, pp 19-21 <http://www.up.ac.za/academic/libarts/polsci/awiru> .

**WWC. (1999).** The Arab countries consultation on a vision for water in the XXI Century World Water Council, Marseille.



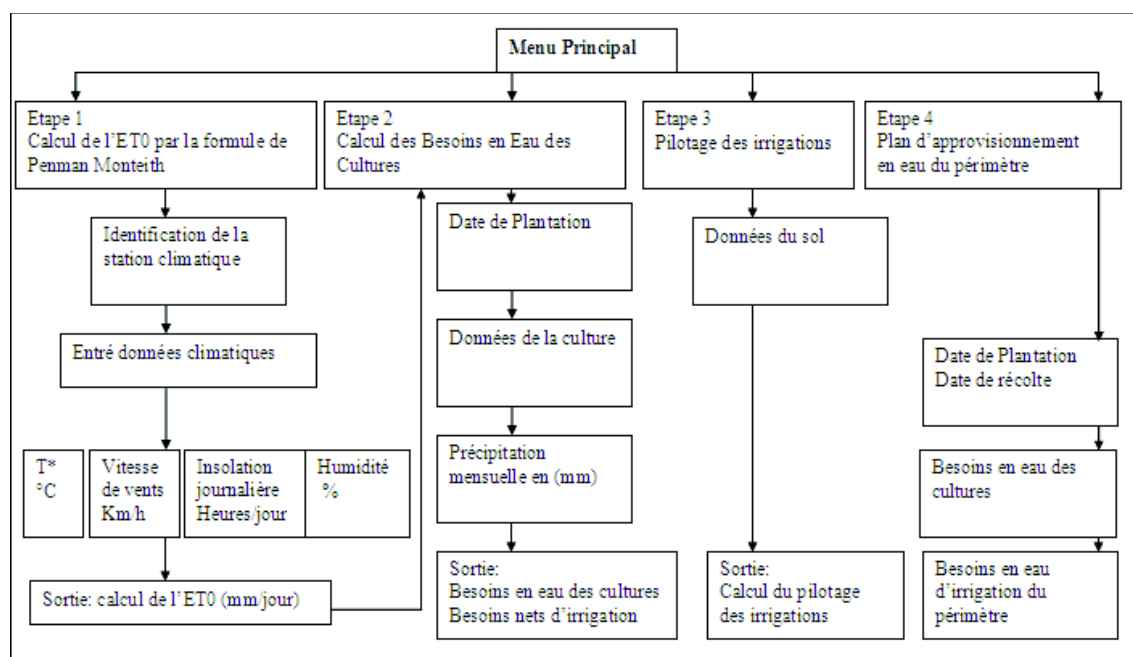
# ANNEXES

## Annexe 1

Tableau : Equivalence en eau des principaux produits alimentaires.

Produit	Unité	Equivalent en eau en m <sup>3</sup> par unité
Bovin	Tête	4000
Moutons et chèvre	Tête	500
Bœuf frais	Kg	15
Agneau frais	Kg	10
Volaille fraîche	Kg	6
Céréales	Kg	1.5
Agrumes	Kg	1
Légumineuses, racines et tuberculeuse	Kg	1

Source : FAO, 1997 **Annexe 2**



Organigramme du Modèle CropWat