

131865

MICROFICHE

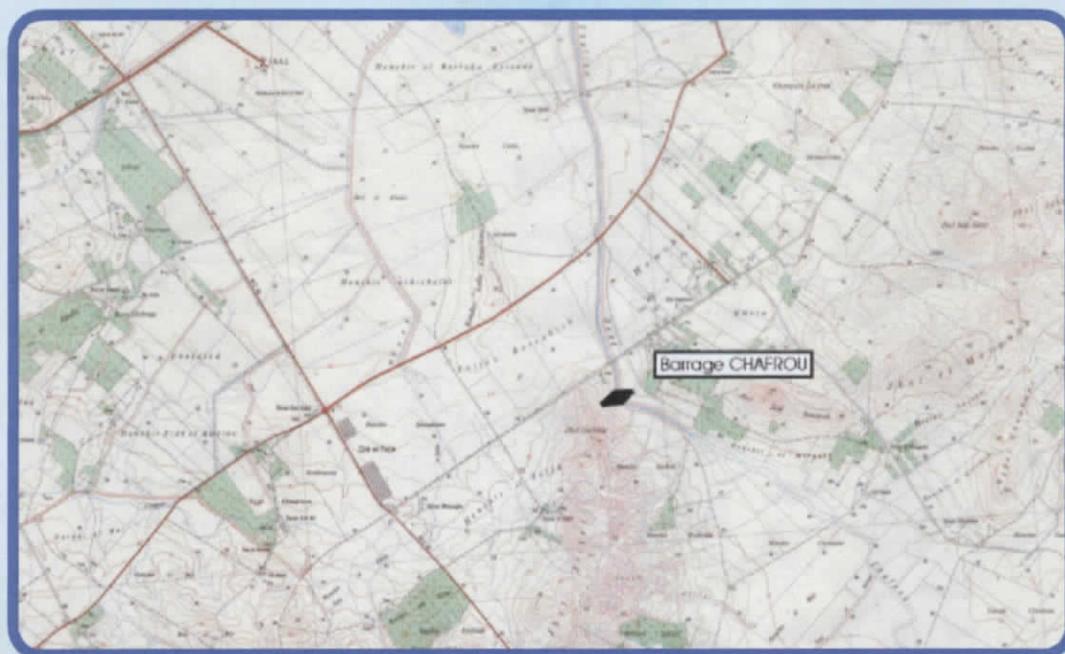
41124

RÉPUBLIQUE TUNISIENNE

Ministère de l'Agriculture, de l'Environnement
et des Ressources Hydrauliques

D.G/B.G.T.H

Étude de faisabilité économique et d'impact environnemental du barrage CHAFROU (Gouvernorat de Manouba)



Phase II-1 : Etude de régularisation
des eaux du barrage

Rapport définitif



SCET TUNISIE

2, Rue Sahab ibn Abbad,
Cité Jardins, BP 16
1002 Tunis Belvédère - Tunisie
Tél: (216) 71 800 033 / Fax: 71 781 956
E.Mail: deha@sctet-tunisie.com.tn

Réf : 01-57

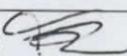
Date : Avril 2003

REPUBLIQUE TUNISIENNE
MINISTERE DE L'AGRICULTURE, DE L'ENVIRONNEMENT
ET DES RESSOURCES HYDRAULIQUES

D.G. / B.G.T.H.

ETUDE DE FAISABILITE ECONOMIQUE ET D'IMPACT
ENVIRONNEMENTAL DU BARRAGE CHAFROU

PHASE II-1 : ETUDE DE REGULARISATION
DES EAUX DU BARRAGE

C	02/04/2003	Phase II-1 – Rapport définitif	M.M. 	F.R. 	N.S. 
B	14/01/2003	Phase II-1 – Rapport pré-définitif	M.M.	F.R.	N.S.
A	10/09/2002	Phase II-1 – Rapport provisoire.	M.M.	B.H.I	N.S
Indice	Date	Objet de la modification	Vérifié par	Approuvé par	Validé par



SCET-TUNISIE

2, Rue Sahab Ibn Abbad - BP 16
1002 Tunis-Belvédère - TUNISIE
Tél : (216) (1) 800 033 - Fax : (216) (1) 785 066
e-mail : deha@scet-tunisie.com.tn

Réf : 01-57

Date : Avril 2003

I - ETUDE DE REGULARISATION DE L'EAU DU BARRAGE

I.1 - REVUE DES DONNEES DE L'ETUDE TECHNIQUE DU BARRAGE

I.1.1 - Rappel

L'édification d'un barrage sur l'oued Chafrou devrait assurer :

- La régulation des eaux de l'oued Chafrou en vue de leur utilisation agricole ;
- La protection des infrastructures aval contre les inondations.

Les principales caractéristiques du site retenu sont :

- Surface du bassin versant : 217 Km² ;
- Apport moyen annuel (module) : 7 M.m³ ;
- Volume aux plus hautes eaux : 14 M.m³ ;
- Apports solides annuels : 400.10³ Tonnes ;

Plusieurs variantes ont été étudiées (APS du barrage Chafrou, SIAA-ISL, 1999) concernant le type et la position de l'axe de la digue permettant de bénéficier des meilleurs avantages naturels.

Pour que l'ouvrage projeté puisse répondre aux objectifs du maître d'œuvre, la solution d'un barrage en remblai dur a été envisagée. Les principales caractéristiques de cet ouvrage sont :

- Cote de la retenue normale : 49 m NGT
- Cote des plus hautes eaux : 51 m NGT
- Volume à la cote RN : 7 Mm³
- Volume aux plus hautes eaux : 14 Mm³
- Surface à la cote RN : 4,71 Km²
- Largeur en crête : 3 m
- Pente du talus amont : 1H/1V
- Pente du talus aval : 1H/1V
- Diamètre de la conduite de vidange : 800 mm
- Longueur de la conduite de vidange : 74 m
- Débit maximal (à la cote de la RN) : 4,4 m³/s
- Diamètre de la prise d'eau : 300 mm
- Débit de crue entrant : 1667 m³/s
- Débit de crue laminé : 1364 m³/s
- Charge maximale sur le seuil : 2 m
- Longueur en crête du seuil : 220 m
- Coût total : 4 000 000 DT

En ce qui concerne l'étude hydrologique, les éléments suivants ont été déterminés.

- Apport moyen annuel estimé à 7 Mm³ avec une lame ruisselée de 30 mm.
- Un débit de crue millénale estimé à 1 667 m³/s.

Les débits de crue et leurs volumes sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau 1. Estimation des débits et des volumes de crues

T	10	50	100	1000
Q _p (m ³ //s)	471	866	1045	1667
V ₀ (Mm ³)	11	22	28	46

I.1.2 - Revue critique de l'aménagement

Ainsi, à partir des données mentionnées ci-dessus, on peut tirer les enseignements suivants :

- La capacité de l'ouvrage correspond à l'apport moyen annuel. Ceci signifie que le rôle du barrage pour la régulation inter-annuelle est faible. Aussi, les crues importantes ne peuvent pas être absorbées par l'ouvrage, puisque le volume des crues dépasse la capacité de l'ouvrage.
- La protection du barrage contre les crues importantes (décennale et plus) se manifeste principalement par l'effet de laminage.
- L'apport solide maintenu dans le rapport technique du barrage paraît surestimé.
- La salinité des eaux de la future retenue du barrage est élevée. On estime la salinité moyenne des eaux du barrage à 3,5 g/l (la salinité des eaux d'étiage atteint plus que 5 g/l).
- Le barrage Chafrou ne sera pas introduit dans la gestion des eaux du nord. L'étude APS a justifié clairement la non intégration de cet ouvrage dans le schéma de gestion des eaux du nord.

I.2 - CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE DE REGULARISATION

L'étude de régularisation devrait aboutir à une gestion rationnelle de la retenue. Elle permettra par conséquent l'exploitation optimale de l'ouvrage, en tenant compte de l'ensembles des paramètres technico-socio-économiques (apport, évaporation, infiltration, besoins en eau de la population,...)

L'étude consiste à reproduire le fonctionnement du réservoir sur la durée du vie du barrage par simulation mathématique et à en déduire le comportement.

Il est important de rappeler que théoriquement, il existe plusieurs types d'exploitation.

❖ Exploitation " souple " en fonction des volumes disponibles :

L'exploitation se fait en fonction des volumes d'eaux disponibles suivant le schéma de principe ci-après :

- Stockage des apports de l'oued pendant la période humide s'étalant entre les mois de novembre à mars, lâchure progressive des eaux stockées pendant la période dite sèche s'étalant entre les mois d'avril-septembre,
- Le barrage doit être vide à la fin de septembre afin de lui permettre de stocker le maximum des apports pendant la nouvelle période des pluies.

❖ Exploitation " rigide " suivant une demande en eau fixée :

Ce mode d'exploitation a été défini par un niveau de fourniture d'eau annuel " fe " fixée suivant les besoins en irrigation (demande).

Pour chaque niveau de fourniture d'eau annuel, on calcule le déficit en eau d'irrigation. Ce déficit se traduit par une perte relative de production agricole. Il peut être quantifié par le volume d'eau demandé qui n'est pas fourni une année donnée et par la fréquence (nombre d'année) avec laquelle un déficit égal ou supérieur apparaît.

❖ Exploitation mensuelle

L'exploitation se fait sur une base mensuelle par le biais de lâchures progressives qui étalent les apports dans le temps sans nécessiter une accumulation prolongée, permettant d'alimenter directement (par pompage à partir de la nappe) les zones agricoles. Ce mode d'exploitation donne plus de souplesse, d'amplitude et d'efficacité à l'utilisation, permet de réduire sensiblement les pertes par évaporation et dans une certaine mesure, de limiter le taux d'envasement des retenues.

Dans le présent rapport, on a adopté le cas d'exploitation rigide. Ce choix est dicté par des considérations pratiques, puisque l'exploitation mensuelle est à écarter (pas de besoin important de recharge et d'utilisation par pompage), alors que l'exploitation souple qui sous-entend une gestion en temps réel est non adaptée aux conditions réelles du projet.

La gestion rigide se base sur un besoin fixe, qui correspond à un périmètre irrigué. Deux grandeurs doivent être définies pour caractériser ce périmètre, il s'agit de la superficie et du besoin (qui correspond à fixer un développement agricole futur).

Le plan de développement agricole futur peut être approché, en tenant compte de l'expérience des agriculteurs, de leurs souhaits, du contexte économique et des critères agronomiques de mise en valeur de la zone.

Ainsi, le paramètre qui reste à déterminer par l'étude de régularisation est la superficie du périmètre, en fixant le niveau de garantie pour répondre aux besoins globaux.

Dans le cas du barrage Chafrou, on effectuera trois simulations pour trois niveaux différents de garantie : 50%, 80% et 90%, sans adopter des consignes de gestion particulières. Une fois ces simulations sont réalisées, on adoptera des consignes de gestion pour optimiser la valorisation des eaux du barrage.

I.3 - METHODOLOGIE

Cette étude est menée en suivant les principales étapes de travail suivantes :

- Une reconstitution d'une série d'apports naturels sur une période plus longue que celle de la durée de vie de l'ouvrage ;
- Etablissement des différentes situations hydrologiques (séries de 30 ans successifs) et étude de la variabilité de ces séries (médiane, la plus humide et la plus sèche).
- L'établissement d'un modèle de simulation de la gestion de l'eau.
- Elaboration des modèles d'exploitation de la retenue.
- La simulation du fonctionnement du réservoir avec les différentes consignes d'exploitation et en testant la sensibilité aux divers paramètres.

- Analyse des résultats des différentes simulations et en déduire les performances hydriques de l'aménagement et le mode d'exploitation optimale de la retenue.

I.3.1 - Reconstitution de la série des apports

Les apports naturels dans le réservoir peuvent être représentés par :

- Une série naturelle enregistrée ou reconstituée à partir des données observées sur des bassins limitrophes ;
- Une série artificielle reconstituée de manière stochastique. Cette méthode consiste à calculer les caractéristiques statistiques de la série naturelle et de générer d'autres séries ayant les mêmes caractéristiques grâce à un générateur de nombres aléatoires.

Dans le cas du barrage Chafrou, la matrice des apports mensuels a été reconstituée à partir de la transformation pluie-débit établie dans l'étude technique du barrage.

I.3.2 - Analyse des situations hydrologiques (série de 30 ans)

La durée de vie d'un barrage étant fixée au moins à 30 ans. On procède par sélection à partir de la série de base des écoulements reconstitués (sur 40 années), de séries de 30 ans (appelée situation hydrologique). Ainsi, dans le cas du barrage Chafrou, on a établi 10 différentes situations hydrologiques et nous avons défini la série moyenne, la plus humide et la plus sèche.

I.3.3 - Simulation d'exploitation de la retenue

Il s'agit d'étudier le comportement de la retenue, pour la situation hydrologique définie, en fonction des apports mensuels de la retenue, des pertes par évaporation et infiltration, du soutirage selon le modèle d'exploitation à définir et en tenant compte de l'envasement progressif de la retenue.

La simulation de calcul se fera sur la base du bilan suivant, sur la base d'un pas mensuel :

Soit $A = \text{stock}_{i-1} + \text{Apport}_i - (\text{Evaporation}_i + \text{Infiltration}_i + \text{Besoin}_i)$

- Si $A < \text{Capacité}$ Stockage au mois $i = A$ et lâchure = 0
- Si $A > \text{Capacité}$ Stockage au mois $i = \text{capacité de l'ouvrage}$ et lâchure = $A - \text{capacité}$

a) Hypothèses de calcul

- La première année de fonctionnement du périmètre correspond à la deuxième année après la fin de construction du barrage, avec une exploitation qui correspond à 100% des besoins du périmètre.
- les pertes par évaporation ont été calculées sur la base de l'évaporation moyenne annuelle qui a été évaluée à 1.912 mm et sa répartition mensuelle et ce en fonction de la surface du plan d'eau correspondant au volume d'eau stocké dans la retenue, déterminée à partir des courbes Hauteur-Surface- Volume de la retenue.
- Les pertes par infiltration sont estimées à 1%.
- Le volume annuel de sédiment déposé dans le réservoir est soustrait de la capacité utile. En effet la capacité de stockage de la cuvette sera réduite chaque année d'un volume égale à l'envasement moyen annuel. L'envasement moyen annuel a été estimé à 125 000 m³/an (l'envasement est estimé à 250 000 m³/an dans l'étude technique de l'ouvrage).
- La salinité de l'eau est estimée à 3,5 g/l.

Pour chacune des séries hydrologiques, à la fin de chaque période le programme fait le bilan des résultats suivants :

- Superficie exploitable selon le taux de garantie et le taux de satisfaction des besoins fixés.
- Les volumes moyens annuels de lâchures, infiltration et évaporation.

b) Durée de simulation

La simulation d'exploitation annuelle de la retenue a été effectuée sur 30 ans, correspondant à la durée d'exploitation du barrage.

I.3.4 - Mode d'exploitation de la retenue

a) Modèle d'exploitation

a.1) Plan de développement futur

Le modèle de développement agricole futur prend en compte plusieurs paramètres dont l'expérience des agriculteurs, les potentialités en sol, les normes agronomiques et la qualité de l'eau (résistance à la salinité). L'assolement choisi se présente comme suit :

- 40% d'arboriculture (Grenadiers et Oliviers) avec luzerne en intercalaire ;
- Orge-grain (10%), Orge en vert (20%), Avoine foin (10%), Navet (10%), Artichaut (10%) comme culture d'hiver et sorgho fourrager (20%) comme culture d'été.

a.2) Estimation des besoins de lessivage

Les différents modèles utilisés sont basés sur la détermination des quantités d'eau à apporter pour établir un équilibre entre la salinité de l'eau d'irrigation (E_{cw}) et celle du sol (E_{ce}).

➤ Seuil de sensibilité au sel des cultures

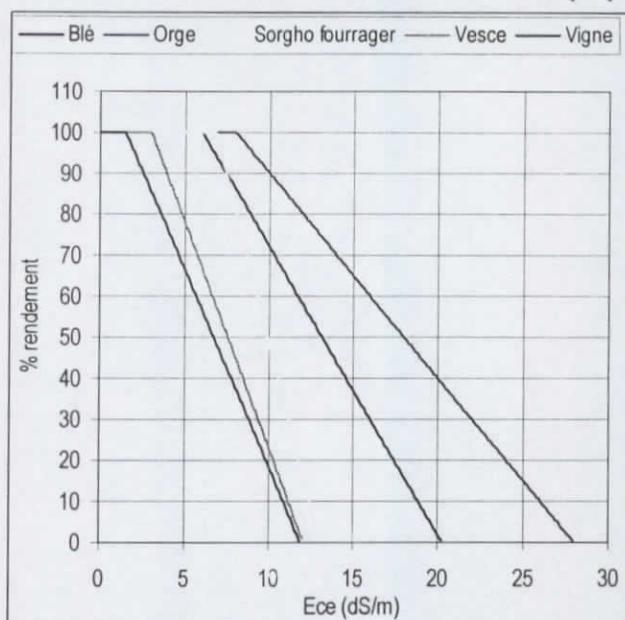
On peut représenter la sensibilité des cultures au sel, sous forme d'une courbe du rendement en fonction de la salinité de l'extrait de pâte saturée du sol (E_{ce}).

Cette courbe est caractérisée par un seuil de E_{ce}, en deçà duquel la culture n'est pas affectée par la salinité du sol, puis une décroissance linéaire du rendement en fonction de cette salinité (E_{ce}).

Si on se réfère à une compilation parmi les plus récentes¹, les courbes des principales cultures envisagées dans la zone d'étude sont les suivantes :

¹ Agricultural salinity assessment and management – American society of civil engineers, 1996

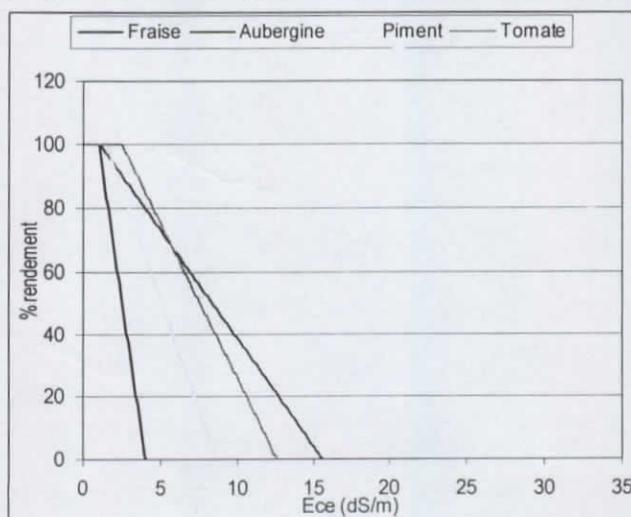
Schéma n°1 : Tolérance au sel de certaines cultures proposées



On voit que les cultures réagissent différemment, avec des résistances importantes pour le blé le sorgho et l'orge par exemple, et moindres pour la vigne. Encore ces données sont-elles celles issues de la bibliographie, et doit on considérer que la sélection variétale a produit du matériel végétal adapté aux conditions salées prévalant dans certains milieux. C'est le cas bien connu de l'abricotier.

Les culture maraîchères sont sensibles en général à la salinité, avec des seuils bas, par exemple 1 dS/m pour la fraise, 1,1 dS/m pour l'aubergine, 2,5 dS/m pour la tomate. On voit qu'une Ece de 6 dS/m par exemple est totalement incompatible avec la fraise ou conduirait à des rendements limités à 50% de l'optimum pour le piment.

Schéma n°2 : Tolérance au sel de cultures maraîchères



On retiendra cependant les valeurs ci-dessus pour les grandes cultures et les arbres, en faisant une pondération des différentes cultures proposées dans le plan de développement agricole, afin d'évaluer une dose de lessivage moyenne. Dans la pratique, la différenciation de cette dose selon les cultures est importante.

➤ Formule de Rhoades

Cette méthode d'évaluation des quantités d'eau requises pour le lessivage a le mérite d'être simple en application lorsqu'on a peu de données, et dispense d'une approche analytique.

Fraction de lessivage : $LR = E_{cw} / (5 E_{ce} - E_{cw})$

Avec :

E_{cw} : conductivité électrique de l'eau d'irrigation = 4,9 dS/m = 3,5 g/l.²

E_{ce} : conductivité électrique de l'extrait de pâte saturée qui dépend de la culture et de la chute de rendement tolérée. Pour les cultures concernées par le plan cultural proposé, et pour une chute de rendement allant de 10 à 20 %, la valeur prise est de 7 dS/m.

On obtient un besoin en lessivage $LR = 16 \%$, qu'il faut pondérer par un facteur d'efficacité de percolation, en tenant compte de la nature des sols, qui peut en fait aboutir à des valeurs sensiblement plus élevées.

➤ Bilan de sels³

Cette méthode a l'avantage au contraire de tenter de décrire le fonctionnement complet du système climatologique, sols, et gestion des apports d'irrigation. On retiendra les valeurs issues de ce mode de calcul.

Si on adopte la formule issue des bilans de sels et de l'eau, on aura :

$$R^* = (E - P) E_{cw} / (2E_{ce} - E_{cw})$$

Avec :

- R^* : percolation nette
- E : évaporation
- P : pluviométrie

Cette formule permet un calcul au pas mensuel, prenant en compte le variation des paramètres climatiques, la variation de la qualité de l'eau d'irrigation et les besoins des cultures.

La variation de la salinité au pas de temps mensuel est calculée par la formule suivante :

$$\Delta Z = [(I E_{cw}) - (R^* Z_i / H_{ch})] / (1 + R^* / 2H_{ch})$$

- ΔZ : variation de stock salin
- I : dose d'irrigation
- Z_i : quantité de sels stockée dans la couche racinaire
- H_{ch} : capacité au champ

Le résultat de ce calcul pour de l'eau « moyenne » issue du barrage peut être présenté de la façon suivante, pour ce qui concerne un objectif de $E_{ce} = 6$ dS/m, en prenant en considération le plan cultural futur, et donc en raisonnant en terme de besoin de lessivage pondéré. On notera que ce calcul est conduit sans tenir compte des pluies excédentaires éventuelles sur le périmètre.

² [S/m] = [g/l] x 1000 / 58.5 / 12

³ J.G. van Alphen & J.W. van Hoorn, Agricultural University Wageningen – "Maîtrise de la salinité, bilans de sels et besoins de lessivage des sols irrigués" 1994

Tableau n°1 : Evaluation de la dose de lessivage

Hch =300 Ece = 7 dS/m ou 5 g/l

Par.	T	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	At
E (mm)	896	73,09	54,03	46,52	49,6	52	43,1	65,61	77,76	84,48	109,4	119,0 7	121,2
P (mm)	355	27,2	44,8	43,2	49,6	52,0	39,2	34,4	32,0	17,6	8,0	1,6	5,6
E-P	541	45,9	9,2	3,3	0,0	0,0	3,9	31,2	45,8	66,9	101,4	117,5	115,6
Eci (dS/m)		4,90	4,90	4,90	4,90	4,90	4,90	4,90	4,90	4,90	4,90	4,90	4,90
I (mm)	781	145,9	109,2	43,3	0,0	0,0	3,9	6,2	70,8	66,9	101,4	117,5	115,6
DW								-25	25				
R (mm)	291	25	5	2	0	0	2	17	25	36	55	63	62
R1 (mm)	290	100	100	90	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Z1		5 500	4 541	3 703	3 134	3 134	3 134	3 153	3 184	3 531	3 858	4 355	4 931
Z1 (g/l)		6,60	5,45	4,44	3,76	3,76	3,76	3,78	3,82	4,24	4,63	5,23	5,92
DZ		-959	-839	-568	0	0	19	30	347	328	497	576	566

On évalue ainsi la pluie excédentaire, celle qui n'est pas utilisée dans l'alimentation des plantes, à 100 mm en moyenne, au cours des mois d'octobre à janvier. On considérera que 50% de cette quantité (50 mm) est effectivement efficace pour le lessivage. D'autre part, on préconise l'irrigation gravitaire améliorée, dont on estime qu'elle a une efficacité de 70% à la parcelle, c'est à dire que 30% de l'apport est perdu en évaporation, infiltration, ruissellement... On considérera là que la moitié de ces pertes se produit en percolation. Sur ces bases, on peut comparer la demande (y compris lessivage) aux apports selon les termes suivants :

Tableau 2. Détermination pratique des doses de lessivage (mm)

Objectif Ece (dS/m)	6	7	8
Besoins plantes parcelle (mm)	541	541	541
Dose de lessivage (mm)	370	290	240
Besoins Plantes + lessivage (mm)	911	831	781
Apport total parcelle (mm)	772	772	772
Pertes à la parcelle (mm)	232	232	232
15% de percolation (mm)	116	116	116
50% de la pluie excédentaire (mm)	50	50	50
Apports nets + percolation + pluie excédentaire (mm)	707	707	707
Besoin réel de lessivage (mm)	204	124	74

On voit qu'on aura intérêt à moduler autant que possible l'application du lessivage selon les cultures : une Ece de 7 dS/m est tout à fait acceptable pour des cultures comme le blé, le sorgho ou l'orge (pas de baisse de rendement significative), alors que la vigne et les arbres fruitiers en général et d'autres cultures (vesce) méritent un lessivage plus abondant pour maintenir une Ece plus basse.

Avec une Ece de 6 dS/m, le surplus de lessivage est important (de l'ordre de 200 mm), alors que pour Ece = 7, il faut compter 1 300 m³/ha ; compte tenu de la salinité de l'eau en entrée. Ainsi, il n'est pas raisonnable d'escompter atteindre une Ece de 6 dS/m qui demanderait un lessivage très important. Ceci plaide pour ne pas considérer des cultures maraîchères généralement sensibles à la salinité comme on l'a vu.

Dans la suite du calcul de dimensionnement des équipements hydrauliques, en revanche on ne comptera pas de surplus propres au lessivage : concernant les débits équipés, il est dans tous les cas raisonnable de ne pas alourdir le débit de pointe avec ce besoin.

b) Récapitulatif de calcul des besoins en eau

Tableau 3. Récapitulatif de calcul des besoins en eau

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	At	Total
Besoin moyen à l'hectare	13	4					93	83	48	91	127	112	571
Besoins tête réseau	20	5					140	125	72	137	191	168	858

Le calcul des besoins en eau en tête de réseau est basé sur un taux d'efficacité du réseau de 70% au niveau des parcelles et 95 % au niveau de l'adduction vers le périmètre.

A ce besoin en eau, il faut ajouter un apport de 130 mm répartis sur les mois où le besoin en irrigation est faible (Octobre et Novembre). Le besoin total sera de l'ordre de 988 mm.

I.3.5 - Résultats de la simulation

Les simulations réalisées peuvent se situer à trois niveaux.

- Simulation faite pour différentes situations hydrologiques (sèche, moyenne et humide) ;
- Simulation faite pour différents niveaux de garanties (50%, 80% et 90%) ;
- Simulation faites pour divers modèles d'exploitation et pour différents niveaux de satisfaction des besoins.

La simulation de référence correspond à une situation hydrologique moyenne, à un niveau de garantie de 80%, à un niveau de satisfaction de 90% et au modèle d'exploitation décrit précédemment.

Les autres simulations ont permis de tester la sensibilité des résultats et à la prise de décision concernant le plan d'exploitation choisi.

➤ volumes exploités

Pour une séquence hydrologique moyenne et un taux de satisfaction des besoins des plantes de 90%, les volumes exploitables varient comme suit :

- Pour un niveau de garantie de 90%, le volume exploitable est de 1 235 000 m³ (125 ha) et le volume moyen lâché est de 2 070 000 m³/an ;
- Pour un niveau de garantie de 80%, le volume exploitable est de 2 223 000 m³ (225 ha) et le volume moyen lâché est de 1 775 000 m³/an ;
- Pour un niveau de garantie de 50%, le volume exploitable est de 4 791 000 m³ (485 ha) et le volume moyen lâché est de 1 161 000 m³/an ;

➤ déficit en eau

Le déficit en eau peut être plus ou moins toléré, selon le stade végétatif de la plante. La perte de production causée par le manque d'eau dépend du type de plante.

- Pour une garantie de 90 %, la superficie irrigable passe de 125 ha pour un taux de satisfaction de 90% à 200 ha pour un taux de satisfaction de 60% ;
- Pour une garantie de 80 %, la superficie irrigable passe de 225 ha pour un taux de satisfaction de 90% à 365 ha pour un taux de satisfaction de 60% ;
- Pour une garantie de 50 %, la superficie irrigable passe de 485 ha pour un taux de satisfaction de 90% à 785 ha pour un taux de satisfaction de 60% ;

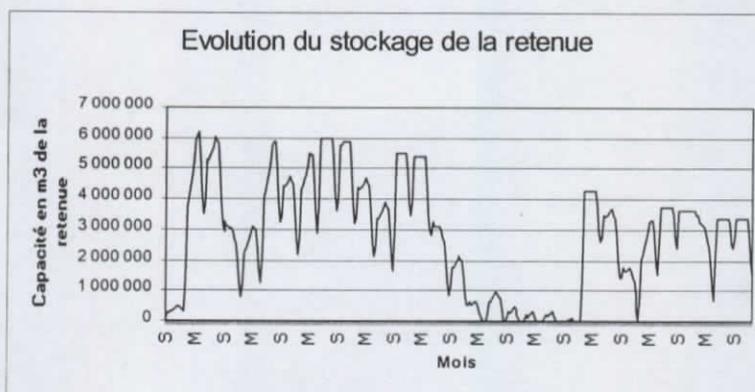
➤ volumes des débordements

Pour une séquence hydrologique moyenne et un taux de satisfaction de 90% des besoins des plantes, le volume des débordements varie en moyenne de 2 070 000 m³/an pour une garantie de 90% (périmètre de 125 ha) à 1 775 000 m³/an pour une garantie de 80% (périmètre de 225 ha).

➤ évolution du niveau du réservoir

Pour une séquence hydrologique moyenne, un taux de satisfaction des besoins de 90% et une garantie de 80%, le niveau du réservoir varie comme suit sur la durée de la simulation (30 ans)

Schéma n°3 : Variation du niveau de la retenue sur la durée de simulation



➤ sensibilité des résultats

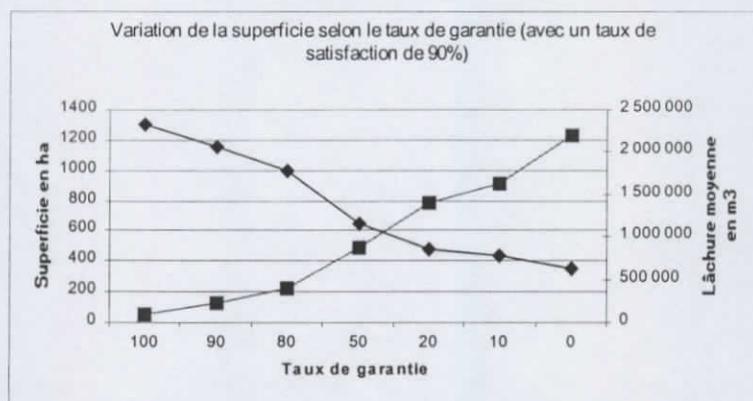
La sensibilité du modèle est assez importante en ce qui concerne la transformation plus-débit adoptée. Une fois, la méthode de transformation choisie, il est intéressant de tester la sensibilité de la variation des résultats par la modifications de quatre paramètres.

- Un premier niveau de sensibilité concerne la superficie du périmètre en fonction du taux de garantie.
- Le deuxième niveau de sensibilité concerne la variation des superficies en fonction du taux de satisfaction des plantes.
- Le troisième niveau de sensibilité concerne la variation des superficie en fonction des séquences hydrologiques.
- Le quatrième niveau concerne la variation de la superficie en fonction du taux d'infiltration au niveau de la retenue.

Ces différentes variations sont présentées au niveaux des schémas suivants.

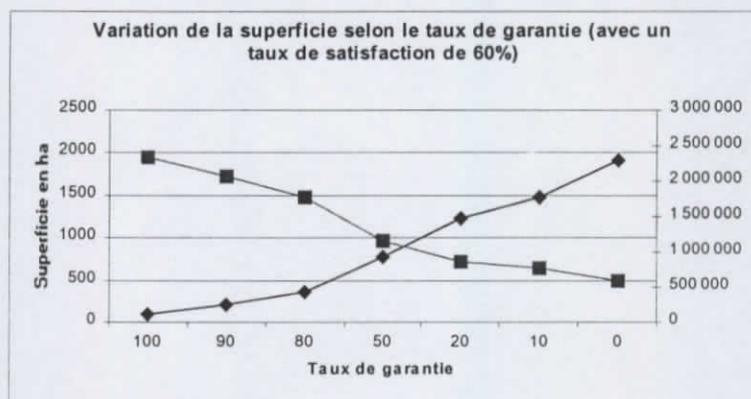
➤ Variation en fonction du taux de garantie

Schéma n°4 : Variation en fonction du taux de garantie



➤ Variation en fonction du taux de satisfaction

Schéma n°5 : Variation en fonction du taux de satisfaction



➤ Variation en fonction de la séquence hydrologique

Tableau 4. Variation de la superficie en fonction de la séquence hydrologique

Séquence hydrologique	Apport annuel moyen	Superficie en ha pour une garantie de 50%	Superficie en ha pour une garantie de 80%	Superficie en ha pour une garantie de 90%
Humide	7 960 000	475	225	120
Moyenne	7 200 000	485	225	125
Sèche	5 870 000	430	180	125

De ce tableau, il ressort que la séquence hydrologique n'a pas d'effet appréciable sur les superficies. La séquence hydrologique a un effet surtout sur le volume des lâchures. Pour les superficies à irriguer, le plus important est la succession des années sèches au sein de la séquence hydrologique (une séquence humide de 30 ans peut avoir une succession importante d'années sèches).

➤ Variation en fonction du coefficient d'infiltration

Si le coefficient d'infiltration passe de 1% à 5%, la superficie irrigable sera de 175 ha (au lieu de 225 ha), pour les mêmes conditions de simulation.

Si ce coefficient passe de 1% à 10%, la superficie irrigable sera de l'ordre de 135 ha (au lieu de 225 ha).

I.3.6 - Optimisation de la gestion

L'optimisation de la gestion consiste à définir des consignes de gestion en fonction du niveau de l'eau de la retenue.

Pour notre cas, la retenue ne peut pas jouer un rôle de protection contre les crues importantes par la définition d'une tranche de stockage car les volumes de crues dépassent la capacité du réservoir. La seule contribution de l'ouvrage pour la protection des crues est l'effet de laminage. Cependant, la protection peut être assurée par l'ouvrage pour les faibles crues, en adoptant un plan de gestion adéquat.

Ainsi, les consignes de gestion seront établis dans le but de répondre, au mieux, aux besoins d'irrigation, à la protection contre les faibles crues et secondairement à l'alimentation de la nappe.

Intuitivement, il s'agit de définir trois consignes selon le niveau d'eau :

- Lorsque le niveau d'eau est élevé, il s'agit de satisfaire totalement les besoins en irrigation et réaliser des lâchures pour l'alimentation de la nappe de Chafrou, au lieu de perdre l'eau par évaporation ;
- Lorsque le niveau d'eau est faible, il s'agit de satisfaire partiellement les besoins en eau du périmètre. En d'autres termes, au lieu de satisfaire la plante entièrement, il sera prudent de lui livrer une partie de ses besoins (sans conséquences graves sur la production).
- Entre ces deux niveaux, la consigne consiste simplement à satisfaire entièrement les besoins en eau du périmètre.

Plusieurs simulations ont permis d'optimiser les consignes de gestion. Ainsi, en prenant comme référence, la simulation suivante :

- Irrigation de 350 ha ;
- Séquence hydrologique moyenne ;
- Taux de satisfaction des besoins des plantes de 90%.

La simulation effectuée fait ressortir les résultats suivants :

- Taux de garantie de 67% ;
- Lâchure moyenne annuelle de 1 535 000 m³ ;
- Evaporation moyenne annuelle de 2 759 000 m³ ;
- Infiltration moyenne annuelle de 311 000 m³.

En adoptant les consignes de gestion suivantes :

- Stockage dans la retenue > 5 000 000 m³ : Répondre totalement aux besoins du périmètre et lâcher l'excédent.
- Stockage dans la retenue < 1 500 000 m³ : Répondre aux besoins du périmètre à un taux de satisfaction de 50 %.
- Entre les deux niveaux : répondre totalement aux besoins du périmètre.

On aura les résultats suivants :

- Taux de garantie de 83% ;
- Lâchure moyenne annuelle de 2 886 000 m³ ;
- Evaporation moyenne annuelle de 2 268 000 m³ ;
- Infiltration moyenne annuelle de 250 000 m³.

Enfin, si on ajoute à cette demande définie pour le périmètre irrigué envisagé, une demande additionnelle pour l'irrigation d'appoint de 220 mm /an avec la répartition suivante :

Tableau 5. Répartition des besoins de l'irrigation d'appoint

Mois	Mars	Avril	Total
Besoin en mm	120	100	220

Ainsi, on aura, pour un besoin de 988 mm /ha du périmètre irrigué de 350 ha et un besoin d'appoint de 220 mm /ha pour une superficie de 300 ha, les résultats suivants :

- Règle de gestion : au dessus de 1 500 000 m³, répondre totalement au besoin et au dessous de 1 500 000 m³, répondre à 50% des besoins totaux.
- Taux de garantie de 80% ;
- Lâchure moyenne annuelle de 2 566 000 m³ ;
- Evaporation moyenne annuelle de 2 108 000 m³ ;
- Infiltration moyenne annuelle de 236 000 m³.

I.3.7 - Conclusion

Sur la base de l'étude de gestion de l'eau de la retenue, **le périmètre irrigué sera d'une superficie d'environ 350 ha**, avec un taux de garantie de 80%, en adoptant les consignes de gestion citées ci-dessus.

En outre, **une superficie de 300 ha serait concernée en année de pluviométrie moyenne par une irrigation d'appoint de 220 mm /ha.**

II - APS DU PERIMETRE IRRIGUE

Comme le montre la figure n°1 de la page suivante, la délimitation du périmètre a été définie sur la base des critères suivants :

- Critères édaphiques : le périmètre a été implanté dans une zone caractérisée par des sols sains et aptes pour la pratique des cultures en irrigué. En effet, une prospection pédologique a précédé la délimitation du périmètre et a intéressé une superficie de 1000 ha environ. Les résultats déduits des analyses du sol au laboratoire et des constatations du terrain, ont permis de dégager les meilleurs sols de la zone prospectée.
- Critères économiques et de gestion : pour réduire le coût des aménagements, les frais de fonctionnement et faciliter la gestion du réseau d'irrigation, la priorité a été donnée aux exploitations se trouvant à proximité des points de prélèvement de l'eau d'irrigation (conduite de prise du barrage), facilement accessibles à partir de la MC 39 et nécessitant peu d'aménagements complémentaires (faible pompage, existence de drains naturels...). Pour cela les terres présentant des risques d'hydromorphie ou de salure ont été écartées (notamment des exploitations limitrophes de Oued Cahfrou).
- Critères sociaux et fonciers : la détermination du périmètre a été effectuée de façon à toucher le maximum de bénéficiaires, notamment ceux possédant des exploitations de taille moyenne, résidants et motivés pour le développement des cultures en irrigué.
- Critères topographiques : la superficie délimitée devrait être topographiquement dominée par les côtes d'implantation du réservoir de façon à garantir une charge résiduelle, au niveau de chaque borne, suffisante pour l'irrigation de toute la superficie concernée moyennant le système d'irrigation approprié.

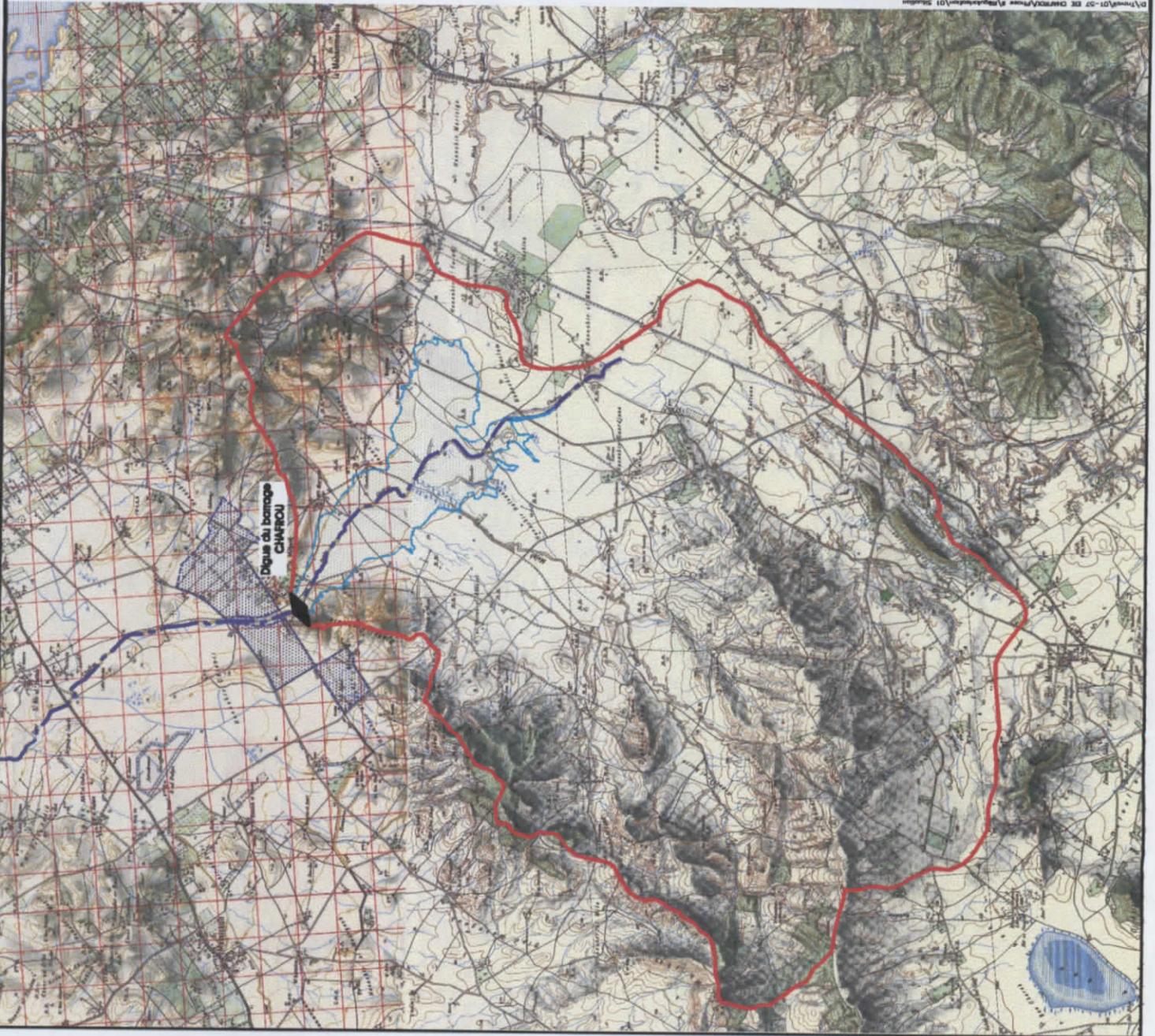
II.1 - CONTEXTE PHYSIQUE

II.1.1 - Climat

Selon la carte bioclimatique de la Tunisie septentrionale, la zone du projet fait partie de l'étage bioclimatique semi-aride supérieur, variante à hiver doux. Le site du barrage étant situé à proximité de Tunis, les données climatiques de la station météorologique de Tunis-Manoubia ont été considérées.

a) La pluviométrie

Comme le montre le tableau suivant qui présente les données pluviométriques moyennes calculées à partir des données des deux stations, la pluviométrie annuelle de la zone d'étude est comprise entre 400 et 500 mm/an.



LEGENDE :

-  Lit mineur de l'oued CHAFROU
-  Limite du bassin versant à l'amont de la digue
-  Zone aval équipée
- Retenue à la cote 50 m

REPUBLIQUE TUNISIENNE
Ministère de l'Agriculture, de l'Environnement et des Ressources Hydrauliques
DG/BGTH

**Etude de faisabilité économique
et d'impact environnemental du barrage CHAFROU**
(Gouvernorat de Manouba)

Phase II-1 : Etude de régularisation des eaux du barrage

A	24/01/03	Permis de déblaiement	E.T. B. N.2.	B.F.	B.F.
Indice	Date	Etat de la modification	Modifié par :	Approuvé par :	
		SCET TUNISIE 2, Rue Babou Ben Aboud Cité Jandou, BP 16 1008 Tunis Nordville Tél : (216) (71) 820 033 Email : des@scet-tunisie.com.tn			
Plan de situation du Projet			Echelle 1/150 000 Date Jan. 2003 Ref. 01-57 N° 01		

Tableau 6. : Données pluviométriques des stations météorologiques représentatives de la zone d'étude

Station	Mois	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Jui ^l	Août	Total
<i>INM de Tunis-Manoubia (1901-1990)</i>														
Pluviométrie		34	56	54	62	65	49	43	40	22	10	2	7	444
Nbre de jours		7	9	11	14	13	12	11	9	6	5	2	3	102
<i>INRGREF de Cherfech (1986-2000)</i>														
Pluviométrie		49,5	37,5	49,5	49,8	67,9	62,8	23,5	37	28,7	8,4	4,1	14,2	432,9

La moyenne des précipitations est de l'ordre de 440 mm, dont plus de 60% tombent entre les mois d'octobre et février. Ce régime pluviométrique est caractérisé par une forte irrégularité, aussi bien à l'échelle annuelle que pluri-annuelle ainsi que par une proportion relativement importante de pluies orageuses.

Concernant les pluies utiles, le tableau suivant présente les valeurs moyennes dans la zone d'étude, calculées à partir des données pluviométriques précédentes.

Tableau 7. : Répartition mensuelle de la pluviométrie utile moyenne

Station	Mois	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Jui ^l	Août	Total
<i>INM de Tunis-Manoubia (1901-1990)</i>														
Mensuelle		27	45	43	50	52	39	34	32	18	8	2	6	355
Saisonnière			115			141			84			16		355
<i>INRGREF de Cherfech (1986-2000)</i>														
Mensuelle		39,6	30,0	39,6	39,8	54,3	50,2	18,8	29,6	23,0	6,7	3,3	11,4	346,3
Saisonnière			109			144			71			21		346

Ces résultats montrent que les pluies automnales et hivernales sont utiles à 60% alors que celles printanières sont utiles pour la moitié. Quant à la pluviométrie estivale, ne parvenant même pas à saturer les réseaux capillaires du sol, elle n'a pratiquement aucune utilité pour la végétation.

b) Les températures

L'influence maritime est encore sensible au niveau de la zone d'étude, tandis que l'effet de l'altitude ne joue pas un rôle important. Le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** ci-dessous présente les températures mensuelles moyennes relevées entre 1901 et 1990 à la station de Tunis-Manoubia.

Tableau 8. : Températures moyennes mensuelles

Températures	Mois	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Jui ^l	Août
<i>INM de Tunis-Manoubia (1901-1990)</i>													
Maximale absolue		44	40	32	27	25	29	33	40	40	43	48	47
Maximale moyenne		30,4	25,1	20,2	15,8	14,4	15,9	18,1	20,9	24,5	29,0	32,2	32,6
Moyenne		24,6	20,1	15,3	11,3	10,4	11,4	13,2	15,6	19,0	23,3	26,1	26,5
Minimale moyenne		18,7	15,0	10,3	6,8	6,4	6,8	8,2	10,3	13,5	17,5	19,9	20,3
Minimale absolue		11	7	1	-1	-1	0	1	3	6	9	10	11
<i>INRGREF de Cherfech (1986-2000)</i>													
Maximale moyenne		30,2	26,3	21,2	17,4	16,4	15,9	19	21,3	26,8	29,7	33,3	34,4
Moyenne		23,8	20,0	15,7	12,3	11,1	11,4	13,0	14,7	19,5	23,0	25,6	27,0
Minimale moyenne		17,3	13,7	10,2	7,1	5,9	6,8	7,1	8,1	12,2	16,2	17,9	19,6

Le régime thermique de la zone est caractérisé par des températures maximales moyennes élevées en été, dépassant 30°C pendant les mois de juillet et août. En hiver, la moyenne des minimums est de l'ordre de 6

°C. L'amplitude thermique moyenne se situe entre 15 et 20 °C. Elle est de l'ordre de 19 °C dans la zone du projet ce qui dénote une faible influence maritime au niveau du site.

c) Les vents

Le vent est un facteur important qui se traduit par des niveaux d'évapotranspiration élevés. Les mesures effectuées à la station de Tunis-Manoubia, permettant d'établir la répartition mensuelle des vents par direction et par force, sont reportées sur le tableau suivant :

Tableau 9. : Répartition mensuelle des vents par direction et par force (Station de Tunis-Manoubia).

Vents	Mois	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Jui ^t	Août
Le plus fréquent		ESE	NW	NW	NW	SW	NW	NW	SE	NE	NNE	NE	ESE
Le plus fort		NW	NW	WNW	NNW	WSW	WNW	NW	NW	S	NW	NW	NNW

Ainsi, la zone d'étude est caractérisée par la fréquence des vents, dont le degré hygrométrique est généralement faible, et qui constituent ainsi une importante source d'évaporation. Les vents dominants dans la région sont généralement du secteur N-NW en hiver à E-SE en été. De même, le Sirocco, dont les effets desséchants sont considérables et qui souffle en moyenne pendant plus que 20 jours par an.

d) L'évaporation et l'évapotranspiration

Concernant les mesures de l'évaporation, on note une valeur annuelle moyenne de l'ordre de 1.942 mm/an. Les valeurs maximales journalières varient entre 17 et 19 mm pendant la période de juillet à septembre.

Tableau 10. : Hauteurs évaporées en mm-PICHE (Station de Tunis-Manoubia).

Evaporation (mm)	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Jui ^t	Août	Année
Totale mensuelle	210	140	120	93	99	106	127	135	123	228	291	240	1 942
Max quotidien	17,6	11,2	11,8	9,0	11,8	12,0	13,0	13,1	15,6	13,2	19,5	17,0	
Min quotidien	1,8	0,8	1,2	0,4	0,0	0,4	1,0	0,7	1,0	3,0	2,5	3,0	

L'évapotranspiration potentielle, calculée selon la formule de Penman par l'INRGREF, est de l'ordre de 1.360 mm /an au niveau de la station de Cherfech. Sa répartition saisonnière s'établit telle que présentée dans le tableau suivant :

Tableau 11. : ETP en mm-Formule de PENMAN (Station de Cherfech)

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillt	Août	Année
Evapotranspiration													
Formule de Penman	$= Kt * P * ((45,7 * tm) + 813) / 100$, où $tm = \text{temp moy du mois}$ Kt fonction de la temp moy P fonction de $L = 36^{*75}$												
journalière	4,4	3,0	1,8	1,3	1,3	2,0	2,8	3,9	5,2	6,2	6,6	6,2	3,7
mensuelle	131,3	93,6	55,0	39,1	40,4	57,0	88,2	117,5	160,3	187,0	205,4	193,4	1368,2
saisonnière	279,9			136,5			366,0			585,8			1368,2

Ce tableau montre des niveaux élevés d'évapotranspiration pendant le printemps et surtout l'été, indiquant un important déficit hydrique durant la majeure partie de l'année.

II.1.2 - Potentialités en sols

La mise en valeur des sols du périmètre par des cultures irriguées doit répondre à l'adéquation entre les caractéristiques intrinsèques de la ressource " sol " et de l'évolution de cette dernière sous irrigation, compte tenu de la qualité de l'eau disponible. Par ailleurs, les aménagements proposés, le choix

d'espèces végétales bien appropriées et bien adaptées particulièrement au forte teneur en calcaire et la maîtrise des techniques d'irrigation, viennent consolider ces orientations.

a) Les sols de la catégorie B1M1C1

Cette catégorie de sols peut constituer un excellent support aussi bien pour les spéculations arboricoles que pour les cultures annuelles et fourragères.

Dans cette catégorie, trois groupes de sol ont été rangé: les sols peu évolués d'apport alluvial sur alluvions, les sols isohumiques châtaîns et marrons évoluant sur des alluvions et enfin les sols bruns calcaires sur alluvions. Il s'agit d'apport alluvionnaires, profonds, homogènes, de texture généralement limoneuse, et sains. Pour les groupes isohumiques marrons et châtaîns, l'état d'évolution et la bonne incorporation de la matière organique en profondeur se sont traduits par des caractéristiques physiques très favorables à l'irrigation (une structure bien développée, une bonne perméabilité et un bon drainage interne).

b) Les sols de la catégorie B2M2C2

Il s'agit de sols de qualité moyenne aussi bien pour les cultures annuelles et fourragères qu'aux spéculations arboricoles. Le déclassement de ces sols est du essentiellement à :

- la forte teneur en carbonate de calcium, et particulièrement sa répartition dans le profil pédologique ;
- l'affectation des horizons de profondeur par la salure ou par l'hydromorphie moyennement accentuée.

c) Les sols de la catégorie M1C1B2

Cette catégorie de sols convient bien aux cultures, annuelles et fourragères et moyennement aux spéculations arboricoles. Leur déclassement est lié essentiellement à la forte teneur en carbonates de calcium et l'homogénéité de sa répartition dans le profil pédologique et à la présence d'une déficience mineure matérialisée par la texture argileuse.

d) Les sols de la catégorie C1M2B2

Cette catégorie de sols convient bien aux cultures, annuelles et fourragères et moyennement aux spéculations arboricoles. Leur déclassement est lié essentiellement à la forte teneur en carbonates de calcium et l'homogénéité de sa répartition dans le profil pédologique et à la présence d'une salinité à moyenne profondeur.

e) Les sols de la catégories C1M2B3

Ce sont des sols qui peuvent bien convenir aux cultures annuelles et fourragères et sont de qualité médiocre pour l'arboriculture. Leur déclassement pour les spéculations arboricoles est lié particulièrement à la salure affectant les horizons subsuperficiels jointe à leur position topographique. Il est à noter que cette catégorie ne représente qu'une seule unité de sol à étendue très restreinte, formée d'apports alluviaux salés en profondeur (secteur El-Attar).

f) Les sols de la catégorie C2M2B3

Les sols qui forment cette catégorie sont de qualité moyenne pour les cultures annuelles et fourragères et

de qualité médiocre pour l'arboriculture. Les unités pédologiques rangées dans cette catégorie sont formées de sols calcaires à un seul horizon (des rendzines) évoluant directement sur des croûtes et/ou d'encroûtements calcaires. Donc les contraintes essentielles de leur mise valeur en irrigué est la faible épaisseur (30 à 40 cm) des horizons exploitables par le système racinaire, jointe à leur forte teneur en carbonates de calcium.

g) Les sols de la catégorie M2C2DB2 :

Ces sols ne peuvent convenir moyennement pour les culture annuelles, fourragères et arboricole qu'après l'exécution des travaux de sous solage qui permettront de gagner sur la profondeur pour les sols évoluant sur des croûtes ou encroûtements calcaires, d'assurer un bon développement racinaire des cultures à envisager pour les salés et hydromorphes en profondeur moyennant l'évacuation des sels en dehors des zones actives de la rhizosphère et d'éviter les problèmes d'engorgement à moyenne profondeur.

h) Les sols de la catégorie M1DC1B2

Les sols évoluant sur des accumulations calcaires (encroûtements ou croûtes) qui se manifestent entre 60 et 90 cm de profondeur, peuvent être après l'exécution des travaux de sous solage, de bonne qualité pour les cultures annuelles et fourragères et de qualité moyenne pour l'arboriculture. L'aménagement en question, permettra de gagner sur la profondeur et d'améliorer la capacité de stockage en eau des encroûtements calcaires afin de favoriser un bon développement du système racinaire des cultures à installer.

i) Les sols de la catégorie C1M2DB2

On a rangé dans cette catégorie les sols peu évolués d'apport évoluant sur des encroûtements calcaires ou sur alluvions affectées par un des processus secondaires de pédogenèse, salure ou hydromorphie. Néanmoins ces accumulations calcaires sont tendres et ne s'identifient qu'à partir de 70 à 80 cm de profondeur. Sur le plan aptitude, ces ressources peuvent constituer un bon support pour les cultures annuelles et fourragères alors que pour les spéculations arboricoles, ils ne peuvent convenir que moyennement après l'exécution des travaux de sous-solage, qui rétablissent la circulation de l'eau en profondeur à travers le profil pédologique et par conséquent, soit facilitent l'évacuation des sels en dehors de la zone racinaire dans le cas des alluvions affectées par la salure, soit améliorent la capacité de stockage en eau des sols encroûtés.

j) Les sols de la catégories C2M2DB2

Il s'agit de sols qui conviennent moyennement pour les cultures annuelles et fourragères, quant aux spéculations arboricoles, ils ne peuvent convenir que moyennement après l'exécution des travaux de sous-solage. Les sols rangés dans cette catégorie ont été déclassés compte tenu de l'affectation des horizons de profondeur par la salure ou l'hydromorphie, de leur forme d'action - combinées ou individualisées - et de leurs ampleurs.

k) Les sols de la catégorie C2M2DB3

Il s'agit des sols convenant moyennement aux cultures annuelles et fourragères et de qualité médiocre pour les spéculations arboricoles. Ils sont formés par des alluvions affectées par la salure et compte tenu de leurs caractéristiques physico-chimiques et de leur position topographique, même après l'exécution de certains travaux d'aménagement, leur vocation arboricole reste très marginale.

Ce sont des sols moyennement profonds et dont les horizons subsuperficiels sont affectés par les

caractères de salure et d'hydromorphie associés ou individualisés ou évoluant sur des accumulations calcaires subsuperficiels (entre 30 et 60 cm).

l) Les sols de la catégorie DC1M2B3

Moyennant la pratique d'un sous solage, les sols de cette catégorie de vocation peuvent bien convenir aux cultures annuelles et fourragères mais pour des spéculations arboricoles ils restent de qualité médiocre et ce à raison de leur faible profondeur (présence de croûte ou d'encroûtement calcaire entre 30 et 60 cm de profondeur) ou de la salure qui affecte leurs horizons subsuperficiels.

m) Les sols de la catégorie DC2M2B3

Ils peuvent être de qualité moyenne pour les cultures annuelles et fourragères et de qualité médiocre pour l'arboriculture après l'exécution de certains travaux d'aménagement. Leur déclassement est dû à la présence d'accumulations calcaires subsuperficielles (croûte et/ou encroûtement calcaires). Cependant, et même après la pratique d'un sous-solage, leur vocation arboricole reste très marginale

n) Les sols de la catégorie Es

Il s'agit de sols non aptes à l'irrigation compte tenu de la forte salure qui affecte l'ensemble de leur solum d'une manière homogène. Cette unité englobe les sols salés.

II.1.3 - Potentialités en eaux

L'apport moyen annuel du barrage Chafrou est estimé à 7 Mm^3 , soit une lame ruisselée de 30 mm. Les autres ressources qui peuvent s'intégrer dans l'exploitation de l'ouvrage sont les eaux du nord véhiculées par le canal MCB (l'idée du mélange des eaux est écartée actuellement).

Les ressources souterraines se caractérisent par la nappe de Chafrou. Selon l'annuaire de l'exploitation des nappes phréatiques (DG/RE - Ministère de l'Agriculture, 1995), les ressources renouvelables de cette nappe sont évaluées à $7,7 \text{ Mm}^3/\text{an}$.

Tableau 12. Situation de l'exploitation de la nappe de l'oued Chafrou (1995).

Nbre de puits	834
Puits équipés	
GE	181
GD	182
Dalou	260
Puits abandonnés	211
Exploitation annuelle (Mm^3/an)	3,0
Ressources (Mm^3/an)	7,7

Ce tableau montre que le niveau de l'exploitation de cette nappe est encore faible, soit près de 39 % des ressources renouvelables. De même, on note aussi le nombre réduit de puits dont une part importante (25 %) de puits abandonnés.

D'un autre côté, de part et d'autre de l'oued, et compte tenu de la lithologie fine des alluvions, les puits de surface présentent des rendements généralement faibles, soit un débit spécifique inférieur à $0,2 \text{ l/s/m}$. Dans les secteurs amonts, la productivité des puits est relativement bonne et le débit spécifique dépasse $0,5 \text{ l/s/m}$.

En ce qui concerne la qualité des eaux de ruissellement des eaux provenant de l'oued Chafrou, des prélèvements d'échantillons d'eau ont été effectués respectivement en rive gauche de l'oued Melah, dans des puits situés sur le lit de l'oued Chafrou et à El Mournaguia.

Tableau 13. Tableau récapitulatif des mesures de salinité effectuées

Date	Point de prélèvement	Résidu sec en g/l
05/03/98	Puits à l'amont du site	7,1
05/03/98	Oued Chafrou au niveau du site	5,3
16/03/98	Oued Melah	6,6
02/06/98	Oued Chafrou entre le site et GP 7	8,7
02/06/98	Puits à l'amont du site	6,4
02/06/98	Puits à l'amont du site	5,6

Au niveau du pont sur la GP7, la salinité moyenne est de 5,5 g/l. Toutefois, l'expérience de la mise en eau du barrage de Bir M'Cherga, placé dans une situation climatique assez similaire et où l'essentiel du remplissage se réalise également à l'occasion de fortes crues, nous fait adopter une salinité moyenne des eaux de la retenue de 3,0 à 3,5 g/l.

II.2 - DEVELOPPEMENT AGRICOLE FUTUR

II.2.1 - Principe du choix des cultures à irriguer

La mise en valeur future du périmètre a été fondée sur les considérations suivantes :

- les caractéristiques des exploitations de la zone du projet ;
- La situation actuelle du secteur irrigué dans la région ;
- les préférences et les orientations des exploitants de la zone concernée ;
- les aptitudes et potentialités naturelles.

Le schéma d'exploitation en irrigué tiendra aussi compte de :

- la qualité de l'eau d'irrigation ;
- la rentabilité des cultures proposées.

Il y a lieu cependant, de rappeler que la réussite du projet reste conditionnée par le degré d'adhésion des agriculteurs. Dans ce cadre trois éléments sont à considérer :

- l'intérêt qu'accorde les agriculteurs aux cultures proposées ;
- la rentabilité des cultures ;
- la discipline des agriculteurs.

Aussi le principe retenu a été de ne pas modifier fondamentalement les grandes options du schéma actuel de mise en valeur de la zone, mais de chercher à l'intensifier et à l'améliorer.

II.2.2 - Cultures retenues

Le système de production pluvial actuel étant basé sur une polyculture Céréales-Fourrages-Elevages extensifs, il est proposé pour la mise en valeur intensive des sols du futur périmètre irrigué, compte tenu des conditions édapho-climatiques du périmètre, l'introduction limitée de vergers arboricoles, et une intensification de l'assolement céréalier pluvial par l'installation d'assolements fourragers. Par ailleurs, la

réussite de l'ensemble du programme de mise en valeur en irrigué dans ce périmètre reste largement tributaire de la maîtrise des techniques d'irrigation.

Pour l'arboriculture fruitière, le choix doit s'orienter vers les espèces précoces tolérantes aux sels (grenadier), ainsi que les espèces rustiques tolérantes au calcaire (olivier). Pour les cultures fourragères, la luzerne s'adapte bien aux conditions du périmètre, et les associations graminées / légumineuses sont à conseiller. Pour les cultures maraîchères, ce sont des espèces d'hiver résistantes au calcaire (telles que le navet et l'artichaut) qui seront introduites.

Concernant la rentabilité économique des cultures proposées, il faut prévoir l'intégration de l'élevage aux exploitations agricoles, et ce par une intensification des cultures fourragères qui devraient être pratiquées pour subvenir aux besoins des troupeaux d'exploitation. Ainsi, compte tenu de tous ces facteurs nous proposons de retenir les spéculations suivantes :

- L'olivier et le grenadier comme cultures arboricoles ;
- Les cultures fourragères : Luzerne, Sorgho, orge en vert et Avoine ;
- Les grandes cultures : Orge;
- Les cultures maraîchères : Navet et artichaut.

II.2.3 - Répartition entre les cultures retenues

En tenant compte des vocations des sols et de ces diverses contraintes, les affectations suivantes sont proposées :

- sur une partie du périmètre (40%), il sera pratiqué des plantations arboricoles avec installation de la luzerne en intercalaire pour permettre une bonne intensification ;
- sur une deuxième partie (40%), il sera pratiqué des cultures fourragères et céréales d'hiver non intercalaires (Orge, Avoine foin et orge en vert) suivis de fourrages d'été (Sorgho) ;
- la partie restante (20%) sera réservée au maraîchage d'hiver (Navet et Artichaut).

II.2.4 - Assolements recommandés

En excluant la Luzerne et l'Artichaut, l'assolement préconisé s'établira comme indiqué dans le tableau suivant :

Tableau 14. : Assolement préconisé

Sole	Saison	Hiver	Eté
1 ^{ère}		Orge (10 %) Orge en vert (20 %)	Sorgho (20 %)
2 ^{ème}		Avoine foin (10 %) Maraîchage (20 %)	

Le taux d'intensification cultural (excluant la partie plantée) est de 133 %, tandis que le rapport de la surface des cultures par rapport à la SAU atteint 160 %. Ainsi, la répartition globale de l'occupation du sol au niveau du périmètre s'établira comme indiqué dans le tableau ci-dessous.

Tableau 15. : Occupation future du sol au niveau du périmètre

Cultures	% de la superficie
<i>Arboriculture :</i>	
Olivier	20 %
Grenadier	20 %
<i>Cultures d'hiver intercalaires :</i>	
Luzerne	40 %
<i>Cultures d'hiver non intercalaires :</i>	
Orge	10 %
<i>Fourrages d'hiver</i>	
Avoine foin	10 %
Orge en vert	20 %
<i>Maraîchage d'hiver :</i>	
Navet	10 %
Artichaut	10 %
<i>Fourrages d'été :</i>	
Sorgho	20 %

II.3 - AMENAGEMENT HYDRAULIQUE

II.3.1 - Description

L'aménagement hydraulique consiste à concevoir :

- Une station de pompage au pied du barrage qui se connectera à la conduite $\Phi 300$ prévue par le projet du barrage (conduite de vidange $\Phi 800$ avec une prise $\Phi 300$)
- Un réseau de conduites pour la distribution de l'eau ;
- Un réservoir de compensation au niveau du réseau.

II.3.2 - Paramètres d'irrigation

a) Méthode d'irrigation et coefficient d'efficience

Le choix de la méthode d'irrigation devrait répondre à plusieurs critères :

- la nature des cultures ;
- la technicité des agriculteurs ;
- l'attitude des exploitants ;
- le coût de l'installation ;
- la topographie du terrain ;
- l'importance du parcellaire ;
- la qualité des eaux d'irrigation.

Les conditions citées ci dessus sont favorables à l'irrigation gravitaire (notamment une topographie de faible pente, parcellaire moyen et une salinité élevée).

b) Main d'eau

La main d'eau est le débit effectivement livré à l'agriculteur. Ce débit, tout en permettant l'irrigation gravitaire, devrait être facilement maîtrisable par l'exploitant sans perte de temps ni perte d'eau excessives.

Il est commode de manipuler des mains d'eau de 5 à 10 l/s dans le nord de la Tunisie. Pour le périmètre de Chafrou, et compte tenu des conditions du milieu, on opte pour une main d'eau de 9 l/s.

c) Besoins en eau

Les besoins en eau bruts de l'hectare assolé sont présentés en annexe (calcul des besoins en eau). Ces besoins en eau bruts sont obtenus par la formule suivante :

$$B_b = B_n / e$$

où:

B_n : besoins nets d'une culture par hectare assolé

e: efficacité total du système d'irrigation

$e = e_1 \times e_2$

e_1 : efficacité du système d'irrigation égale à 70% (cas de l'irrigation gravitaire améliorée).

e_2 : efficacité du réseau d'irrigation égale à 95%.

A ces besoins en eau, il faut ajouter une quantité d'environ 130 mm, correspondant à la dose de lessivage nécessaire pour maintenir une salinité de 7 dS/m.

d) Débits fictifs continu

Le débit fictif continu, calculé pour le mois de pointe (Juillet) est de 0.7 l/s/ha. Ceci correspond à un besoin mensuel de 1900 m³/ha.

e) Durée d'irrigation et de pompage

La durée d'irrigation, pendant le mois de pointe, est prise égale à 18 heures par jour.

La durée journalière maximale de pompage est fixée à 20 heures. Ceci s'explique par le tarif élevé de l'électricité pendant les quatre heures de pointe de la journée.

Le pompage et l'irrigation seront pratiqués 31 jours par mois en période de pointe.

f) Débit d'équipement

Sur la base des hypothèses cités ci-dessus, le débit d'équipement sera égal à 0,9 l/s/ha.

g) Mode de distribution

L'irrigation sera à la demande entre lots et au tour d'eau à l'intérieur des lots.

Pour une main d'eau de 9 l/s, une borne desservira 10 ha. Evidemment lorsqu'on trouve plus d'un exploitant à l'intérieur d'un îlot de 10 ha, l'irrigation devra être assurée au tour d'eau.

Ainsi, le nombre total de bornes est de 35 (350 ha sur 10 ha).

II.3.3 - Dimensionnement des aménagements

a) Réseau de distribution

Le dimensionnement des canalisations se base sur les aspects suivants :

- Loi de perte de charge ;

- Vitesses limites admissibles ;
- Critères économiques.

➤ Loi de perte de charge

Les natures de conduites retenues sont le béton pour les diamètres supérieurs ou égaux à 300 mm et le polyéthylène haute densité (PEhd) pour les diamètres inférieurs à 300 mm.

Les coefficients de rugosité pris en compte sont de 0,5 mm pour les conduites en béton et de 0,025 mm pour les conduites en PEhd.

Les formules de pertes de charges adoptées sont les suivantes (en mm/km) :

- conduites en béton : $J = 1,4 Q^{1,96} \Phi^{-5,19}$
- conduites en PEHD : $J = 0,8 Q^{1,75} \Phi^{-4,75}$

Avec Q en l/s et Φ en mm. Sur ces pertes calculées on applique un coefficient de majoration de 10% pour pertes singulières.

➤ Vitesses limites admissibles

Les vitesses limites admissibles dans les conduites de distribution ont été fixées comme suit :

- conduites en béton : mini = 0,50 m/s ; maxi = 1,60 m/s ;
- conduites en PEhd : mini = 0,50 m/s ; maxi = 1,80 m/s, sauf cas exceptionnels.

Quant aux prix unitaires des conduites, ils ont été adoptés sur la base de prix usuels du Marché et comprennent la fourniture, transport et pose, y compris les pièces spéciales en ligne.

Le détail de calcul des prix unitaires de conduites est présenté en annexe 3 (calculs hydrauliques).

➤ Critères économiques

➤ **nomenclature et caractéristiques des nœuds et tronçons:**

Il s'agit de la numérotation des nœuds du réseau de l'aval vers l'amont, du report de la cote du terrain naturel de chaque nœud, de la mesure de la longueur du tronçon et de la précision des caractéristiques des bornes :

- débit par borne : avec débit de 9 l/s
- pression amont minimale requise : 10 m, dans la majorité des cas ⁴

➤ **Paramètres de base du calcul des débits de tronçons:**

Il s'agit des Paramètres de calculs, par la méthode classique de Clément, des débits "les plus probables" à véhiculer par chaque tronçon. En effet, il n'est pas rationnel d'opter pour le simple cumul des débits de bornes (pour un assez grand nombre de bornes), compte tenu du fait que la probabilité d'ouverture simultanée de toutes les bornes n'est pas de 100%. Une telle option, calculée en plus pour le mois de pointe, surdimensionnerait inutilement le réseau.

⁴ Afin de ne pas surdimensionner le réseau, la pression mini imposée pour certaines bornes particulièrement défavorables a été limitée à une valeur inférieure à la pression nominale de base.

Ces paramètres concernent :

- le seuil au dessous duquel on calcule les débits par simple sommation des débits des bornes : on opte pour 6 bornes pour ce seuil.
- Réseau dominé par un réservoir de régulation : il n'y a pas de restriction. La probabilité est donc $18/24 = 75\%$
- la qualité de fonctionnement requise pour le réseau : représentée par la probabilité de non dépassement des débits calculés. On opte pour une probabilité de 95%.

b) Réservoir de stockage

Le réservoir est conçu pour :

- Garantir une charge constante et suffisante (1bar au minimum au niveau de la borne la plus défavorisée) ;
- Assurer le stockage de la quantité d'eau demandée par le réseau d'irrigation pendant l'arrêt de pompage (heures de pointe de la consommation d'électricité) ;
- Permettre la régulation du fonctionnement de la station de pompage.

Pour répondre à ces critères, les caractéristiques du réservoir seront comme suit :

- Emplacement à la cote 70 m NGT ;
- Capacité : 2 500 m³.

c) Station de pompage

La station de pompage comprendra:

- Un ouvrage de prise : il comprendra, en amont, une grille à barreaux pour la rétention des éléments grossiers et une vanne murale pour l'isolement de la station pendant les opérations d'entretien. En aval, il sera prévu un filtre à tambour rotatif pour une meilleure filtration de l'eau avant son injection dans le réseau.
- Une bache d'aspiration : elle reçoit les eaux véhiculées par l'ouvrage de prise. Elle assurera la régulation du débit provenant du canal et celui retoulé par les groupes de pompage. Etant communicant avec l'aspiration des groupes de pompage, le niveau d'eau dans la bache permettra moyennant des détecteurs de niveau (sondes ou poires), l'enclenchement et le déclenchement de la station.
- Un local de pompes : l'eau d'irrigation sera refoulée par trois pompes en parallèle avec des HMT respectifs de 35 m. Une quatrième sera également prévue pour le remplacement éventuel des (ou de) groupe(s) principaux (pompe de secours). L'ensemble, sera abrité dans un local couvert qui loge, en plus, le dispositif de manutention (pont roulant) et la robinetterie de la station. Les groupes électropompes seront de type à axe horizontal, à accouplement élastique et d'une vitesse de rotation de 1.450 tours/mn. Les groupes seront raccordés à un collecteur en acier DN 500 mm.
- Un local électrique : il abritera les armoires de commande et de protection des groupes de pompage. Les armoires comprendront essentiellement des dispositifs de démarrage étoile-triangle et les relais de niveau pour éviter d'une part la marche à sec des groupes et d'autre part la vidange ou le débordement de l'eau du réservoir (une ligne pilote sera mise en place entre la station et le réservoir).
Le local électrique comprendra un compartiment supplémentaire pour loger la poste de transformation (cabine pour transformateur).
- Une clôture : l'ensemble de la station sera entourée d'une clôture en dur (briques ou agglomérés).

Les caractéristiques de la station de pompage sont présentées comme suit :

Tableau 16. Caractéristiques de la station de pompage

Groupe principal			Groupe de secours			Puissance installée (Kw)
Q (l/s)	HMT (m)	Nombre	Q (l/s)	HMT (m)	Nombre	
90	35	3	90	35	1	200

d) Aménagements annexes

➤ Drainage

Le réseau de drainage au niveau du périmètre se base sur l'exutoire naturel qui est l'oued Chafrou. Par conséquent, des fossés de drainage permettront d'écouler l'excédent d'eau vers l'exutoire naturel.

➤ Pistes

Des axes de pistes seront ouverts le long des conduites principales de refoulement et de distribution de l'eau d'irrigation. Les pistes existantes seront, par endroits, réhabilitées et remises en état.

Ces pistes permettront :

- d'améliorer les conditions d'accès et d'écoulement des productions;
- de faciliter les futures opérations d'entretien et de maintenance du réseau d'irrigation.

➤ Brise-vent

Des brise-vent en double rangée (Eucalyptus) seront plantés autour du périmètre.

Pour protéger les cultures contre les effets des vents, les unités d'irrigation seront entourées par de simples rangées de brise-vent (Cypres).

➤ Nivellement

Les travaux de nivellement sont nécessaires pour assurer l'irrigation gravitaire. Ces travaux vont intéresser une superficie réduite du périmètre puisque la plus grande partie possède une pente acceptable pour assurer ce type d'irrigation.

➤ Travaux du sol

Il s'agit essentiellement du sous-solage. Ce dernier sera pratiqué sur les sols calcimorphes salés en profondeur. Ces travaux permettront l'homogénéisation de la texture et par conséquent l'amélioration des caractéristiques physiques et hydriques des sols (infiltration et drainage interne).

II.3.4 - Coût des aménagements

a) Coût d'investissement et frais d'entretien

Le coût d'investissement de l'aménagement du périmètre irrigué et les frais d'entretien sont présentés dans le tableau n°9.

Au niveau de ce périmètre irrigué, une partie des sols exploitée en sec sera concernée par l'irrigation d'appoint de 220 mm/ha/an. En effet, le périmètre s'étend sur une superficie globale d'environ 700 ha, avec une partie irriguée de 350 ha et une partie concernée par l'irrigation d'appoint de 300 ha. L'irrigation d'appoint s'effectuera à partir de l'infrastructure hydraulique mise pour desservir le périmètre irrigué. Le seul investissement supplémentaire concernera l'irrigation à la parcelle de l'irrigation de complément, soit un investissement de 700 DT/ha.

A ces coûts s'ajoutent les coûts d'énergie et de gestion.

Tableau 17. Coût d'investissement et Frais d'entretien du périmètre

Désignation	Unité	Quantité	P.U (DT)	P.T (DT)	Frais d'entretien		Durée de vie
					%	(DT)	
Station de pompage							
Génie civil	U	1	100 000	100 000	0,50	500	30
Equipement	U	1	185 000	185 000	4,00	7400	10
Sous-total 1				285 000		7900	
Réservoir							
Génie civil	m3	2 500	60	150 000	0,50	750	30
Equipement	U	1	20 000	20 000	1,00	200	10
Sous-total 2				170 000		950	
Réseau hydraulique							
Réseau de distribution	U	1	813 680	813 680	1,00	8 136	30
Bornes (deux prises)	U	17	2 000	34 000	1,00	340	30
Bornes (une prise)	U	1	1 500	1 500	1,00	15	30
Equipement à la parcelle	Ha	350	1 000	350 000	1,00	3 500	10
Sous-total 3				1 199 180		11 992	
Autres aménagements							
Drainage	Km	14	5 000	70 000	1,00	700	
Ouverture des pistes	Km	5	30 000	150 000	1,00	1500	30
Brise-vent	Ha	350	50	17 500	1,00	175	30
Nivellement	FF	-	-	30 000	1,00	300	30
Sous-solage	Ha	100	200	20 000	1,00	200	30
Sous-total 4				287 500		2 875	
Total				1 941 680		23 717	
Divers et imprévus (15%)				291 252		3 558	
Total arrondi				2 230 000		27 300	

Ainsi, le coût de l'aménagement par hectare est estimé à 6 400 DT/ha net.

Pour l'irrigation de complément, un investissement de 700 DT/ha (soit au total 210 000 DT pour les 300 ha) est nécessaire pour l'aménagement à la parcelle.

b) Frais d'énergie

A ces frais, il faut ajouter les frais d'énergie qui sont calculés sur la base des données suivantes :

- volume moyen annuel (m^3/an)
- hauteur manométrique totale (H) en m
- rendement global de la station = 60 %
- prix moyen du Kwh = 50 millimes

Le tableau suivant indique la méthode de calcul des frais d'énergie.

Tableau 18. Calcul des frais d'énergie

Désignation	Périmètre de Chafrou
V (m^3/an)	3 650 000
H (m)	35
F_{net} (D/an) : $(V \times H / 360 \times 60\%) \times 0.05$	29 570
Taxes municipales et redevances (3%)	775
F (D/an) =	30 345

c) Frais de gestion

Enfin, il faut ajouter les frais de la gestion quotidienne du périmètre, qui nécessite le recrutement:

- d'un gardien ;
- d'un pompiste.

Sur la base d'un salaire mensuel de 200 DT/personne, les frais de gestion s'élèvent à 4.800 DT.



LEGENDE :

-  Conduite
-  370 m Longueur de la conduite
-  Limite du périmètre potentiel
-  Station de pompage
-  Réservoir
-  B1 Borne d'irrigation

REPUBLIQUE TUNISIENNE
 Ministère de l'Agriculture, de l'Environnement et des Ressources Hydrauliques
 DG/BGTH

**Etude de faisabilité économique
 et d'impact environnemental du barrage CHAFROU
 (Gouvernorat de Manouba)**

Phase II-1 : Etude de régularisation des eaux du barrage

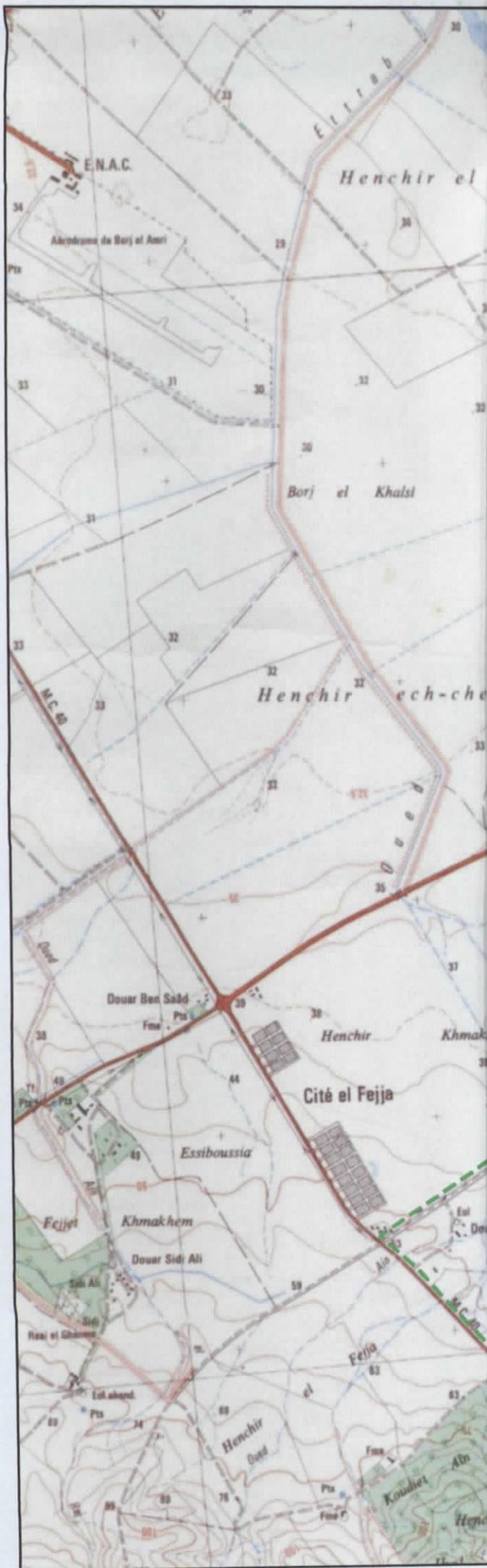
N	22/01/03	Edition définitive	E.Z. B.M.Z.	R.F.	R.F.
A	02/09/02	Première édition	M.Z.	R.H.L.	R.H.L.
Indice	Date	Objet de la modification	Établi par :	Véifié par :	Approuvé par :



SCET TUNISIE
 2, Rue Scharib Ibn Abboud
 Cité Jardins, BP 16
 1002 Tunis Belvédère
 Tél : (216) (71) 800 033
 E-Mail : cset@post.tunisie.com.tn

**Localisation du périmètre
 et tracé des conduites**

Échelle: 1/25 000
 Date: Jan. 2003
 BM: 01-57
 N° 02



LEGENDE :

- Conduite
- Ø200 Diamètre de la conduite
- - - Limite du périmètre potentiel
- Station de pompage
- Réservoir
- B1 Borne d'irrigation

REPUBLIQUE TUNISIENNE
Ministère de l'Agriculture, de l'Environnement et des Ressources Hydrauliques
DG/BGTH

**Etude de faisabilité économique
et d'impact environnemental du barrage CHAFROU
(Gouvernorat de Manouba)**

Phase II-1 : Etude de régularisation des eaux du barrage

B	22/01/03	Edition définitive	B.Z. & M.Z.	B.F.	B.F.
A	02/09/02	Première édition	M.Z.	B.H.L.	B.H.L.
Revisé	Date	Objet de la modification	Établi par :	Vérifié par :	Approuvé par :

SCET TUNISIE
2, Rue Sahab Ibn Abbas
Cité Jardins, BP 16
1002 Tunis Belvédère
Tél : (216) (71) 800 033
E-Mail : chafrou@scet-tunisie.com.tn

**Dimensionnement
du périmètre irrigué**

Echelle	1/25 000
Date	Jan. 2003
Révisé	01-57
N°	03

**ANNEXE 1 : RESULTATS DE LA SIMULATION DE
FONCTIONNEMENT DE LA RETENUE**

Tableau récapitulatif de l'étude de régularisation du Barrage Chafrou (séquence moyenne - avec consignes de gestion)		
d	350 Superficie à irriguer en ha	22 Nbre de mois ou le besoin n'est pas satisfait
cp	300 superficie (irrigation de complément)	24 Nbre d'années sur 30 ou le besoin est satisfait
		80% Taux de garantie de l'irrigation du périmètre
		4 117 668 Volume exploitable
i	0,01 Taux d'infiltration	123 Nbre de lâchures en mois
		18 Nbre de lâchures en années
		79 534 883 Volume total de lâchures (peut bénéficier à la nappe)
A	7 000 000 Apport annuel en Mm ³	2 108 005 Evaporation moyenne annuelle
m	5 000 000 Capacité en m ³	235 555 Infiltration moyenne annuelle
S	217,00 Superficie du BV en Km ²	7 181 761 Apport moyen annuel
V	125 000 Envasement en m ³ /an	2 565 641 Lâchure moyenne annuelle
k	1,00 Réduction de l'envasement	

Tableau récapitulatif de l'étude de régularisation du Barrage Chafrou (séquence moyenne - sans consignes de gestion)		
d	350 Superficie à irriguer en ha	33 Nbre de mois ou le besoin n'est pas satisfait
cp	0 superficie (irrigation de complément)	20 Nbre d'années sur 30 ou le besoin est satisfait
		67% Taux de garantie de l'irrigation du périmètre
		3 457 668 Volume exploitable
i	0,01 Taux d'infiltration	72 Nbre de lâchures en mois
		10 Nbre de lâchures en années
		47 601 259 Volume total de lâchures (peut bénéficier à la nappe)
A	7 000 000 Apport annuel en Mm ³	2 758 769 Evaporation moyenne annuelle
m	7 000 000 Capacité en m ³	310 710 Infiltration moyenne annuelle
S	217,00 Superficie du BV en Km ²	7 181 761 Apport moyen annuel
V	125 000 Envasement en m ³ /an	1 535 524 Lâchure moyenne annuelle
k	1,00 Réduction de l'envasement	

Tableau récapitulatif de l'étude de régularisation du Barrage Chafrou) (séquence moyenne - avec consignes de gestion)		
d	350 Superficie à irriguer en ha	9 Nbre de mois ou le besoin n'est pas satisfait
cp	0 superficie (irrigation de complément)	25 Nbre d'années sur 30 ou le besoin est satisfait
		83% Taux de garantie de l'irrigation du périmètre
		3 457 668 Volume exploitable
i	0,01 Taux d'infiltration	140 Nbre de lâchures en mois
		18 Nbre de lâchures en années
		89 472 761 Volume total de lâchures (peut bénéficier à la nappe)
A	7 000 000 Apport annuel en Mm ³	2 267 587 Evaporation moyenne annuelle
m	5 000 000 Capacité en m ³	249 614 Infiltration moyenne annuelle
S	217,00 Superficie du BV en Km ²	7 181 761 Apport moyen annuel
V	125 000 Envaselement en m ³ /an	2 886 218 Lâchure moyenne annuelle
k	1,00 Réduction de l'envaselement	

Tableau récapitulatif de l'étude de régularisation du Barrage Chafrou) (séquence moyenne - taux de satisfaction de 90%)

d	55	Superficie à irriguer en ha	0	Nbre de mois ou le besoin n'est pas satisfait
			30	Nbre d'années sur 30 ou le besoin est satisfait
			100%	Taux de garantie de l'irrigation du périmètre
			543 348	Volume exploitable
i	0,01	Taux d'infiltration	95	Nbre de lâchures en mois
			15	Nbre de lâchures en années
			72 304 435	Volume total de lâchures (peut bénéficier à la nappe)
A	7 000 000	Apport annuel en Mm ³	3 871 087	Evaporation moyenne annuelle
m	7 000 000	Capacité en m ³	412 582	Infiltration moyenne annuelle
S	217,00	Superficie du BV en Km ²	7 181 761	Apport moyen annuel
V	125 000	Envasement en m ³ /an	2 332 401	Lâchure moyenne annuelle
k	1,00	Réduction de l'envasement		

Tableau récapitulatif de l'étude de régularisation du Barrage Chafrou) (séquence moyenne - taux de satisfaction de 90%)

d	125	Superficie à irriguer en ha	9	Nbre de mois ou le besoin n'est pas satisfait
			27	Nbre d'années sur 30 ou le besoin est satisfait
			90%	Taux de garantie de l'irrigation du périmètre
			1 234 881	Volume exploitable
i	0,01	Taux d'infiltration	87	Nbre de lâchures en mois
			14	Nbre de lâchures en années
			64 154 882	Volume total de lâchures (peut bénéficier à la nappe)
A	7 000 000	Apport annuel en Mm ³	3 541 952	Evaporation moyenne annuelle
m	7 000 000	Capacité en m ³	380 925	Infiltration moyenne annuelle
S	217,00	Superficie du BV en Km ²	7 181 761	Apport moyen annuel
V	125 000	Envasement en m ³ /an	2 069 512	Lâchure moyenne annuelle
k	1,00	Réduction de l'envasement		

Tableau récapitulatif de l'étude de régularisation du Barrage Chafrou) (séquence moyenne - taux de satisfaction de 90%)

d	225	Superficie à irriguer en ha	26	Nbre de mois ou le besoin n'est pas satisfait
			24	Nbre d'années sur 30 ou le besoin est satisfait
			80%	Taux de garantie de l'irrigation du périmètre
			2 222 787	Volume exploitable
i	0,01	Taux d'infiltration	75	Nbre de lâchures en mois
			10	Nbre de lâchures en années
			55 017 714	Volume total de lâchures (peut bénéficier à la nappe)
A	7 000 000	Apport annuel en Mm ³	3 086 269	Evaporation moyenne annuelle
m	7 000 000	Capacité en m ³	337 883	Infiltration moyenne annuelle
S	217,00	Superficie du BV en Km ²	7 181 761	Apport moyen annuel
V	125 000	Envasement en m ³ /an	1 774 765	Lâchure moyenne annuelle
k	1,00	Réduction de l'envasement		

Tableau récapitulatif de l'étude de régularisation du Barrage Chafrou (séquence moyenne - taux de satisfaction de 90%)

d	485	Superficie à irriguer en ha	65	Nbre de mois ou le besoin n'est pas satisfait
			15	Nbre d'années sur 30 ou le besoin est satisfait
			50%	Taux de garantie de l'irrigation du périmètre
			4 791 340	Volume exploitable
i	0,01	Taux d'infiltration	45	Nbre de lâchures en mois
			8	Nbre de lâchures en années
			36 005 827	Volume total de lâchures (peut bénéficier à la nappe)
A	7 000 000	Apport annuel en Mm ³	2 111 476	Evaporation moyenne annuelle
m	7 000 000	Capacité en m ³	244 713	Infiltration moyenne annuelle
S	217,00	Superficie du BV en Km ²	7 181 761	Apport moyen annuel
V	125 000	Envasement en m ³ /an	1 161 478	Lâchure moyenne annuelle
k	1,00	Réduction de l'envasement		

Tableau récapitulatif de l'étude de régularisation du Barrage Chafrou (séquence moyenne - taux de satisfaction de 90%)		
d	1 225 Superficie à irriguer en ha	154 Nbre de mois ou le besoin n'est pas satisfait
		0 Nbre d'années sur 30 ou le besoin est satisfait
		0% Taux de garantie de l'irrigation du périmètre
		12 101 839 Volume exploitable
i	0,01 Taux d'infiltration	20 Nbre de lâchures en mois
		5 Nbre de lâchures en années
		19 299 521 Volume total de lâchures (peut bénéficier à la nappe)
A	7 000 000 Apport annuel en Mm ³	848 692 Evaporation moyenne annuelle
m	7 000 000 Capacité en m ³	117 406 Infiltration moyenne annuelle
S	217,00 Superficie du BV en Km ²	7 181 761 Apport moyen annuel
V	125 000 Envaselement en m ³ /an	622 565 Lâchure moyenne annuelle
k	1,00 Réduction de l'envaselement	

Tableau récapitulatif de l'étude de régularisation du Barrage Chafrou (séquence moyenne - taux de satisfaction de 60%)

d	90	Superficie à irriguer en ha	0	Nbre de mois ou le besoin n'est pas satisfait
			30	Nbre d'années sur 30 ou le besoin est satisfait
			100%	Taux de garantie de l'irrigation du périmètre
			556 400	Volume exploitable
			95	Nbre de lâchures en mois
i	0,01	Taux d'infiltration	15	Nbre de lâchures en années
			72 215 432	Volume total de lâchures (peut bénéficier à la nappe)
A	7 000 000	Apport annuel en Mm ³	3 862 901	Evaporation moyenne annuelle
m	7 000 000	Capacité en m ³	411 467	Infiltration moyenne annuelle
S	217,00	Superficie du BV en Km ²	7 181 761	Apport moyen annuel
V	125 000	Envasement en m ³ /an	2 329 530	Lâchure moyenne annuelle
k	1,00	Réduction de l'envasement		

Tableau récapitulatif de l'étude de régularisation du Barrage Chafrou (séquence moyenne - taux de satisfaction de 60%)		
d	200 Superficie à irriguer en ha	10 Nbre de mois ou le besoin n'est pas satisfait
		27 Nbre d'années sur 30 ou le besoin est satisfait
		90% Taux de garantie de l'irrigation du périmètre
		1 236 444 Volume exploitable
i	0,01 Taux d'infiltration	85 Nbre de lâchures en mois
		13 Nbre de lâchures en années
		64 288 242 Volume total de lâchures (peut bénéficier à la nappe)
A	7 000 000 Apport annuel en Mm ³	3 536 873 Evaporation moyenne annuelle
m	7 000 000 Capacité en m ³	379 675 Infiltration moyenne annuelle
S	217,00 Superficie du BV en Km ²	7 181 761 Apport moyen annuel
V	125 000 Envasement en m ³ /an	2 073 814 Lâchure moyenne annuelle
k	1,00 Réduction de l'envasement	

Tableau récapitulatif de l'étude de régularisation du Barrage Chafrou) (séquence moyenne - taux de satisfaction de 60%)

d	365	Superficie à irriguer en ha	26	Nbre de mois ou le besoin n'est pas satisfait
			24	Nbre d'années sur 30 ou le besoin est satisfait
			80%	Taux de garantie de l'irrigation du périmètre
			2 256 510	Volume exploitable
i	0,01	Taux d'infiltration	73	Nbre de lâchures en mois
			10	Nbre de lâchures en années
			54 864 884	Volume total de lâchures (peut bénéficier à la nappe)
A	7 000 000	Apport annuel en Mm ³	3 064 027	Evaporation moyenne annuelle
m	7 000 000	Capacité en m ³	334 346	Infiltration moyenne annuelle
S	217,00	Superficie du BV en Km ²	7 181 761	Apport moyen annuel
V	125 000	Envasement en m ³ /an	1 769 835	Lâchure moyenne annuelle
k	1,00	Réduction de l'envasement		

Tableau récapitulatif de l'étude de régularisation du Barrage Chafrou (séquence moyenne - taux de satisfaction de 60%)

d	785	Superficie à irriguer en ha	65	Nbre de mois ou le besoin n'est pas satisfait
			15	Nbre d'années sur 30 ou le besoin est satisfait
			50%	Taux de garantie de l'irrigation du périmètre
			4 853 041	Volume exploitable
i	0,01	Taux d'infiltration	39	Nbre de lâchures en mois
			6	Nbre de lâchures en années
			35 962 579	Volume total de lâchures (peut bénéficier à la nappe)
A	7 000 000	Apport annuel en Mm ³	2 069 704	Evaporation moyenne annuelle
m	7 000 000	Capacité en m ³	237 588	Infiltration moyenne annuelle
S	217,00	Superficie du BV en Km ²	7 181 761	Apport moyen annuel
V	125 000	Envasement en m ³ /an	1 160 083	Lâchure moyenne annuelle
k	1,00	Réduction de l'envasement		

Tableau récapitulatif de l'étude de régularisation du Barrage Chafrou (séquence moyenne - taux de satisfaction de 60%)

d	1 905	Superficie à irriguer en ha	150	Nbre de mois ou le besoin n'est pas satisfait
	0		0	Nbre d'années sur 30 ou le besoin est satisfait
	0%		0%	Taux de garantie de l'irrigation du périmètre
	11 777 125		11 777 125	Volume exploitable
i	0,01	Taux d'infiltration	21	Nbre de lâchures en mois
	5		5	Nbre de lâchures en années
	18 532 823		18 532 823	Volume total de lâchures (peut bénéficier à la nappe)
A	7 000 000	Apport annuel en Mm ³	847 811	Evaporation moyenne annuelle
m	7 000 000	Capacité en m ³	112 339	Infiltration moyenne annuelle
S	217,00	Superficie du BV en Km ²	7 181 761	Apport moyen annuel
V	125 000	Envaselement en m ³ /an	597 833	Lâchure moyenne annuelle
k	1,00	Réduction de l'envaselement		

ANNEXE II : DIMENSIONNEMENT DU PERIMETRE

Calcul de débits (périmètre sur barrage Chafrou) - alimentation par la station

Tronçon	Sup. totale à irriguer par borne (ha)	Superficie brute (ha)	Superficie à irriguer (ha)	superficie cumulée (ha)	nombre de bornes	Débit fictif (l/s) 0,66 * Si	Débit cumulé (l/s)	Probabilité P	Débit de pointe (Clément)	Débit retenu
B9	10	12	10	10	1	7	9	0,73	13	9
B8	10	12	10	20	1	13	18	0,73	22	18
B7	20	25	20	20	2	13	18	0,73	22	18
B6	20	25	20	40	2	26	36	0,73	40	36
B5	20	25	20	60	2	40	54	0,73	56	54
B4	20	25	20	100	2	66	90	0,73	87	87
B3	20	25	20	20	2	13	18	0,73	22	18
B2	20	25	20	40	2	26	36	0,73	40	36
B1	20	25	20	160	2	106	144	0,73	132	132
B17	20	25	20	20	2	13	18	0,73	22	18
B16	10	12	10	30	1	20	27	0,73	31	27
B15	20	25	20	20	2	13	18	0,73	22	18
B14	20	25	20	70	2	46	63	0,73	64	63
B18	20	25	20	20	2	13	18	0,73	22	18
B13	20	25	20	110	2	73	99	0,73	94	94
B19	20	25	20	20	2	13	18	0,73	22	18
B12	20	25	20	150	2	99	135	0,73	124	124
B11	20	25	20	20	2	13	18	0,73	22	18
B10	20	25	20	40	2	26	36	0,73	40	36
2				190		125	171	0,73	154	154
0				350		231	315	0,73	270	270
Total	350	436	350	350	35	-	-	-	-	-

Calcul de débits (périmètre sur barrage Chafrou) - alimentation par le réservoir

Tronçon Aval	Sup. totale à irriguer par borne (ha)	Superficie brute (ha)	Superficie à irriguer (ha)	superficie cumulée (ha)	nombre de bornes	Débit fictif (l/s) 0,66 * Si	Débit cumulé (l/s)	Probabilité P	Débit de pointe (Clément)	Débit retenu
B9	10	12	10	10	1	7	9	0,73	13	9
B8	10	12	10	20	1	13	18	0,73	22	18
B7	20	25	20	20	2	13	18	0,73	22	18
B6	20	25	20	40	2	26	36	0,73	40	36
B5	20	25	20	60	2	40	54	0,73	56	54
B4	20	25	20	100	2	66	90	0,73	87	87
B17	20	25	20	20	2	13	18	0,73	22	18
B16	10	12	10	30	2	20	36	0,55	35	35
B15	20	25	20	20	2	13	18	0,73	22	18
B14	20	25	20	70	2	46	72	0,64	66	66
B18	20	25	20	20	2	13	18	0,73	22	18
B13	20	25	20	110	2	73	108	0,67	97	97
B19	20	25	20	20	2	13	18	0,73	22	18
B12	20	25	20	150	2	99	144	0,69	127	127
B11	20	25	20	20	2	13	18	0,73	22	18
B10	20	25	20	40	2	26	36	0,73	40	36
2				190		125	180	0,70	156	156
B3	20	25	20	20	2	13	18	0,73	22	18
B2	20	25	20	40	2	26	36	0,73	40	36
B1	20	25	20	250	2	165	234	0,71	200	200
1				350		231	324	0,71	271	271
Total	350	436	350	350	35	-	-	-	-	-

Calcul du réseau principal de distribution (Périmètre sur le barrage de Chafrou) - alimentation par la station

côte en tête = 70 m NGT

N° tronçon	Tronçon Amont-Aval	débit (l/s)	longueur (m)	Φ (mm)	V (m/s)	perte de charge (m/Km)	perte de charge Totale (m)	cote piézo (m)	cote sol (NGT)	charge résiduelle (m)
1	S1-0	270	200	500	1,38	4,31	0,86	72,70	50	23
2	0-B1	132	360	500	0,67	1,06	0,38	72,32	50	22
3	B1-1	132	150	500	0,67	1,06	0,16	72,16	55	17
4	1-R	132	150	500	0,67	1,06	0,16	72,00	70	2
5	B1-B2	36	370	164	1,71	14,04	5,20	67,12	38	29
6	B2-B3	18	370	131	1,34	12,14	4,49	62,63	36	27
7	1-B4	87	410	270	1,52	6,13	2,51	69,64	40	30
8	B4-B5	54	370	205	1,64	9,89	3,66	65,98	38	28
9	B5-B6	36	370	164	1,71	14,04	5,20	60,79	36	25
10	B6-B7	18	400	131	1,34	12,14	4,86	55,93	38	18
11	B4-B8	18	580	164	0,85	4,18	2,42	67,22	55	12
12	B8-B9	9	500	131	0,67	3,61	1,80	65,42	55	10
13	0-2	154	1165	500	0,78	1,44	1,67	71,03	45	26
14	2-B10	36	400	164	1,71	14,04	5,62	65,41	40	25
15	B10-B11	18	450	131	1,34	12,14	5,46	59,95	37	23
16	2-B12	124	820	500	0,63	0,95	0,78	70,25	50	20
17	B12-B19	18	440	164	0,85	4,18	1,84	68,41	60	8
18	B12-B13	94	330	270	1,65	7,10	2,34	67,90	45	23
19	B13-B18	18	350	164	0,85	4,18	1,46	66,44	50	16
20	B13-B14	63	615	270	1,10	3,50	2,15	65,75	40	26
21	B14-B15	18	220	131	1,34	12,14	2,67	63,08	40	23
22	B14-B16	27	505	205	0,82	2,94	1,49	64,27	40	24
23	B16-B17	18	360	164	0,85	4,18	1,50	62,76	45	18

Calcul du réseau principal de distribution (Périmètre irrigué sur le barrage de Chafrou) - alimentation par le réservoir
côte en tête = 70 m NGT

N° tronçon	Tronçon Amont-Aval	débit (l/s)	longueur (m)	Φ (mm)	V (m/s)	perte de charge (m/Km)	perte de charge Totale (m)	cote piézo (m)	cote sol (NGT)	charge résiduelle (m)
1	R-1	271	150	500	1,38	4,36	0,65	69,35	55	14
2	1-B1	200	150	500	1,02	2,39	0,36	68,99	50	19
3	B1-B2	36	370	164	1,71	14,04	5,20	63,79	38	26
4	B2-B3	18	370	131	1,34	12,14	4,49	59,30	36	23
5	B1-0	156	360	500	0,79	1,47	0,53	68,46	50	18
6	0-2	156	1165	500	0,79	1,47	1,72	66,74	45	22
7	2-B10	36	400	164	1,71	14,04	5,62	61,12	40	21
8	B10-B11	18	450	131	1,34	12,14	5,46	55,66	37	19
9	2-B12	127	820	500	0,64	0,98	0,80	65,94	50	16
10	B12-B19	18	440	164	0,85	4,18	1,84	64,10	60	4
11	B12-B13	97	330	270	1,69	7,42	2,45	63,49	45	18
12	B13-B18	18	350	164	0,85	4,18	1,46	62,03	50	12
13	B13-B14	66	615	270	1,16	3,83	2,36	61,13	40	21
14	B14-B15	18	220	131	1,34	12,14	2,67	58,46	40	18
15	B14-B16	35	505	205	1,05	4,53	2,29	58,85	40	19
16	B16-B17	18	360	164	0,85	4,18	1,50	57,34	45	12
17	1-B4	87	410	270	1,52	6,13	2,51	66,83	40	27
18	B4-B5	54	370	205	1,64	9,89	3,66	63,17	38	25
19	B5-B6	36	370	164	1,71	14,04	5,20	57,97	36	22
20	B6-B7	18	400	131	1,34	12,14	4,86	53,12	38	15
21	B4-B8	18	580	164	0,85	4,18	2,42	54,92	55	0
22	B8-B9	9	580	131	0,67	3,61	2,09	64,74	55	10

Coût du réseau du périmètre sur barrage Chafrou

En DT

Φ (mm)	prix total par ml	longueur totale en m	nombre de tronçon	coût total
63	10	0	0	0
75	12	0	0	0
90	14	0	0	0
110	18	0	0	0
125	20	0	0	0
140	23	0	0	0
160	28	1 940	5	54 320
200	39	2 870	7	111 930
250	54	875	2	47 250
315	86	1 355	3	116 530
400	140	0	0	0
500	170	2 845	6	483 650
600	190	0	0	0
800	280	0	0	0
1 000	410	0	0	0
1 250	570	0	0	0
1 400	660	0	0	0
Total	-	9 885	23	813 680
coût du réseau de distribution				813 680
Coût des bornes				35 500
coût du réseau à la parcelle				350 000
Coût du réseau de drainage				70 000
coût du réservoir R2				170 000
coût de la station SP1				285 000
Total				1 729 180

type d'ouvrage	spécifications
réseau terminal	35 bornes
Réservoir R2	2 500 m ³ ; 70 m NGT
Station de pompage	200 Kw ; 270 l/s ; 35 m

ANNEXE III : CALACUL DES BESOINS EN EAU

2. Eléments du bilan ressources/besoins en eau en irrigation d'appoint hivernale

Périmètre : Chafrou

Désignation	Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	Total
A. Climatologie														
Pluie P (mm)		49,5	37,5	49,5	49,8	67,9	62,8	23,5	37,0	28,7	8,4	4,1	14,2	433
E T P moyenne (mm)		131,3	93,6	55,0	39,1	40,4	57,0	88,2	117,5	160,3	187,0	205,4	193,4	1 368
B. Cycles culturaux														
Céréales			----	----	----	----	----	----	----					
Fourrages d'hiver		----	----	----	----	----	----	----	----					
C. Coef. culturaux (K)														
	<i>% occupation</i>													
Orge-grain	50%			0,20	0,35	0,60	0,90	1,00	0,70					
Orge vert	30%		0,20	0,30	0,40	0,55	0,85	0,85	0,85					
VA foin	20%		0,20	0,30	0,40	0,60	0,90	0,90	0,50					
	<i>Total</i>													100%
D. Coeff d'occupation du sol														
Orge-grain				50%	50%	50%	50%	50%	50%					
Orge vert			30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%					
VA foin			20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%					
	<i>Total</i>		50%	100%	100%	100%	100%	100%	100%					
E. Besoins en eau théoriques (mm)														
Besoins de l'orge-grain				10	12	22	46	79	74					244
Besoins de l'orge vert			17	15	14	20	44	67	90					267
Besoins du foin de VA			17	15	14	22	46	71	53					238
F. Apports en eau (mm)														
Apports pour l'Orge-grain								61	44					105
Apports pour l'orge vert								49	60					109
Apports pour le foin de VA								53	23					76
G. Apport moyen à l'hectare (1)														
								80	67					147
H. Besoins tête réseau (2)														
								120	101					221

* avec une satisfaction des besoins max. $\alpha = 0,9$

(1) : $(\alpha * K * ETP) - (0,8 * P)$; si > 0

(2) : Efficiences considérées :
à la parcelle = 70% (irrigation par aspersion et goutte à goutte)
du réseau = 95% (réseau de conduites enterrées)
globale = 67% (produit des 2 termes ci-dessus)

surface maxi. irrigable : ha 6345
Débit fictif continu l/s/ha 0,4472
Débit d'équipement l/s/ha 0,5963
Main d'eau l/s 9
Nbre de borne 15
Débit total l/s 135

2. Eléments du bilan ressources/besoins en eau en maîtrise totale de l'eau

Périmètre : Chafrou

Désignation	Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	Total
A. Climatologie														
Pluie P (mm)		49,5	37,5	49,5	49,8	67,9	62,8	23,5	37,0	28,7	8,4	4,1	14,2	433
E T P moyenne (mm)		131,3	93,6	55,0	39,1	40,4	57,0	88,2	117,5	160,3	187,0	205,4	193,4	1 368
B. Cycles culturaux														
Arboriculture		---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
Céréales			---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
Fourrages d'été														
Fourrages d'hiver		---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
Luzerne		---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
C. Coef. culturaux (K)														
	<i>% occupation</i>													
Grenadiers	20%	0,45	0,20						0,20	0,45	0,65	0,75	0,75	
Oliviers	20%	0,30	0,20				0,20	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,40	
Orge-grain	10%			0,20	0,35	0,60	0,90	1,00	0,70					
Sorgho fourrager	20%								0,20	0,50	0,70	1,00	1,00	
Orge en vert	20%		0,20	0,30	0,40	0,55	0,85	0,85	0,85					
VA foin	10%		0,20	0,30	0,40	0,60	0,90	0,90	0,50					
Artichaut	10%	0,55	0,60	0,65	0,65	0,70	1,00	1,00	0,90			0,35	0,45	
Navet	10%		0,20	0,30	0,50	0,70	0,80	1,00	1,00					
Luzerne	40%	0,50	0,40	0,30	0,20	0,40	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	
	<i>Total</i>	160%												
D. Coeff d'occupation du sol														
Grenadiers		20%	20%						20%	20%	20%	20%	20%	20%
Oliviers		20%	20%				20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%
Orge-grain			10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%					
Sorgho fourrager									20%	20%	20%	20%	20%	
Orge vert			20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%					
VA foin			10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%					
Artichaut			10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%					
Navet		10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%			10%	10%	
Luzerne		40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	
	<i>#REF!</i>													
	<i>Total</i>	90%	140%	100%	100%	100%	120%	120%	160%	100%	100%	110%	110%	
E. Besoins en eau théoriques (mm)														
Besoins de le Grenadier		53	17						21	65	109	139	131	535
Besoins de l'Olivier		35	17				10	16	26	43	59	74	70	351
Besoins de l'Orge-grain				10	12	22	46	79	74					244
Besoin du Sorgho fourrager									21	72	118	185	174	570
Besoins de l'orge vert			17	15	14	20	44	67	90					267
Besoins du foin de VA			17	15	14	22	46	71	53					238
Besoins de l'Artichaut		65	51	32	23	25	51	79	95			65	78	565
Besoins du Navet			17	15	18	25	41	79	106					301
Besoins de la luzerne		59	34	15	7	15	31	48	63	87	101	111	104	674
F. Apports en eau (mm)														
Apports pour le Grenadier		14								42	103	135	119	413
Apports pour l'Olivier										20	52	71	58	201
Apports pour l'Orge-grain								61	44					105
Apports pour le Sorgho fourrager										49	111	182	163	505
Apports pour l'orge vert							49	60						109
Apports pour le foin de VA							53	23						76
Apports pour l'Artichaut		25	21				1	61	66			61	67	302
Apports pour le Navet								61	76					137
Apports pour la luzerne		19	4					29	34	64	94	108	93	444
G. Apport moyen à l'hectare (1)														
		13	4				0	93	83	48	91	127	112	571
H. Besoins tête réseau (2)														
		20	5				0	140	125	72	137	191	168	858

