



MICROFICHE N°

08311

République Tunisienne

MINISTRE DE L'AGRICULTURE

CENTRE NATIONAL DE

DOCUMENTATION AGRICOLE

TUNIS

الجمهورية التونسية
وزارة الزراعة

المركز القومي
للتوثيق الزراعي
تونس

F 1

GNDP 134

DIRECTION GENERALE DES RESSOURCES EN EAU

**RECHARGE DE LA NAPPE DE KAIROUAN
PAR LES LÂCHERS DU BARRAGE " EL HOUAREB "
SUR OUED MERGUELLIL**

Campagne du 19 Avril au 8 Mai 1993

RAPPORT DE SYNTHÈSE



Septembre 1993

Ministère de l'Agriculture
Direction Générale des Ressources en Eau

**RECHARGE DE LA NAPPE DE KAIROUAN
PAR LES LÂCHERS DU BARRAGE " EL HOUAREB "
SUR L'OUED MERGUELLIL**

Campagne du 19 Avril au 8 Mai 1993

RAPPORT DE SYNTHÈSE

Par :

**S. BOUZALANE
H. CHAIEB
F. MAALEL**

*Avec la collaboration technique des équipes
hydrologiques de Kairouan, Tunis et Kasserine*

Tunis, Septembre 1993

SOMMAIRE

- ALLOCUTION DE M. LE SECRETAIRE D'ETAT AUPRES DU MINISTRE DE L'AGRICULTURE CHARGE DES RESSOURCES HYDRAULIQUES	
- ALLOCUTION DE M. LE DIRECTEUR GENERAL DES RESSOURCES EN EAU	
- AVANT-PROPOS	Page
I. RECHARGE DE LA NAPPE DE KAIROUAN A PARTIR DU BARRAGE EL HOUAREB, POINT DE LA SITUATION	3
II. CAMPAGNE DE RECHARGE DU 19 AVRIL AU 8 MAI 1993	3
2.1 Choix des sites d'observation	3
2.2 Morphologie du lit de l'Oued Merguellil	4
2.3 Le Scénario des lâchers	5
2.4 Les mesures effectuées	6
III. INTERPRETATION DES OBSERVATIONS ACCUMULEES	7
3.1 Correspondances débits lâchés débits mesurés	7
3.2 Limite de propagation des débits	7
3.3 Délimitation des biefs	8
3.4 Définition des entrées	8
3.5 Amortissement des débits journaliers	8
3.6 Ecoulements aux sites de mesure	9
3.7 Bilans hydrologiques	10
3.8 Transports en solution et en suspension	14
IV. REACTION DE LA NAPPE	16
V. ESTIMATION DES APPORTS	16
5.1 Méthode de fluctuations piézométriques	16
5.2 Calcul des apports à l'aide d'un modèle d'infiltration efficace	18
VI. PERSPECTIVES POUR UNE GESTION COMBINEE DES DEUX RESERVOIRS AVEC LA NAPPE DE KAIROUAN	19
6.1 Contexte hydrologique	19
6.2 Phénomène de persistance	20
VII. CONCLUSIONS	21
VIII. RECOMMANDATIONS	22
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	
ANNEXES : Tableaux récapitulatifs des mesures effectuées	

**ALLOCUTION DE MONSIEUR LE SECRETAIRE D'ETAT
AUPRES DU MINISTRE DE L'AGRICULTURE CHARGE DES RESSOURCES
HYDRAULIQUES**

RESUME

Monsieur le Secrétaire d'Etat a commencé par signaler d'abord l'opportunité de cette activité qui touche une des plus grandes régions agricoles de la Tunisie et a insisté sur l'urgence de développer la recherche sur l'aspect recharge de la nappe de Kairouan surtout que la plaine de Kairouan bénéficie actuellement de deux grands Barrages qui maîtrisent les eaux brutales des deux oueds Zéroud et Merguellil dont les crues ont longtemps constitué une menace pour la région.

Il a par ailleurs insisté sur la nécessité d'étendre l'activité de recherche sur les divers problèmes touchant les grandes régions naturelles ; ces problèmes sont de différentes natures allant de l'aménagement des bassins en travaux de CES au risque de pollution de surface ou souterraine ; il a passé en revue l'ensemble des régions où plusieurs questions de diverses natures sont encore posées et a cité en particuliers :

- Tataouine : plaine d'El Ferch
- Medenine : plaine de Zeus-Koutine
- Gafsa avec les Mines de Redeyef et Metlaoui
- Sbeitla : Nappe de Sbeitla
- Sisseb - El Alem recharge et exploitation
- El Kheirat recharge de la nappe d'Enfidha
- Ghardimaou suivi de la pollution
- Sidi Bouzid : recharge par les ouvrages de dérivation
- Rohia : problème de recharge de la nappe et de drainage de la plaine.

Pour certaines régions ; des investigations intensives restent à faire pour la compréhension des phénomènes, pour d'autres il a insisté sur l'urgence d'actualiser les études.

Tout ceci exige d'accorder une attention soutenue à la conduite des mesures et le développement des banques de données hydrologiques fiables et à jour.

De même, un effort doit être fourni pour une évaluation de l'impact réel de la variabilité climatique sur les ressources en eau et la nécessité d'en tenir compte dans les règles de gestion des ressources en eau.

Enfin, Monsieur le Secrétaire d'Etat a invité tous les techniciens à redoubler d'effort dans le domaine de la recherche afin de confirmer les bonnes performances de la Tunisie dans la gestion de ses Ressources en Eau.

ALLOCUTION DE MONSIEUR LE DIRECTEUR GÉNÉRAL DES RESSOURCES EN EAU

Monsieur le Secrétaire d'Etat, Mesdames, Messieurs

Permettez moi au nom de l'ensemble du personnel de la D3RE de vous remercier d'avoir bien voulu répondre à notre invitation pour prendre part à la journée consacrée à l'optimisation des recharges de la nappe de Kairouan.

Cette journée organisée conjointement par le C.R.D.A. de Kairouan et la Direction Générale des Ressources en Eau avec la collaboration des Directions Générales des Etudes et Travaux Hydrauliques et des Barrages s'inscrit dans la politique du Ministère de l'Agriculture visant la mobilisation de la totalité des ressources en eau du pays et la maîtrise efficace de leur gestion.

Elle concerne la gestion intégrée des eaux de surface et des eaux souterraines. Ainsi, le barrage d'El Haouareb réalisé depuis quelques années, est conçu comme un ouvrage de retention en même temps qu'il est appelé à soutenir la nappe de Kairouan en périodes d'années déficitaires. Cette manifestation a pour objectif d'optimiser la recharge de la nappe à partir des eaux du Barrage et de minimiser les pertes en aval. Cette opération permettra en outre aux techniciens de préciser les volumes et les débits utiles à lâcher et de mieux appréhender ainsi les conditions d'infiltration en aval du Barrage.

Cette approche technique visant à assurer une gestion intégrée des eaux de surface et des eaux souterraines est spécifique au gouvernorat de Kairouan qui par sa position géographique et l'importance de ses potentialités en eau, contribue d'une manière efficace au développement économique du pays et notamment dans le domaine agricole.

Avec l'effort déployé dans le secteur agricole au cours des dernières années, et compte tenu des aléas naturels qui caractérise les régimes hydrologiques et hydrogéologiques de la région (crues exceptionnelles et sécheresses) ainsi que la mobilisation des ressources en eau, une bonne gestion de ces ressources s'impose pour éviter tout déséquilibre.

L'optimisation de cette gestion se base sur la régulation des écoulements de surface d'une part, et sur la suralimentation des nappes d'autre part. Une telle démarche ne peut être suivie et appliquée qu'à l'aide d'un apport technique fourni en mesures et observations spécifiques à notre régime hydrologique et à la réaction de nos nappes vis à vis de l'exploitation.

C'est dans ce sens que les mesures qui sont effectuées sur nos oueds, barrages et nappes, sont à l'origine des orientations de planification servant pour le développement régional. Ainsi donc, c'est à travers la régularité des jaugeages et mesures hydrogéologiques et de la précision de ces mesures que peut être atteint l'objectif visant la mise en place des banques de données fiables pouvant servir pour projeter les aménagements et les études futures.

Par ailleurs la collaboration interdirections techniques à l'échelle centrale et au niveau régional doit être poursuivie et renforcée.

AVANT PROPOS

La construction des deux Barrages de Sidi Sâad sur l'Oued Zeroud et d'El Houareb sur L'Oued Merguellil garantit une protection efficace de la population et des investissements dans la plaine de Kairouan: les ressources en eau superficielles ainsi maîtrisées constituent un atout essentiel pour le développement du potentiel agricole du Kairouannais.

En effet, la localisation de ces deux ouvrages, surplombant un important réservoir souterrain qu'est la nappe de Kairouan favorise une gestion intégrée des ressources en eau superficielles et souterraines.

Consciente des avantages évidents que procureraient la recharge contrôlée des réservoirs souterrains pour la sauvegarde du patrimoine Ressources en Eau, la Direction Générale des Ressources en Eau (DGRE) avait déjà réalisé avec succès des opérations de recharge de certaines nappes souterraines;

Dans ce cadre, La DGRE a entrepris depuis 1988 d'étudier l'impact d'une recharge contrôlée de la nappe de Kairouan à partir des eaux du barrage de Sidi Sâad.

L'opération récente qui s'est déroulée du 19 Avril au 8 Mai 1993 à partir du Barrage El Houareb et qui s'est poursuivie par l'observation de l'évolution des niveaux piézométriques de la nappe jusqu'au 31 Août 1993, avait pour objectif de tester l'aptitude du lit de l'Oued Merguellil à absorber les débits lâchés et d'évaluer les volumes d'eau réellement parvenus à la nappe contribuant ainsi à l'identification d'un scénario optimal pour la recharge de la nappe de Kairouan.

Cette campagne s'est déroulée dans de bonnes conditions grâce à la collaboration des équipes techniques du Barrage El Houareb avec les équipes hydrologiques de Kairouan, Kasserine, Sbeitla, et Tunis; L'Arrondissement des Ressources en Eau de Kairouan assisté par La DGRE Tunis s'est bien acquitté de l'organisation de cette campagne.

I. RECHARGE DE LA NAPPE DE KAIROUAN A PARTIR DU BARRAGE EL HOUREB: SITUATION ACTUELLE

De par son site, le Barrage d'El Houareb devrait permettre une recharge de la nappe de Ain Beidha directement par infiltration dans la cuvette ; cette dernière déverserait une partie de ses eaux dans la nappe de Kairouan.

A ce phénomène, s'ajoute celui des émergences d'eau dans la fosse de dissipation de l'évacuateur; les débits apparents mesurés à la sortie de cette fosse oscillent entre 300 et 500 l/s, ces débits rejoignent directement le lit de l'oued et s'infiltrent totalement sur une distance de 6 km en aval du barrage.

La conséquence de tout ceci est qu'on assiste localement à une remontée assez importante des niveaux de la nappe; cette remontée se propage très lentement vers l'aval, en effet au mois de Mars 1993, soit 43 mois après la mise en eau du barrage, son influence a commencé à se faire sentir légèrement à l'aval du Pont GP3 soit à environ 12 km en aval du barrage.

Les travaux de simulation de la recharge de la nappe par modèle mathématique ont montré qu'un débit de l'ordre de 3 à 4 m³/s pourrait se propager suffisamment loin dans le lit et provoquer une infiltration substantielle vers la nappe.

Il s'agit donc de vérifier sur le terrain la vraisemblance de ces résultats et établir un scénario adéquat pour la recharge de cette nappe; ce scénario devrait préciser:

- les zones les plus favorables à l'infiltration,
- les périodes les plus propices pour la recharge, au cours d'une année isolée ou dans la séquence hydrologique; il faut rappeler que l'inertie de la nappe due surtout à l'importance de son réservoir lui permet de supporter plusieurs années de "disette" hydrologique.
- la manière de faire parvenir l'eau jusqu'au réservoir souterrain: débits à injecter, fréquence.

Plusieurs expérimentations de ce genre sont donc à prévoir à partir des Barrages de Sidi Sâad et El Houareb; elles doivent être suivies et analysées de façon très minutieuse;

II. CAMPAGNE DE RECHARGE DU 19 AVRIL AU 8 MAI 1993

C'est en poursuivant cet objectif que la DGRE avec la collaboration de la Direction Générale des Etudes et Travaux Hydrauliques (DG/ETH) a entrepris de réaliser entre le 19 avril et le 8 Mai 1993 une campagne de recharge de la nappe de Kairouan à partir des eaux du barrage EL Houareb; le suivi de l'impact de cette recharge sur les niveaux piézométriques s'est poursuivi jusqu'au 31 Août 1993, date à laquelle on a estimé que les données recueillies sont suffisantes pour permettre une évaluation correcte des volumes d'eau parvenus à la nappe.

2.1 Choix des sites d'observation

La longueur du tronçon de l'oued Merguellil susceptible d'engendrer une alimentation sensible de la nappe est d'environ 30 Km en aval de la digue principale du barrage; sur ce bief ainsi délimité, cinq sites d'observation ont été localisés, leurs positions relatives ont été choisies de façon à bien contrôler la propagation de l'onde de lâcher le long du lit.

Afin de détecter une éventuelle influence de la baisse du niveau de la retenue sur les débits de l'émergence, un autre site d'observation situé à 500 m en aval de l'évacuateur de crue a été aussi retenu, on y mesurera quotidiennement les débits de l'émergence; ceux-ci rejoignent le lit de l'oued Merguellil en amont du premier site sur le lit principal.

De même, deux autres sites, ayant fait l'objet d'observations partielles, ont été aussi repérés; ils sont numérotés 6 et 7.

Le tableau suivant présente les différents sites en fonction de leur distance au barrage ainsi que leur dénomination respective et la notation abrégée adoptée dans la suite du rapport:

Numero du site	Distance au barrage en km	Intitulé du site	Abreviation
0	0.5	Emergence	EMG
1	2	Aval Barrage	AVB
2	7	Point intermédiaire	PINT
3	12	Pont GP3	PGP3
4	17	Henchir Messzoudia	HMS
5	24	Henchir jefna	HJF
6	28	Conduite du sahel	COS
7	30	Bir Atallah	BAH

ALLOCUTION DE MONSIEUR LE DIRECTEUR GÉNÉRAL DES RESSOURCES EN EAU

Monsieur le Secrétaire d'Etat, Mesdames, Messieurs

Permettez moi au nom de l'ensemble du personnel de la DGRE de vous remercier d'avoir bien voulu répondre à notre invitation pour prendre part à la journée consacrée à l'optimisation des recharges de la nappe de Kairouan.

Cette journée organisée conjointement par le C.R.D.A. de Kairouan et la Direction Générale des Ressources en Eau avec la collaboration des Directions Générales des Etudes et Travaux Hydrauliques et des Barrages s'inscrit dans la politique du Ministère de l'Agriculture visant la mobilisation de la totalité des ressources en eau du pays et la maîtrise efficace de leur gestion.

Elle concerne la gestion intégrée des eaux de surface et des eaux souterraines. Ainsi, le barrage d'El Haouareb réalisé depuis quelques années, est conçu comme un ouvrage de retention en même temps qu'il est appelé à soutenir la nappe de Kairouan en périodes d'années déficitaires. Cette manifestation a pour objectif d'optimiser la recharge de la nappe à partir des eaux du Barrage et de minimiser les pertes en aval. Cette opération permettra en outre aux techniciens de préciser les volumes et les débits utiles à lâcher et de mieux appréhender ainsi les conditions d'infiltration en aval du Barrages.

Cette approche technique visant à assurer une gestion intégrée des eaux de surface et des eaux souterraines est spécifique au gouvernorat de Kairouan qui par sa position géographique et l'importance de ses potentialités en eau, contribue d'une manière efficace au développement économique du pays et notamment dans le domaine agricole.

Avec l'effort déployé dans le secteur agricole au cours des dernières années, et compte tenu des aléas naturels qui caractérise les régimes hydrologiques et hydrogéologiques de la région (crues exceptionnelles et sécheresses) ainsi que la mobilisation des ressources en eau, une bonne gestion de ces ressources s'impose pour éviter tout déséquilibre.

L'optimisation de cette gestion se base sur la régulation des écoulements de surface d'une part, et sur la suralimentation des nappes d'autre part. Une telle démarche ne peut être suivie et appliquée qu'à l'aide d'un apport technique fourni en mesures et observations spécifiques à notre régime hydrologique et à la réaction de nos nappes vis à vis de l'exploitation.

C'est dans ce sens que les mesures qui sont effectuées sur nos oueds, barrages et nappes, sont à l'origine des orientations de planification servant pour le développement régional. Ainsi donc, c'est à travers la régularité des jaugeages et mesures hydrogéologiques et de la précision de ces mesures que peut être atteint l'objectif visant la mise en place des banques de données fiables pouvant servir pour projeter les aménagements et les études futures.

Par ailleurs la collaboration interdirections techniques à l'échelle centrale et au niveau régional doit être poursuivie et renforcée.

AVANT PROPOS

La construction des deux Barrages de Sidi Sâad sur l'Oued Zeroud et d'El Houareb sur L'Oued Merguellil garantit une protection efficace de la population et des investissements dans la plaine de Kairouan; les ressources en eau superficielles ainsi maîtrisées constituent un atout essentiel pour le développement du potentiel agricole du Kairouannais.

En effet, la localisation de ces deux ouvrages, surplombant un important réservoir souterrain qu'est la nappe de Kairouan favorise une gestion intégrée des ressources en eau superficielles et souterraines.

Consciente des avantages évidents que procureraient la recharge contrôlée des réservoirs souterrains pour la sauvegarde du patrimoine Ressources en Eau, la Direction Générale des Ressources en Eau (DGRE) avait déjà réalisé avec succès des opérations de recharge de certaines nappes souterraines;

Dans ce cadre, La DGRE a entrepris depuis 1988 d'étudier l'impact d'une recharge contrôlée de la nappe de Kairouan à partir des eaux du barrage de Sidi Sâad.

L'opération récente qui s'est déroulée du 19 Avril au 8 Mai 1993 à partir du Barrage El Houareb et qui s'est poursuivie par l'observation de l'évolution des niveaux piézométriques de la nappe jusqu'au 31 Août 1993, avait pour objectif de tester l'aptitude du lit de l'Oued Merguellil à absorber les débits lâchés et d'évaluer les volumes d'eau réellement parvenus à la nappe contribuant ainsi à l'identification d'un scénario optimal pour la recharge de la nappe de Kairouan.

Cette campagne s'est déroulée dans de bonnes conditions grâce à la collaboration des équipes techniques du Barrage El Houareb avec les équipes hydrologiques de Kairouan, Kasserine, Sbeitla, et Tunis; L'Arrondissement des Ressources en Eau de Kairouan assisté par La DGRE Tunis s'est bien acquitté de l'organisation de cette campagne.

I. RECHARGE DE LA NAPPE DE KAIROUAN A PARTIR DU BARRAGE EL HOUAREB: SITUATION ACTUELLE

De par son site, le Barrage d'El Houareb devrait permettre une recharge de la nappe de Ain Beidha directement par infiltration dans la cuvette ; cette dernière déverserait une partie de ses eaux dans la nappe de Kairouan.

A ce phénomène, s'ajoute celui des émergences d'eau dans la fosse de dissipation de l'évacuateur, les débits apparents mesurés à la sortie de cette fosse oscillent entre 300 et 500 l/s, ces débits rejoignent directement le lit de l'oued et s'infiltrent totalement sur une distance de 6 km en aval du barrage.

La conséquence de tout ceci est qu'on assiste localement à une remontée assez importante des niveaux de la nappe; cette remontée se propage très lentement vers l'aval, en effet au mois de Mars 1993, soit 43 mois après la mise en eau du barrage, son influence a commencé à se faire sentir légèrement à l'aval du Pont GP3 soit à environ 12 km en aval du barrage.

Les travaux de simulation de la recharge de la nappe par modèle mathématique ont montré qu'un débit de l'ordre de 3 à 4 m³/s pourrait se propager suffisamment loin dans le lit et provoquer une infiltration substantielle vers la nappe.

Il s'agit donc de vérifier sur le terrain la vraisemblance de ces résultats et établir un scénario adéquat pour la recharge de cette nappe, ce scénario devrait préciser:

- les zones les plus favorables à l'infiltration,
- les périodes les plus propices pour la recharge, au cours d'une année isolée ou dans la séquence hydrologique; il faut rappeler que l'inertie de la nappe due surtout à l'importance de son réservoir lui permet de supporter plusieurs années de "disette" hydrologique.
- la manière de faire parvenir l'eau jusqu'au réservoir souterrain: débits à injecter, fréquence.

Plusieurs expérimentations de ce genre sont donc à prévoir à partir des Barrage de Sidi Sâad et El Houareb; elles doivent être suivies et analysées de façon très minutieuse;

II. CAMPAGNE DE RECHARGE DU 19 AVRIL AU 8 MAI 1993

C'est en poursuivant cet objectif que la DGRE avec la collaboration de la Direction Générale des Etudes et Travaux Hydrauliques (DG/ETH) a entrepris de réaliser entre le 19 avril et le 8 Mai 1993 une campagne de recharge de la nappe de Kairouan à partir des eaux du barrage EL Houareb; le suivi de l'impact de cette recharge sur les niveaux piézométriques s'est poursuivi jusqu'au 31 Août 1993, date à laquelle on a estimé que les données recueillies sont suffisantes pour permettre une évaluation correcte des volumes d'eau parvenus à la nappe.

2.1 Choix des sites d'observation

La longueur du tronçon de l'oued Merguellil susceptible d'engendrer une alimentation sensible de la nappe est d'environ 30 Km en aval de la digue principale du barrage; sur ce bief ainsi délimité, cinq sites d'observation ont été localisés, leurs positions relatives ont été choisies de façon à bien contrôler la propagation de l'onde de lâcher le long du lit.

Afin de détecter une éventuelle influence de la baisse du niveau de la retenue sur les débits de l'émergence, un autre site d'observation situé à 500 m en aval de l'évacuateur de crue a été aussi retenu, on y mesurera quotidiennement les débits de l'émergence; ceux-ci rejoignent le lit de l'oued Merguellil en amont du premier site sur le lit principal.

De même, deux autres sites, ayant fait l'objet d'observations partielles, ont été aussi repérés; ils sont numérotés 6 et 7.

Le tableau suivant présente les différents sites en fonction de leur distance au barrage ainsi que leur dénomination respective et la notation abrégée adoptée dans la suite du rapport:

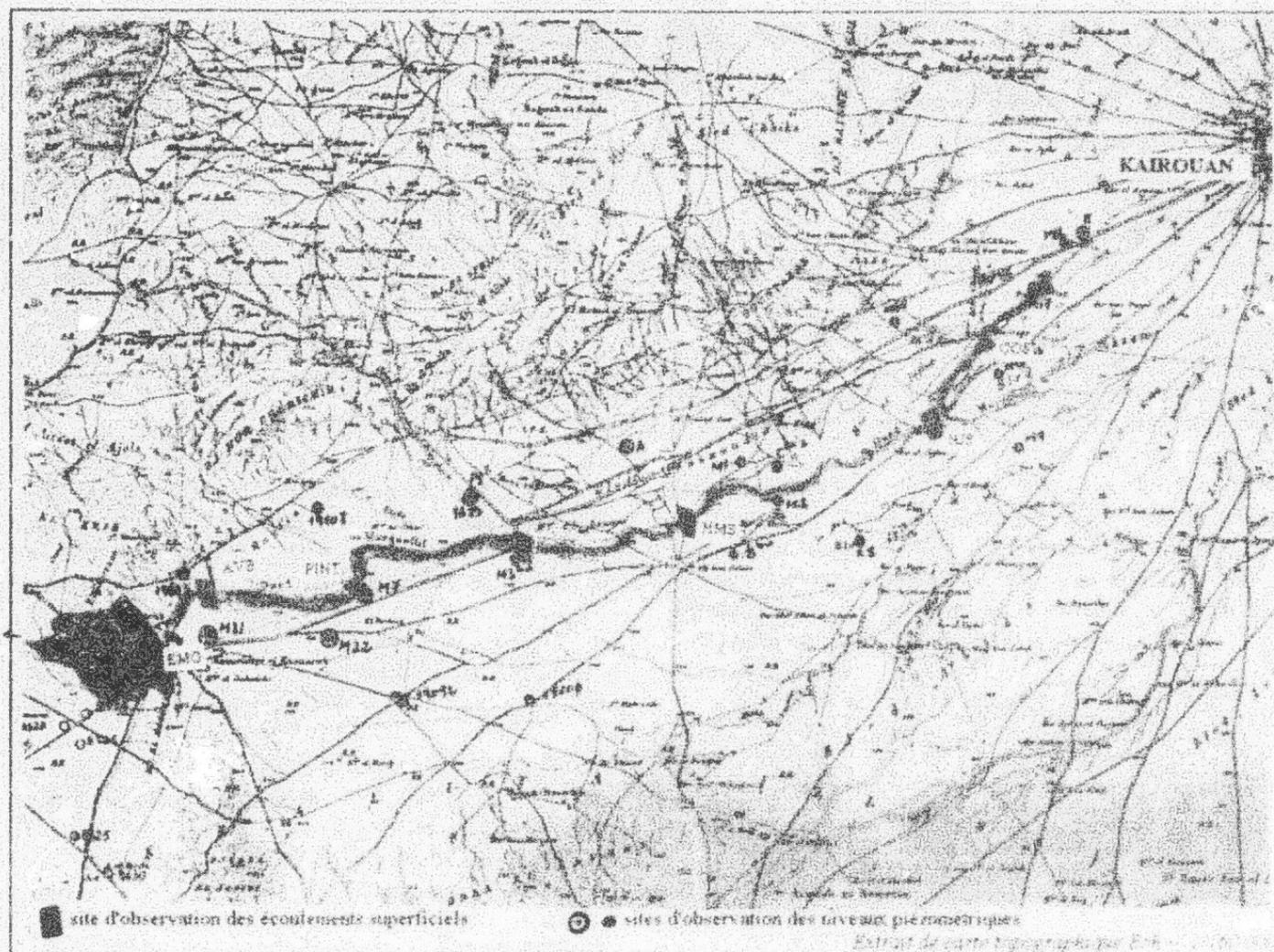
Numero du site	Distance au barrage en km	Intitulé du site	Abréviation
0	0.5	Emergence	EMG
1	2	Aval Barrage	AVB
2	7	Point intermédiaire	PINT
3	12	Pont GP3	PGP3
4	17	Henchar Messaoudia	HMS
5	24	Henchar Jéna	HJF
6	28	Conduite du sahel	COS
7	30	Bir Atallah	BAH

La carte de situation ci-dessous précise les positions des sites d'observation des écoulements en surface ainsi que celles des piézomètres existant dans la zone

d'étude et permettant de contrôler l'impact de la recharge sur la nappe

LACHERS DU BARRAGE EL HOUAREB SUR L'OUED MERGUELLIL

Localisation des sites d'observation des écoulements dus aux débits lâchés entre le 19/4 et le 8/5/93



2.2 Morphologie du lit de l'Oued Merguellil

Constitué de fond sableux très absorbant, le lit de l'Oued Merguellil est l'élément déterminant dans le cheminement des eaux lâchées et le transfert vers le réservoir souterrain.

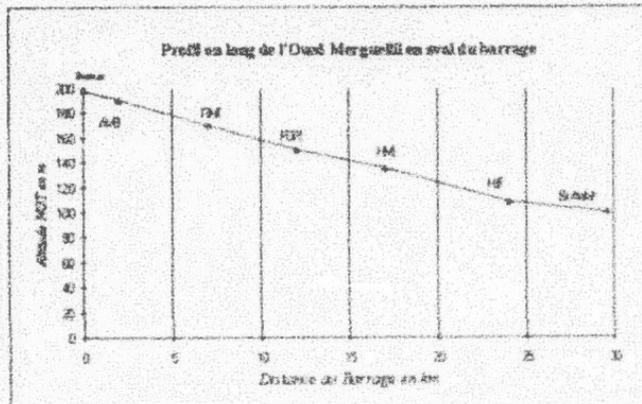
Elargi depuis les crues de 1969 à des dimensions incompatibles avec les débits généralement atteints par les crues courantes, il s'encombre graduellement par les occupations des riverains, ce phénomène pas forcément aliénant si ce n'est l'empiètement sur le Domaine public Hydraulique (qui mérite d'ailleurs d'être délimité dans cette zone) vient d'être encouragé indirectement depuis la construction du Barrage d'EL Houareb qui apporte une sécurité aux investissements,

assez large vers l'amont et relativement bien tracé, le lit de l'Oued Merguellil s'atrophie visiblement en aval du Pont GP3, il se ramifie au niveau des digues de bled Lagsem et disparaît totalement dans les champs vers La conduite du Sahel et Bir Atallah; la longueur totale du lit ainsi décrit est d'une trentaine de km depuis la digue du Barrage.

2.2.1 Profil en long

Pour préciser l'évolution de la pente du lit, on a représenté graphiquement les distances au barrage de quelques sites particuliers en fonction des altitudes NGT correspondantes, le tableau ainsi que le graphique ci-dessous illustrent cette évolution.

Site	Distance (km)	Alt NGT (m)
Barrage (BGE)	0	198
Aval barrage (AVB)	2	190
Point intermédiaires (PINT)	7	170
Pont GP3 (PGP3)	12	150
Henchir Messaoudia (HMS)	17	135
Henchir jefna (HJF)	24	108
Bir Atallah (BAH)	30	100

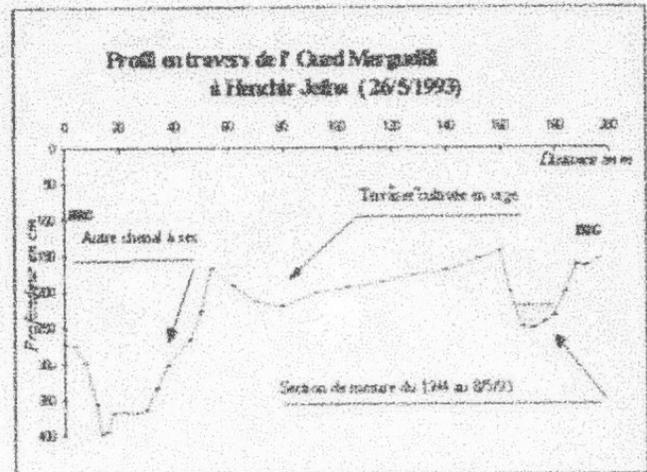


Ce profil en long montre une pente assez régulière jusqu'à Henschir Jefna suivie d'un léger fléchissement qui marque l'entrée dans une véritable zone d'épandage; la pente du lit passe en effet de 4/1000 à 1.3/1000.

2.2.2 Profil en travers

Au niveau du Pont GP3, la largeur apparente du lit de l'Oued Merguellil est de 1 km pour un chenal d'écoulement n'excédant pas 200 m; au delà, le lit perd sensiblement de sa largeur et se ramifie en plusieurs chenaux notamment au niveau des digues de Bled Lagsen; le chenal principal s'estompe vers la conduite du Sahel et les anciens tracés d'écoulement préférentiel sont totalement encombrés par les cultures.

Le profil en travers réalisé le 26 Mai 1993 au niveau du site HJF montre que le chenal emprunté par les débits lâchés est pratiquement suspendu entre les digues; le graphique ci-dessous illustre la morphologie actuelle.



2.3 Le scénario des lâchers

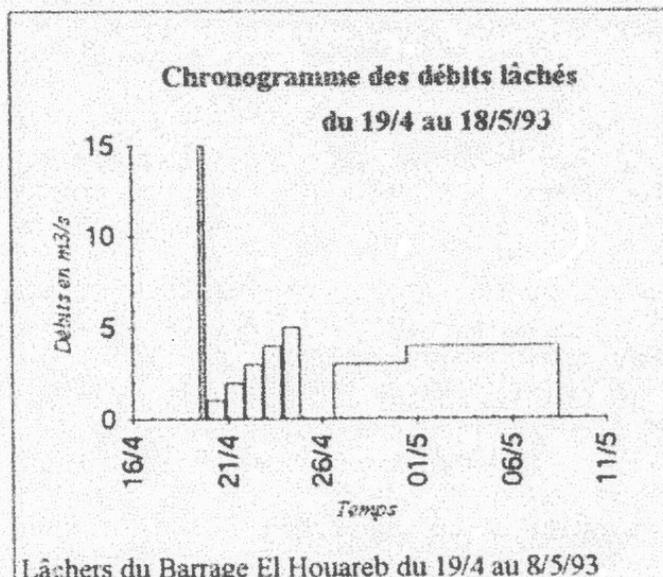
Comme le lit de l'Oued Merguellil n'avait pas fait l'objet d'un écoulement continu depuis la mise en eau du barrage en 1989, il a été jugé opportun de lâcher préalablement un débit d'environ 15 m³/s afin de créer un chenal d'écoulement et provoquer une imbibition initiale suffisante pour permettre une propagation correcte des débits à tester; par la suite des débits constants ont été lâchés par palier; le tableau ci-dessous présente le chronogramme réel des lâchers théoriques opérés entre le 19 Avril et le 8 Mai 1993 ainsi que les volumes d'eau correspondants¹.

Lâchers du Barrage El Houareb du 19/4 au 8/5/93

Date Début	Date fin	Durée (s)	Cl	Volumé total
19/04 12:45	19/04 18:45	0.25	15	326000
19/04 22:00	20/04 20:00	0.92	1	79200
20/04 22:00	21/04 20:00	0.92	2	158400
21/04 22:00	22/04 20:00	0.92	3	237600
22/04 22:00	23/04 20:00	0.92	4	316800
23/04 22:00	24/04 20:00	0.92	5	396000
24/04 20:00	25/04 20:00	1.00	0	0
25/04 20:00	26/04 14:00	0.75	0	0
26/04 14:00	27/04 14:00	1.00	3	237600
27/04 14:00	28/04 14:00	1.00	3	237600
28/04 14:00	29/04 14:00	1.00	3	237600
29/04 14:00	30/04 11:10	0.88	3	228600
30/04 11:10	01/05 11:10	1.00	4	345600
01/05 11:10	02/05 11:10	1.00	4	345600
02/05 11:10	03/05 11:10	1.00	4	345600
03/05 11:10	04/05 11:10	1.00	4	345600
04/05 11:10	05/05 11:10	1.00	4	345600
05/05 11:10	06/05 11:10	1.00	4	345600
06/05 11:10	07/05 11:10	1.00	4	345600
07/05 11:10	08/05 12:00	1.03	4	355600
Volumé total :				5 295 600

¹ Voir plus loin correspondance entre débits lâchés et débits mesurés

le graphique ci-dessous illustre la chronologie réelle des lâchers:



Il faut signaler aussi que l'émergence fournit un écoulement permanent, les jaugeages effectués au cours de la période d'expérimentation (cf. annexes) permettent d'attribuer à cet écoulement un débit moyen de 400 l/s.

L'observation des écoulements provoqués par les différents débits lâchés au cours de la semaine du 19 au 24 Avril a permis de situer vers 4 m³/s le débit pouvant se propager sur toute la longueur du lit soit 30 km.

2.4 Les mesures effectuées

Plusieurs équipes hydrologiques étaient postées aux sites de mesures, leurs tâches consistaient à :

- jauger les écoulements transitants par chacun des cinq sites présélectionnés en plus du site pour le jaugeage de l'émergence.
- repérer des points extrêmes de propagation des écoulements pour chaque gamme de débits.
- prélever des échantillons d'eau pour l'analyse des transports en solution et en suspension
- délimiter les largeurs des sections mouillées.

Le tableau suivant fournit un inventaire détaillé des mesures effectuées aux différents sites au cours de cette campagne:

Sites	Jaugeages	Prél. ve- ments RS- -TS	Autres
EMG	13	4 4	
AVB	50	22 22	
PINT	20	4 0	
PGP3	44	17 17	
HMS	32	13 13	Profil en travers
HJF	37	10 10	Profil en travers
COS	Etalement		
BAT	1	0 0	
TOTAL	197	70 66	

Quant aux résultats de dépouillement de ces mesures, ils sont présentés en annexe sous forme de tableaux, y figurent en :

- colonne 1 : Date de la mesure
- colonne 2 : Débit lâché à partir du barrage
- colonne 3 : Débit mesuré au site
- colonne 4 : Largeur de la section
- colonne 5 : Débit retenu pour le calcul du volume
- colonne 6 : Le résidu sec Rs en g/l
- colonne 7 : La concentration en suspension Ts en g/l
- colonne 8 : Observations diverses sur l'apparition et la disparition de l'écoulement.

La photographie ci-dessous illustre le déroulement d'une opération de jaugeage au moulinet exécutée par deux techniciens de l'Arrondissement des Ressources en Eau de Kairouan.



Lâchers du Barrage El Houareb du 19/4 au 8/5/93
Deux techniciens au cours d'une opération de jaugeage
au site HMS. Photo DOIRE 29/4/93

III. INTERPRETATION DES OBSERVATIONS ACCUMULEES

3.1 Correspondance débits lâchés - débits mesurés au site AVB

La confrontation des débits de lâcher donnés par l'étalonnage des vannes avec les débits mesurés au site aval Barrage (cf. tableaux en annexes) montre une certaine discordance, en effet, les débits mesurés au site aval barrage sont parfois plus forts que ceux donnés par l'étalonnage des vannes augmentés par les débits de l'émergence, on s'attendait plutôt à une réduction des débits due à l'étalement de l'onde ainsi qu'à l'absorption par le lit; toutefois les résultats du § 3.7.4 montrent que ces écarts ne perturbent pas de façon significative le bilan des écoulements.

Néanmoins pour l'homogénéité des calculs nous retiendrons dans la suite de ce document les valeurs des débits jaugés au site AVB comme référence pour le calcul des volumes ainsi que l'étude de l'amortissement.

3.2 Limite de propagation des débits

L'un des objectifs de cette opération est d'identifier le débit de lâcher pouvant engendrer un écoulement sur toute la longueur du tronçon identifié sans provoquer des pertes sensibles à l'aval.

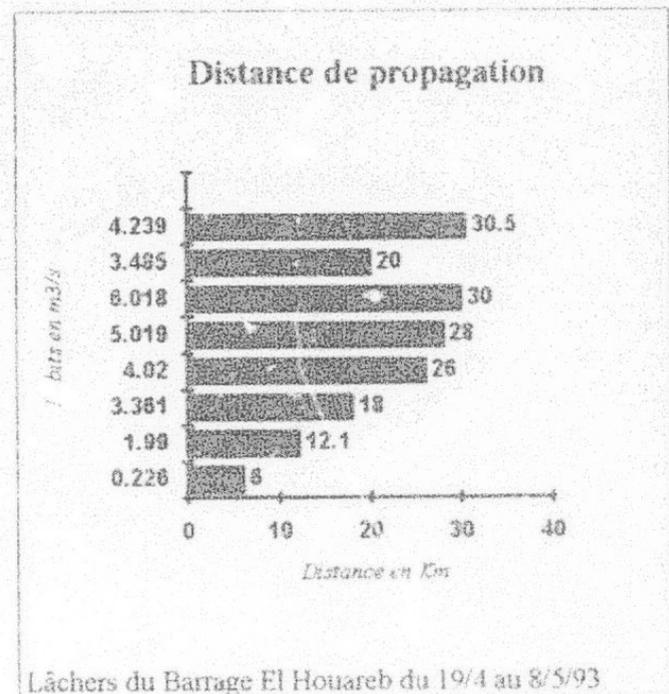
Pour cela le point final de propagation de chaque débit lâché a été minutieusement localisé sur le terrain puis repéré sur carte topographique.

Le tableau suivant présente les distances maximales d'extinction en fonction des débits lâchés; il fournit aussi les caractéristiques suivantes:

- Ql : Débit lâché depuis le Barrage
- Qe : Débit de l'émergence pris égal à 0.4 m³/s
- Qt : Débit total : Barrage + Emergence
- Qm : Débit mesuré au point Aval Barrage
- Lim : Limite de la propagation repérée en Km
- DT : Durée du lâcher à ce débit en heures
- Sl : Site de disparition des écoulements

Ql	Qe	Qt	Qm	Lim	DT	Sl
0	0.4	0.4	0.226	6	continus	1km amont de PINT
1	0.4	1.4	1.99	12.1	22	100 m avl de P.C.P.P
2	0.4	2.4	3.361	18	22	1km en avl de H.M.S
3	0.4	3.4	4.020	26	22	Douar Mejer
4	0.4	4.4	5.019	28	22	conduite du sahel
5	0.4	5.4	6.018	30	22	Bir Atallah
3	0.4	3.4	3.485	20	94	Douar Mfela
4	0.4	4.4	4.239	30.5	192	0.5 km avl Bir atallah Q= 0.004 m ³ /s

Le graphique ci-dessous illustre pour les débits lâchés, les limites de propagation en fonction des débits mesurés au site Aval Barrage.



Rappelons que le débit de 15 m³/s lâché pendant 6 h seulement et ne figurant pas ci-dessus s'est propagé sur une longueur de 27 Km jusqu'à la région de Bied El Aoud.

Il apparaît clairement d'après ce graphique que le débit moyen de 4.239 m³/s calculé sur la période de 8 jours du 1er au 7 Mai a intéressé la plus grande longueur du lit, en donnant lieu à un écoulement faible de 4 l/s vers l'extrémité du bief 6 au niveau de Bir Atallah.

Ce débit d'environ 4.25 m³/s ne peut être considéré optimal de façon définitive; en effet une multitude de prises d'eau et de dérivations faites par les riverains surtout vers le tronçon aval ont certainement contribué à arrêter l'écoulement bien avant sa limite de propagation normale; de même, bien que limité par l'extension réduite de la surface évaporante,

l'évaporation estimé à quelque dizaine de litres par seconde doit certainement réduire les distances de propagation.

Par conséquent, si les lâchers se faisaient en période humide durant laquelle les riverains n'ont pas besoin de procéder à des ponctions; les débits à lâcher pourraient être réduits d'environ 1 m³/s pour se situer vers les 3 m³/s; une solution judicieuse consiste à faire les lâchers à la suite d'une grande pluie généralisée.

3.3 Délimitation des biefs

Nous définirons les biefs comme suit:

- Bief n°1: Tronçon de l'oued compris entre le Barrage et le site 1 (AVB), sa longueur L = 2 km
- Bief n°2: Tronçon de l'oued compris entre le site 1 (AVB) et le site 2 (PINT) L = 5 km
- Bief n°3: Tronçon de l'oued compris entre le site 2 (PINT) et le site 3 (PGP3) L = 5 km
- Bief n°4: Tronçon de l'oued compris entre le site 3 (PGP3) et le site 4 (HMS) L = 5 km
- Bief n°5: Tronçon de l'oued compris entre le site 4 (HMS) et le site 5 (HJF) L = 7 km
- Bief n°6: Tronçon de l'oued compris entre le site 5 (HJF) et le point le plus en aval jusqu'à Bir Atallah (BAT) L = 6 km

3.4 Définition des entrées

Les débits d'écoulement superficiel à l'entrée du système sont les suivants:

- les débits sortant des vannes du Barrage et dont les valeurs sont déterminées à partir de l'étalonnage des vannes
- des débits d'écoulement de l'émergence: ils sont jaugés à 300 m en aval de l'évacuateur.

Ces débits se regroupent dans un chenal unique pour rejoindre le site 1 (AVB); c'est en fait en ce point que se fait le véritable contrôle des entrées par des mesures continues des débits; ces mesures intégreront donc:

- les erreurs dues à l'incertitude de l'étalonnage des vannes
- les pertes éventuelles sur le tronçon amont d'une longueur de 2 km

3.5 Amortissement des débits journaliers

Au cours des six premiers jours de la campagne soit du 19 au 24 Avril, les volumes transitant par chacun des sites ont été calculés comme suit:

Au niveau d'un site donne un débit moyen a été défini à partir des résultats de jaugeage effectués au cours de la journée, puis le volume journalier a été calculé en rapportant ce débit à une durée équivalente à la durée du lâcher, ceci suppose que l'on a admis que l'absorption par le lit compense l'effet de l'étalement et que l'hydrogramme engendré par l'écoulement a le même temps de base que celui des débits lâchés; quant bien même un étalement se produit, le volume mis en jeu serait très faible puisque intervenant en fin d'écoulement.

Le volume total transitant par un site donne au cours de la période d'expérimentation est alors obtenu par cumul des volumes journaliers ainsi calculés.

Le tableau ci-dessous fournit les débits journaliers calculés au niveau de chaque site comparativement au débits "théoriques" figurant dans la colonne BGE+EM (Barrage +Emergence)

AMORTISSEMENT DES DEBITS JOURNALIERS

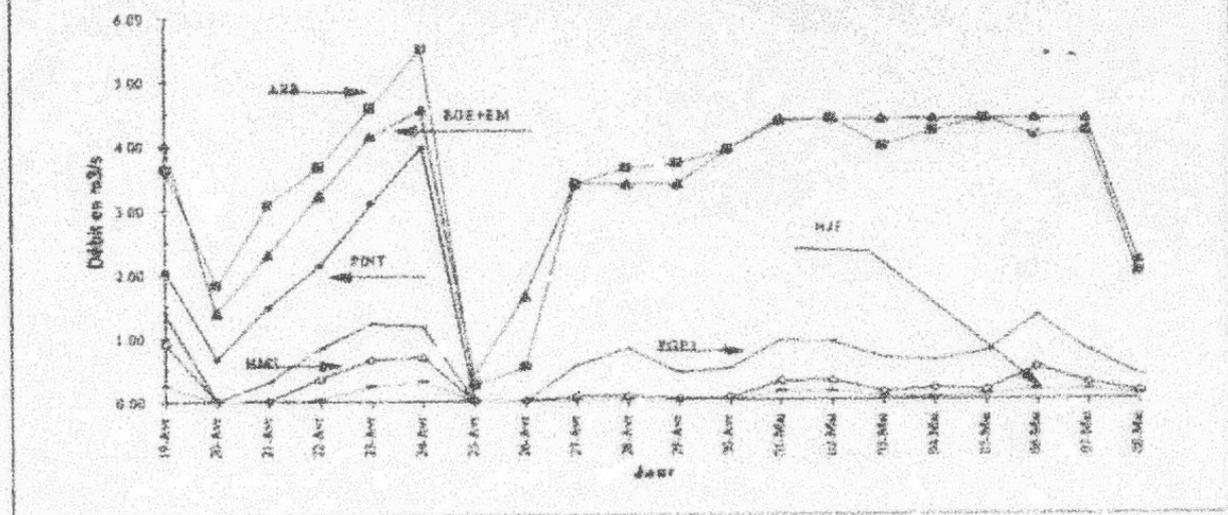
DATE	BGE+EM	AVB	PINT	PGP3	HMS	HJF
19-Avr	4 021	3 628	3 055	3 355	0 968	0 239
20-Avr	1 400	1 324	0 871	0 817	0 600	0 020
21-Avr	2 317	3 081	1 493	0 317	0 617	0 060
22-Avr	3 222	3 689	2 179	0 835	0 335	0 044
23-Avr	4 129	4 661	3 115	1 211	0 648	0 130
24-Avr	4 547	5 516	3 921	1 176	0 652	0 111
25-Avr	0 400	0 341	0 000	0 000	0 000	0 000
26-Avr	1 400	1 324	0 000	0 000	0 000	0 000
27-Avr	1 400	1 395	0 000	0 000	0 000	0 000
28-Avr	1 400	1 640	0 000	0 312	0 773	0 000
29-Avr	1 400	1 711	0 000	0 441	0 023	0 000
30-Avr	1 915	1 929	0 000	0 497	0 043	0 000
01-Mai	4 400	4 350	0 000	0 931	0 297	0 121
02-Mai	4 400	4 451	0 000	0 908	0 304	0 114
03-Mai	4 400	5 976	0 000	0 945	0 130	0 047
04-Mai	4 400	4 756	0 000	2 617	0 174	0 040
05-Mai	4 400	4 412	0 000	0 753	0 147	0 068
06-Mai	4 400	4 125	4 329	1 317	0 505	0 190
07-Mai	4 400	4 124	4 092	0 766	0 251	0 139
08-Mai	2 200	1 990	2 130	0 177	0 122	0 070
Volume	401120	399051	209100	117000	409179	115051
Volume l	173250	164152	116200	42640	15141	1712

Volume l: volume écoulé au cours de la première semaine

Le graphique ci-dessous illustre l'évolution des débits au niveau de chaque site; il ya lieu de remarquer l'écart anormalement négatif entre les débits lâchés (BGE+ EMG) et ceux mesurés au site A/B au cours de la première semaine.

LACHERS DU BARRAGE EL HOUAREB DU 19/4 AU 8/5/93

AMORTISSEMENT DES DEBITS JOURNALIERS



$$V_t = (V_p/V_a) * V_{avb} = 6\,243\,673 \text{ m}^3$$

3. 6 Ecoulement au droit des sites de mesure

Le tableau précédent présente aussi les volumes totaux transitant par les différents sites; pour dresser le bilan détaillé on a dû faire deux hypothèses:

3.6.1 Hypothèses

Hypothèse 1: Comme les volumes écoulés au droit du site AVB au cours de la première semaine sont supérieures à ceux théoriquement lâchés augmentés des débits de l'émergence, ce qui est injustifié, nous retiendrons les volumes observés aux cours des deux semaines suivantes, qui paraissent beaucoup plus vraisemblable, pour corriger les apports totaux disponibles à l'entrée de la plaine:

Il s'en suit les valeurs suivantes:

Volume théorique au cours du reste de la période:

$$V_p = 5\,950\,560 - 1\,735\,560 = 4\,215\,000$$

Volume AVB au cours du reste de la période:

$$V_a = 5\,998\,931 - 1\,949\,152 = 4\,049\,779 \text{ m}^3$$

L'écart entre le volume théoriquement lâché au cours du reste de la période et celui observé au site AVB paraît plus réaliste.

En reportant la correction sur le volume théorique de toute la période on obtient:

Ce volume se compose comme suit:

$$\text{volume issu de l'émergence } V_{emg} = 655\,560 \text{ m}^3$$

Le volume réel sortant du Barrage est alors

$$(6\,243\,673 - 655\,560) \text{ m}^3 = 5\,588\,113 \text{ m}^3$$

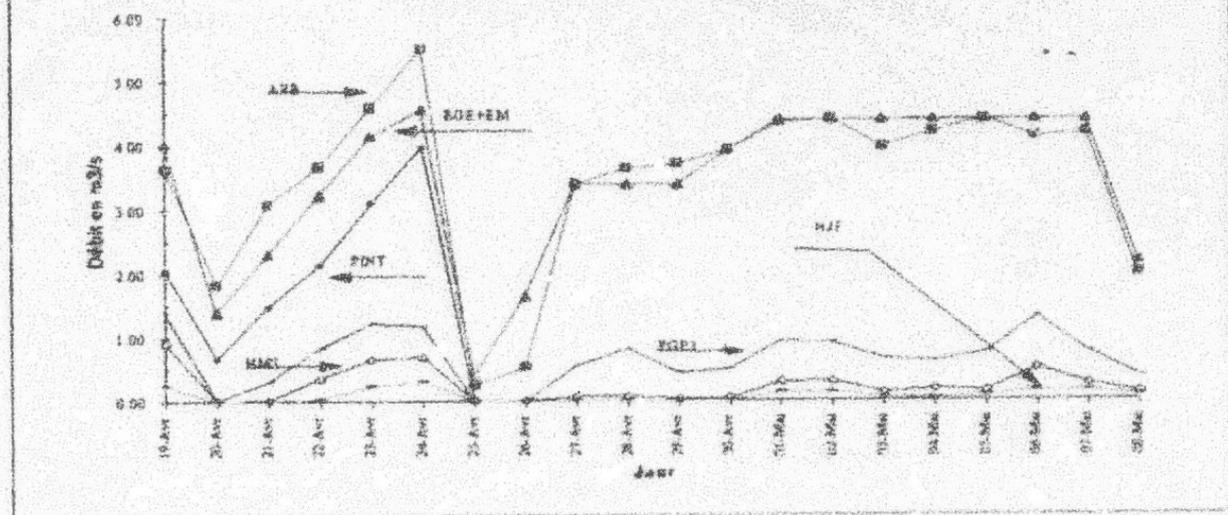
Hypothèse 2: Les débits au site PINT n'ayant été observés qu'au cours de la première semaine on admettra que le volume total transitant par ce site conservera au cours de la période suivante la même proportion par rapport au volume transitant par le site AVB.

En effet, le bilan des pertes par bief en amont de PGP3 consignés dans le tableau ci-dessous montre que celles-ci sont équivalentes pour les biefs 2 et 3 de même longueur, on admettra donc que ces deux biefs se comporteront de la même manière au cours de toute la période d'expérimentation.

	Volume en m ³
Site Aval Barrage	1 949 152
Site Intermédiaire	1 162 800
Site Pont GP3	426 485
Pertes Bief 2	786 352
Pertes Bief 3	736 315

LACHERS DU BARRAGE EL HOUAREB DU 19/4 AU 8/5/93

AMORTISSEMENT DES DEBITS JOURNALIERS



$$V_t = (V_p/V_a) * V_{avb} = 6\,243\,673 \text{ m}^3$$

3. 6 Ecoulement au droit des sites de mesure

Le tableau précédent présente aussi les volumes totaux transitant par les différents sites; pour dresser le bilan détaillé on a dû faire deux hypothèses:

3.6.1 Hypothèses

Hypothèse 1: Comme les volumes écoulés au droit du site AVB au cours de la première semaine sont supérieures à ceux théoriquement lâchés augmentés des débits de l'émergence, ce qui est injustifié, nous retiendrons les volumes observés aux cours des deux semaines suivantes, qui paraissent beaucoup plus vraisemblable, pour corriger les apports totaux disponibles à l'entrée de la plaine:

Il s'en suit les valeurs suivantes:

Volume théorique au cours du reste de la période:

$$V_p = 5\,950\,560 - 1\,735\,560 = 4\,215\,000$$

Volume AVB au cours du reste de la période:

$$V_a = 5\,998\,931 - 1\,949\,152 = 4\,049\,779 \text{ m}^3$$

L'écart entre le volume théoriquement lâché au cours du reste de la période et celui observé au site AVB paraît plus réaliste.

En reportant la correction sur le volume théorique de toute la période on obtient:

Ce volume se compose comme suit:

$$\text{volume issu de l'émergence } V_{emg} = 655\,560 \text{ m}^3$$

Le volume réel sortant du Barrage est alors

$$(6\,243\,673 - 655\,560) \text{ m}^3 = 5\,588\,113 \text{ m}^3$$

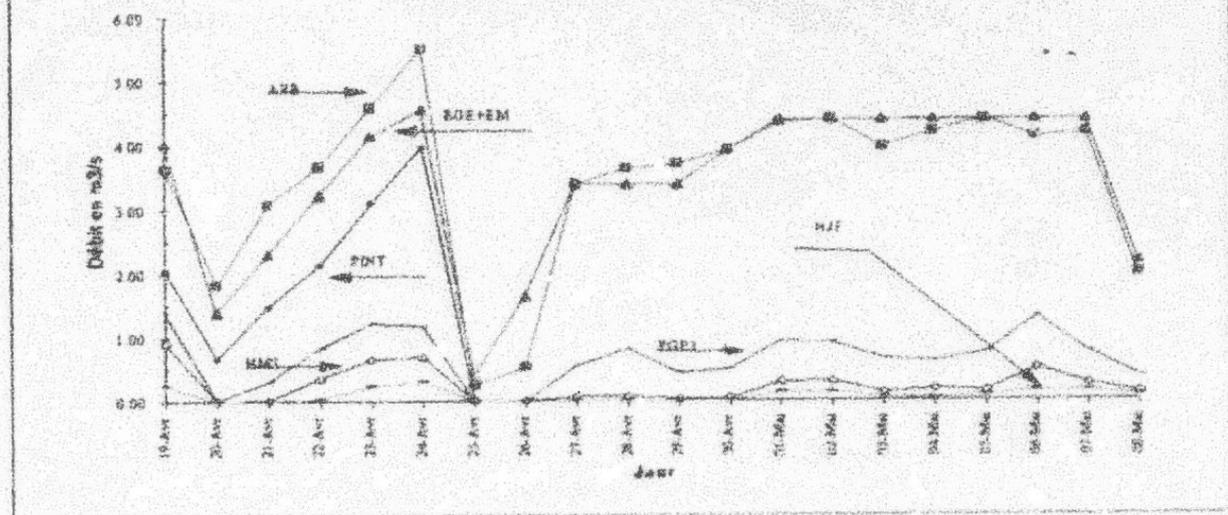
Hypothèse 2: Les débits au site PINT n'ayant été observés qu'au cours de la première semaine on admettra que le volume total transitant par ce site conservera au cours de la période suivante la même proportion par rapport au volume transitant par le site AVB.

En effet, le bilan des pertes par bief en amont de PGP3 consignés dans le tableau ci-dessous montre que celles-ci sont équivalentes pour les biefs 2 et 3 de même longueur, on admettra donc que ces deux biefs se comporteront de la même manière au cours de toute la période d'expérimentation.

	Volume en m ³
Site Aval Barrage	1 949 152
Site Intermédiaire	1 162 800
Site Pont GP3	426 485
Pertes Bief 2	786 352
Pertes Bief 3	736 315

LACHERS DU BARRAGE EL HOUAREB DU 19/4 AU 8/5/93

AMORTISSEMENT DES DEBITS JOURNALIERS



$$V_t = (V_p/V_a) * V_{avb} = 6\,243\,673 \text{ m}^3$$

3. 6 Ecoulement au droit des sites de mesure

Le tableau précédent présente aussi les volumes totaux transitant par les différents sites; pour dresser le bilan détaillé on a dû faire deux hypothèses:

3.6.1 Hypothèses

Hypothèse 1: Comme les volumes écoulés au droit du site AVB au cours de la première semaine sont supérieures à ceux théoriquement lâchés augmentés des débits de l'émergence, ce qui est injustifié, nous retiendrons les volumes observés aux cours des deux semaines suivantes, qui paraissent beaucoup plus vraisemblable, pour corriger les apports totaux disponibles à l'entrée de la plaine:

Il s'en suit les valeurs suivantes:

Volume théorique au cours du reste de la période:

$$V_p = 5\,950\,560 - 1\,735\,560 = 4\,215\,000$$

Volume AVB au cours du reste de la période:

$$V_a = 5\,998\,931 - 1\,949\,152 = 4\,049\,779 \text{ m}^3$$

L'écart entre le volume théoriquement lâché au cours du reste de la période et celui observé au site AVB paraît plus réaliste.

En reportant la correction sur le volume théorique de toute la période on obtient:

Ce volume se compose comme suit:

$$\text{volume issu de l'émergence } V_{emg} = 655\,560 \text{ m}^3$$

Le volume réel sortant du Barrage est alors

$$(6\,243\,673 - 655\,560) \text{ m}^3 = 5\,588\,113 \text{ m}^3$$

Hypothèse 2: Les débits au site PINT n'ayant été observés qu'au cours de la première semaine on admettra que le volume total transitant par ce site conservera au cours de la période suivante la même proportion par rapport au volume transitant par le site AVB.

En effet, le bilan des pertes par bief en amont de PGP3 consignés dans le tableau ci-dessous montre que celles-ci sont équivalentes pour les biefs 2 et 3 de même longueur, on admettra donc que ces deux biefs se comporteront de la même manière au cours de toute la période d'expérimentation.

	Volume en m ³
Site Aval Barrage	1 949 152
Site Intermédiaire	1 162 800
Site Pont GP3	426 485
Pertes Bief 2	786 352
Pertes Bief 3	736 315

3.6.2 Les volumes observés

Considérant ce qui précède, le tableau suivant donne les volumes transitant ainsi que les pertes cumulées en amont de chaque site:

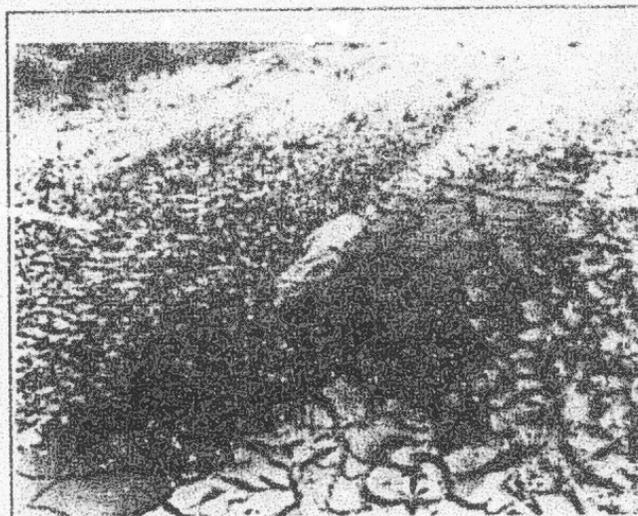
	Volume en m ³	Volume en %	Pertes cumulées	Pertes en %	Distance en km
BGE	6 243 673	100	0	0	0
AVB	5 998 931	96	244 742	6	2
PINT	3 584 500	57	2 659 173	43	7
PGP3	1 170 068	19	5 073 605	81	12
HMS	409 379	7	5 834 294	93	17
HJF	138 053	2	6 105 620	97.8	24

De ce tableau découlent les remarques suivantes:

La majorité des volumes injectés soit 80% a été absorbée en amont du pont GP3 sur une distance de 12 Km en aval du barrage; l'absorption a été en moyenne de 422 800 m³/km sur 20 jours soit 21 140 m³/km/ jour ou 245 l/s/km

En aval du Pont GP3, bien que le coefficient d'absorption reste en proportion supérieur à 80 %, le taux d'absorption moyen sur le tronçon de 12 km séparant PGP3 et HJF n'est plus que de 30 l/s/km: ce dernier résultat est dû aux causes suivantes:

- La faiblesse des débits disponibles en aval de PGP3 généralement inférieurs à 1m³/s fait que les sections inondées sont très faibles et donc la surface infiltrante l'est aussi.
- De même, en aval du PGP3 et surtout après le site de Henchir Messaoudia (HMS), le lit mineur : chenal préférentiel des écoulements est relativement rétréci, limitant ainsi le pouvoir infiltrant du lit.
- La texture assez fine des matériaux tapissant le lit devrait aussi limiter l'infiltrabilité du lit; la photo ci-dessous montre les croûtes caractéristiques de l'assèchement des surfaces tapissées de matériaux très fins.



Lâchers du Barrage El Houareb du 19/4 au 8/5/93
Croûtes desséchées vers le site HJF

Photo DORE 29/4/93

D'ores et déjà, les options ci-dessous pourraient être raisonnablement envisagées; leur opportunité devrait être précisée à la lumière d'autres opérations de ce genre:

- 1 - Conduites d'amenée des eaux jusqu'au niveau du PGP3; en utilisant éventuellement les conduites du périmètre irrigué prévu.
- 2 - Aménagement du lit de l'Oued Merguellil en aval de ce site par des dispositifs de freinage des écoulements.
- 3 - Recalibrage de certains anciens bras du lit de l'Oued Merguellil (actuellement encombré par les riverains) pour laisser s'écouler l'eau le plus près possible des zones surexploitées de la nappe ; la région d' El Aouamria paraît être dans cette situation.

3.7 Bilans hydrologiques

Le bilan hydrologique au niveau de chaque bief peut être formulée comme suit:

$$V_d + V_p = V_{ev} + V_a + V_r$$

V_d : Volume disponible dans le lit à l'entrée de chaque bief; ce volume est donné par les tableaux précédents

V_p : volume des précipitations éventuelles sur le bief

V_{ev} : Volume évaporé à partir du lit: sur toute la longueur du bief, c'est le produit de l'évaporation cumulée sur la période par l'aire de la surface évaporante.

V_a : Volume absorbé par le sol; il est la somme du volume de saturation du sol et du volume percolant vers la nappe:

V_r : Volume ruisselé en aval du bief

3.7.1 Précision de certains termes du Bilan

V_p : Volume dû aux précipitations

le tableau ci-dessous présente les pluies journalières à 3 postes pluviométriques de la région pour les mois d'Avril et Mai 1993

Avril: Néant partout

Mai:

jou	Hb BGE	Chébika	Chérichera
1	1.7		4
2		1.0	7

5	4.6	2.0	
6	0.6	13.0	7.0

Total	6.9	16.0	18.0
11	11.1	8	10.0
12	3.2	18.0	11.0
Total	14.3	26.0	21.0

Ces pluies ne sont pas suffisamment importantes pour perturber l'écoulement au niveau des biefs, nous admettrons qu'elle compenseront l'évaporation à son taux potentiel au delà de la période des lâchers.

V_{ev} : Volume dû à l'évaporation:

C'est le produit du taux d'évaporation par l'aire de la surface évaporante:

L'évaporation se produit en deux étapes:

Une évaporation immédiate: elle se fait directement à partir de la section de l'eau en écoulement; signalons à ce propos que lors des opérations des jaugeages ou même en parcourant le lit que des deux cotés du chenal d'écoulement la section du lit est suffisamment bien imbibée pour alimenter l'évaporation à son taux potentiel; parfois même, comme illustré sur la photo ci-dessous, il y a

plusieurs chenaux; pour tenir compte de cet aspect la largeur de la section évaporante sera systématiquement majorée de 20%.



Oued Merguellil en amont du pont GP3
Surface évaporante plus large que la section d'écoulement

Photo DGRE 29/4/93

Une évaporation différée: elle se produit durant plusieurs jours après la cessation des écoulements; et au moins une partie des volumes absorbés par le lit sera reprise par l'atmosphère; toutefois compte tenu des pluies tombées dans la région, nous estimons que cette évaporation sera totalement compensée par les précipitations survenues dans la région.

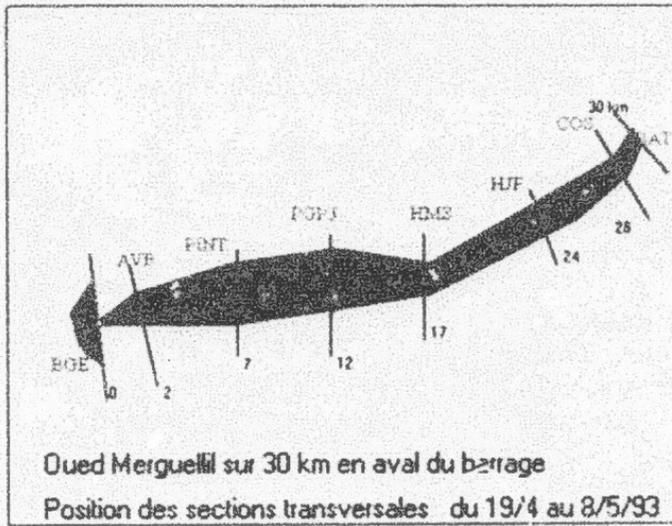
Pour le taux d'évaporation nous avons adopté les taux journaliers observés sur le bac enterré du barrage El Houareb.

La surface évaporante

Pour délimiter la surface évaporante, on a tracé le polygone obtenu en joignant sur une longueur de 30 km les points définis par les points de coordonnées (distance, largeur)

Pour chaque bief et pour chaque débit l'aire de la surface évaporante est égale à l'aire du quadrilatère délimité en amont et aval par les traces des deux sections transversales et distantes d'une longueur équivalente à celle de la longueur du bief, cette aire est majorée de 20% pour tenir compte de la surface d'imbibition réelle.

le croquis ci-dessous montre le découpage du lit:



Ainsi le calcul détaillé des différents termes du bilan permet de dresser le tableau suivant qui présente:

- pour chaque jour de la période d'injection:

- l'évaporation prise en compte : Evap
- l'aire de la surface évaporante de chaque bief: $S_{bief(i)}$
- le volume évaporé à partir de chaque bief : Ve
- l'aire de la surface évaporante totale Total S
- le volume total évaporé sur toute la longueur du lit : Total Ve
- le débit d'évaporation en l/s Débit

- pour chaque bief

- l'aire de la surface évaporante journalière: $S_{bief(i)}$
- le volume évaporé quotidiennement : Ve
- le volume total évaporé du 19/4 au 8/5/1993: Total
- le débit moyen d'évaporation en l/s: Débits

- pour l'ensemble du lit et pour toute la période d'injection

- le volume total évaporé en m^3
- le débit moyen d'évaporation

Lâchers du Barrage El Houareb du 19/4 au 8/5/93
Tableau des calculs détaillés de l'évaporation à partir du lit de l'Oued Merguellil

Date	Evap (mm)	S_{bief1} (m^2)	Ve (m^3)	S_{bief2} (m^2)	Ve (m^3)	S_{bief3} (m^2)	Ve (m^3)	S_{bief4} (m^2)	Ve (m^3)	S_{bief5} (m^2)	Ve (m^3)	S_{bief6} (m^2)	Ve (m^3)	Total S ($10^3 m^2$)	Total Ve (m^3)	Débit (l/s)
19-Avr	3.38	38400	130	186000	629	189000	639	99000	335	71400	241	25200	85	609	2058	24
20-Avr	4.05	38400	156	186000	753	132000	535	15540	63	4954	20	0	0	377	1528	18
21-Avr	4.05	38400	156	186000	753	153000	620	44400	180	15960	65	0	0	438	1773	21
22-Avr	4.5	38160	172	185400	834	153000	689	44400	200	15960	72	0	0	431	1968	23
23-Avr	4.5	41400	186	217500	977	139000	851	66000	297	84000	378	46800	211	645	2901	34
24-Avr	4.95	42000	208	219000	1084	213000	1054	91500	453	90300	447	50400	249	708	3436	40
25-Avr	4.88	42000	205	147000	717	106500	520	97000	278	90300	441	50400	246	493	2407	28
26-Avr	4.95	27600	137	111000	549	106500	527	24500	171	0	0	0	0	280	1389	16
27-Avr	4.95	36600	181	181500	898	189000	936	78000	388	12800	62	0	0	498	2464	29
28-Avr	4.88	36600	179	181500	886	189000	922	78000	381	12800	61	0	0	498	2429	28
29-Avr	4.88	36600	179	181500	886	189000	922	78000	381	12800	61	0	0	498	2429	28
30-Avr	4.95	31200	154	168000	832	189000	936	75300	373	8820	44	0	0	472	2338	27
01-Mai	5	26400	132	156000	780	189000	945	82500	413	56700	284	12400	182	541	2713	31
02-Mai	4.5	30000	135	165000	743	189000	951	82500	371	65100	293	39600	178	571	2570	30
03-Mai	4.5	24600	111	151500	682	189000	951	82500	371	65100	293	39600	178	552	2465	29
04-Mai	4.2	33000	139	172500	725	189000	794	82400	347	65100	275	39600	168	582	2443	28
05-Mai	4.6	34800	160	177000	814	189000	809	87000	400	71400	328	39600	182	599	2754	32
06-Mai	4.4	36000	158	219000	964	228000	1003	87000	383	71400	314	39600	178	681	2996	35
07-Mai	5	36000	180	190500	953	199500	998	87000	435	71400	357	39600	198	624	3128	36
08-Mai	4.7	36000	169	217500	1022	226500	1065	87000	409	71400	336	39600	184		3187	37
Total en m3			3225		16482		16524		6625		4371		2214		49442	
Débit en l/s			2		9.5		9.5		4		5		1		29	29

3.7.2 Commentaires

Avec une valeur de 49 442 m³ soit à un débit moyen de 29 l/s, les volumes évaporés ne représentent que 7‰ (7 pour 1000) du volume total entrant dans la plaine équivalent à 6 243 673 m³.

Toutefois, bien que faible du point de vue de son volume global, cette évaporation affectera néanmoins de façon très sensible les écoulements vers les sites avals (sites HMS et HJF et au delà), où l'écoulement attendu serait réduit dans des proportions dépassant 50%, il pourrait même disparaître totalement pour certains débits lâchés; en effet les débits instantanés d'évaporation calculés au pas de temps journalier (cf. tableau précédent) sont du même ordre de grandeur que les débits écoulés.

Une autre cause non négligeable du point de vue de son effet sur l'avancée de l'écoulement est due aux ponctions et dérivations opérées par les riverains et illustrées ci-dessous; cette cause n'a pu être quantifiée avec précision; toutefois, comme elle intervient de façon très sporadique, nous estimons qu'elle ne peut dépasser les 50 l/s en continu; le volume dérivé pendant les 20 jours de lâcher serait donc de 86 400 m³ et nous admettrons faute de précisions supplémentaires que la ponction se fait de façon linéaire sur tout le lit soit une moyenne de $86\,400/30 = 2\,880$ m³/km; chaque bief perdra donc un volume proportionnel à sa longueur.



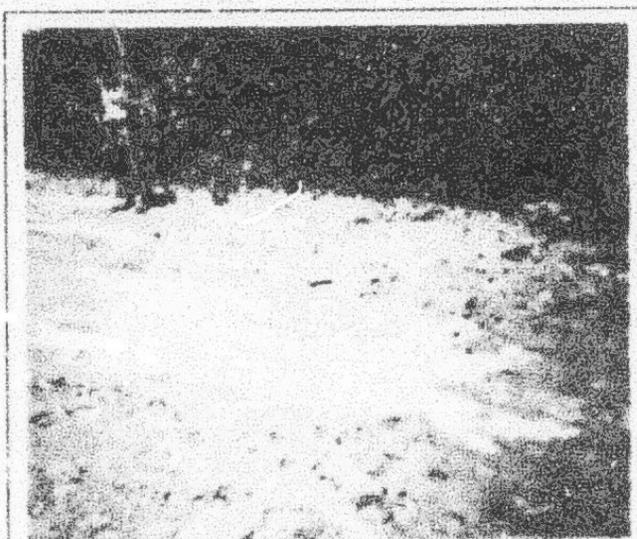
Lâchers du Barrage El Houareb du 19/4 au 8/5/93
Arrêt de l'écoulement par les diguettes de dérivation entre les sites HMS et HJF.
Photo DJRE le 29/4/93

La conjonction de ces deux effets peut soustraire à l'écoulement aux sites avals un débit continu d'environ 100 l/s.

Ces deux effets pourraient être réduits au minimum si les opérations de lâcher s'organisent en période humide, spécialement après qu'une bonne pluie ait arrosée la région;

Toutefois, il ne faut point négliger les avantages immédiats liés aux soutirages faits par les agriculteurs et irriguant des cultures en pleine période végétative.

La photo ci-dessous illustre l'avancée de l'écoulement en aval du site HJF.



Lâchers du Barrage El Houareb du 19/4 au 8/5/93
Arrivée de l'écoulement vers le site HJF à 24 km en aval du barrage
Photo DJRE du 29/4/93

3.7.3 Les résultats

Partant des calculs précédents, et en désignant par

- vi: volume entrant dans chaque bief
- vs: volume sortant de chaque bief
- vv: volume perdu par évaporation à partir de la surface inondée de chaque bief
- vd: volume dérivé à partir du bief
- va: volume absorbé dans le lit du bief

il est possible de dresser, au niveau de chaque bief, le bilan global des volumes d'eau en m³ comme suit:

Lâchers du Barrage El Houareb du 19/4 au 8 5/93							
Répartition des volumes en m3 par bief							
	Bief 1	Bief 2	Bief 3	Bief 4	Bief 5	Bief 6	Total
vi	6243673	5998931	3584500	1170068	409379	138053	-
vs	5998931	3584500	1170068	409379	138053	0	-
vv	3225	16482	16524	6625	4371	2216	49443
vt	5760	14400	14400	14400	20160	17280	86400
va	235 757	2383549	2383508	739664	246795	118557	6107830

Ainsi, compte tenu de toutes les considérations précédentes; le Bilan global de l'opération de recharge s'établit comme suit:

Volume total disponible à l'entrée de la plaine:

$$V_d = 6\ 243\ 673\ m^3$$

dont : $V_b = 5\ 588\ 113\ m^3$ provenant du barrage
et $V_{em} = 655\ 560\ m^3$ dus à l'émergence:

Volume évaporé

$$V_{ev} = 49\ 442\ m^3$$

Volume dérivé par les riverains

ce volume a été estimé à

$$86\ 400\ m^3/s$$

Il s'en suit un volume absorbé dans les alluvions du lit de :

$$V_a = 6\ 243\ 673 - 49\ 442 - 86\ 400\ m^3\ \text{soit:}$$

$$V_a = 6\ 107\ 831\ m^3$$

Le tableau ci-dessous met en évidence la prépondérance des volumes absorbés dans les alluvions qui vont imbibier le réservoir sol jusqu'à concurrence de la saturation puis percoler vers la nappe; les paragraphes ci-dessous préciseront la part parvenue réellement dans la nappe et constituant la réserve mobilisable.

Lâchers du Barrage El Houareb du 19/4 au 5 5/93	
Répartition globale des volumes lâchés	
Volume lâché du Barrage	5 588 113 m3
Volume issu de l'émergence	655 560 m3
Volume total mis en jeu	6 243 673 m3
Volume évaporé	49 442 m3
Volume dérivé	86 400 m3
Volume absorbé par les alluvions	6 107 831 m3

3.7.4 Confrontation avec les observations au barrage.

Pendant la même période le bilan des lâchers du barrage donne les valeurs suivante:

$$\text{Volume lâché} = 5\ 295\ 000\ m^3$$

$$\text{Hauteur d'évaporation totale : } 91\ 8\ mm$$

$$\text{Volume évaporé à partir de la retenue} =$$

$$V_{ev} = 418\ 836\ m^3$$

La superficie inondée dans la retenue est passée de 494.36 ha le 19/4/93 à 414.00 ha le 8 Mai 1993, soit une superficie exondée de 80.36 ha.

la comparaison du volume théoriquement lâché du barrage avec la valeur estimée de 5 588 113 m3 fait apparaître une différence de 5% valeur très réduite si on la compare aux incertitudes de mesure ainsi qu'à celle de l'étalonnage des vannes.

3.8 Transports en solution et en suspension

- matières dissoutes

L'analyse des échantillons prélevés lors des mesures a permis de définir le résidu sec traduisant le taux en g/l des matières dissoutes; aux points de mesures sélectionnés retenus, il a été rajouté un point de prélèvement au droit de la sortie des vannes pour l'observation de la qualité des eaux sortant du Barrage; à ce site dénommé BGE ont été mesurées les valeurs suivantes

le 26/4/93 à 16.25	Rs = 1.84 g/l
le 1/5/93 à 8.45	Rs = 1.93 g/l
le 4/5/93 à 17.00	Rs = 1.93 g/l
le 7/5/93 à 11.10	Rs = 1.93 g/l

Le report des résultats acquis aux différents sites sur le graphique ci-dessous a permis de constater que tout en étant comprises dans la fourchette 1.75 - 2.10 g/l les valeurs ont d'abord accusé une remontée pour se stabiliser autour de 2 g/l à partir du 28 Avril, soit une valeur très voisine de la valeur de 1.93 g/l observée à la sortie des vannes.

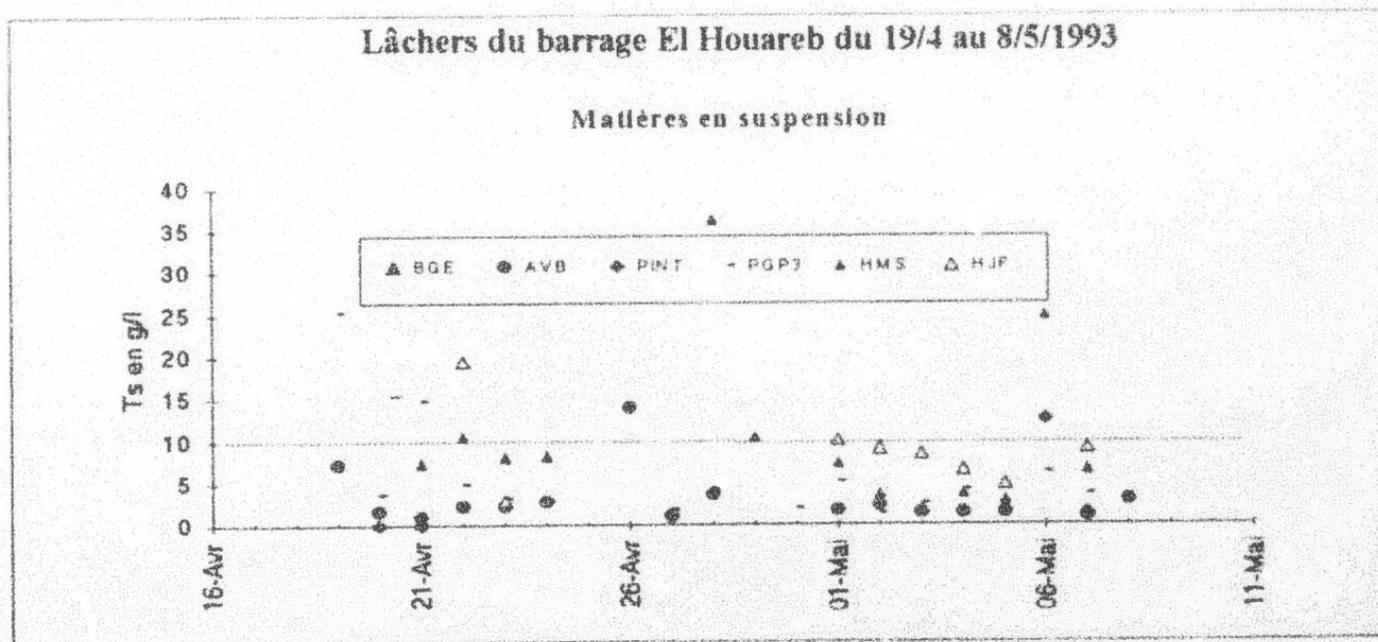
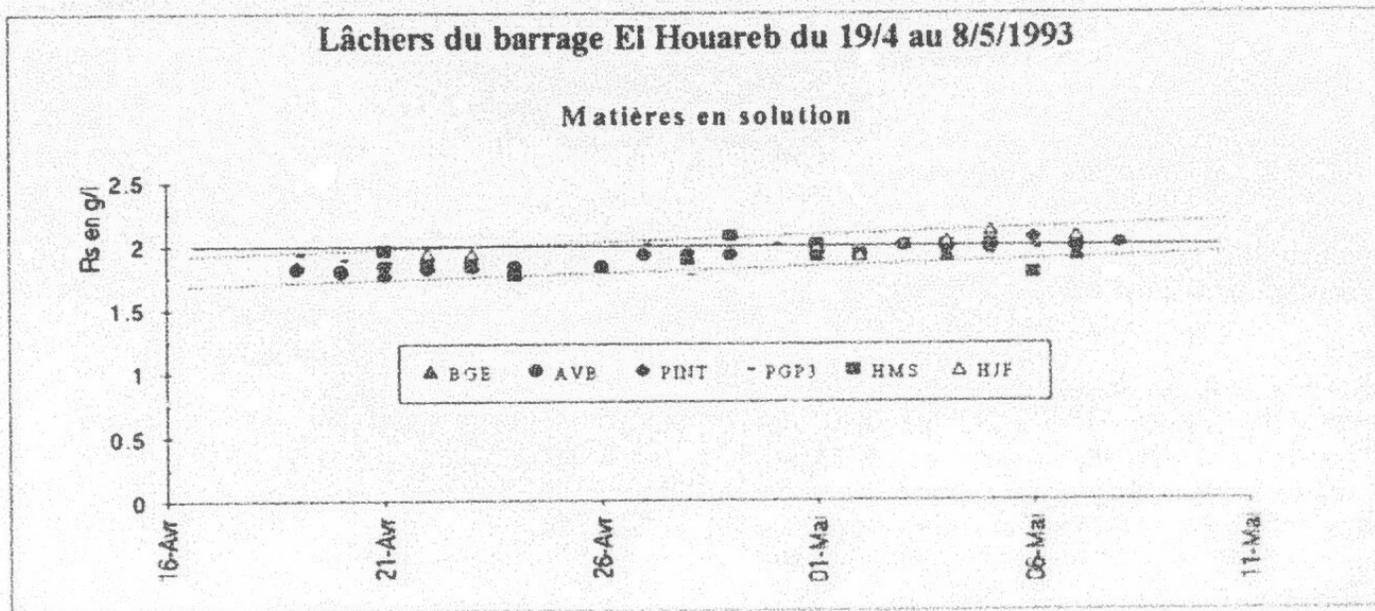
On peut donc avancer que, pour la gamme des débits lâchés, la circulation le long des biefs observés ne modifie pas la teneur en solution de l'eau véhiculée.

- matières en suspension

Quand aux valeurs de la turbidité, les valeurs mesurées confirment les constats visuels d'une eau relativement peu turbide, l'eau est claire à la sortie des vannes; et le devient de mois en moins le long du lit; la majeure partie des valeurs observées se situe au dessous de 10 g/l; en regardant de près le graphique ci-dessous, et en joignant les points d'un même site, il apparaît que la courbe obtenu pour le site HJF et la plus élevée elle enveloppe successivement celle des sites HMS PGP3 et AVB; pour la période allant du 30 Avril au 5 Mai, l'allure des courbes permet d'attribuer aux différents sites les valeurs suivantes:

Site AVB : $T_s = 2.5 \text{ g/l}$ Site PGP3 : $T_s = 4 \text{ g/l}$
 Site HMS : $T_s = 5 \text{ g/l}$ Site HJF : $T_s = 7 \text{ g/l}$

Il y a lieu de conclure pour cette opération que les eaux lâchées sont très peu chargées en sédiments et que le transport sur toute la longueur du lit est très réduit et ne concerne que des particules très fines provenant des sapements localisés des berges, ou des affouillements provoqués par les riverains lorsqu'ils élèvent leurs diguettes de dérivations à travers le lit.



IV. REACTION DE LA NAPPE

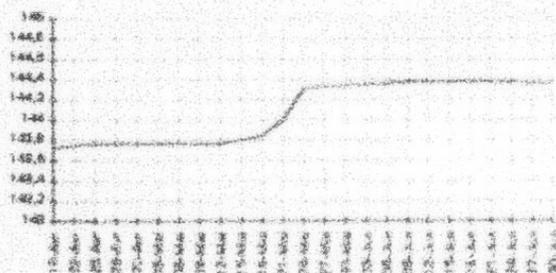
Comme signalé plus haut le suivi de l'évolution des niveaux de la nappe est assuré par un réseau de 21 piézomètres dont 6 sont équipés de limnigraphes: M21, M22, P1, A, M17 et E.

Le dépouillement des limnigrammes montre que le piézomètre M21, se trouvant à 550 m environ de la berge droite et sur une direction perpendiculaire à l'oued Merguellil (voir carte de situation en 2.1), n'a réagi que le 10 Mai 1993 à 22h, soit après 22 jours du début l'opération de recharge. La remontée s'est poursuivie jusqu'au mois de juillet avec une dénivellation totale de 64 cm soit une remontée moyenne d'environ 0.77 cm/j.

Le graphique ci-dessous illustre l'évolution des niveaux piézométrique de la nappe qui s'est faite comme suit:

- remontée rapide du 10 Mai au 7 Juin.
- palier à partir du 8 juin au 26 Juin
- décroissance très atténuée jusqu'à fin août

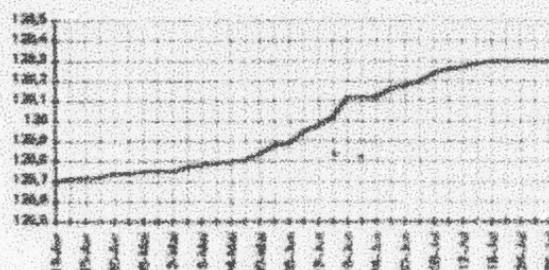
Evolution piézométrique - M21



Le calcul de la vitesse de propagation horizontale souterraine sur la direction liant le piézomètre M21 et le point le plus proche sur l'oued Merguellil est de l'ordre de 1.07 m/h soit 3.10^{-4} m/s.

Le piézomètre M22 situé à 750 m de la rive droite du lit de l'oued Merguellil n'a réagi que le 24 Mai 1993 à 8h soit après 36 jours du début de l'opération. Comme illustré par le graphique ci-dessous, la remontée a été la plus accentuée du 30 Mai au 12 Juillet 1993; au delà l'évolution du niveau piézométrique a atteint un palier presque horizontal.

Evolution piézométrique - M22



La remontée totale observée à la fin du mois de juillet est de 60 cm soit une fluctuation moyenne d'environ 0.88 cm/j. La vitesse de propagation horizontale calculée sur le limnigramme M22 est de l'ordre de $2.5.10^{-4}$ m/s.

Si on considère une perméabilité moyenne d'environ 10^{-7} m/s, l'onde de recharge se trouvant actuellement au niveau du pont GP3, à 12 km du Barrage, n'atteindrait Bir Atallah à 18 km en aval, qu'après une durée de 69 mois, ce qui est compatible avec la durée de 40 mois marquée par la propagation de l'écoulement souterrain dû à l'effet de l'émergence sur une dizaine de km, entre l'aval du Barrage et le pont GP3.

Cependant, avec une granulométrie de plus en plus fine de l'amont vers l'aval, donc une perméabilité de plus en plus faible, la durée de propagation serait plus longue; par conséquent, en absence de fortes crues dans l'oued Merguellil et de grands déversements et avec le maintien des conditions actuelles de recharge de la nappe, l'amélioration de la situation piézométrique à l'aval n'est pas pour bientôt.

V. ESTIMATION DES APPORTS

5.1 Méthode des fluctuations piézométriques

Le volume infiltré a été estimé à partir de la carte des courbes d'iso-remontées établies entre le mois d'Avril et Juillet 1993. Le planimétrage des différentes lages d'égales remontées (voir figure ci-dessous), a permis l'évaluation du volume de terrain saturé à environ 25.37 Mm^3 . Ainsi, si on applique un coefficient d'emmagasinement de 12%, déduit des essais hydrodynamiques effectués sur les forages existants, le volume d'eau ayant rejoint la nappe serait de 3.04 Mm^3 .

IV. REACTION DE LA NAPPE

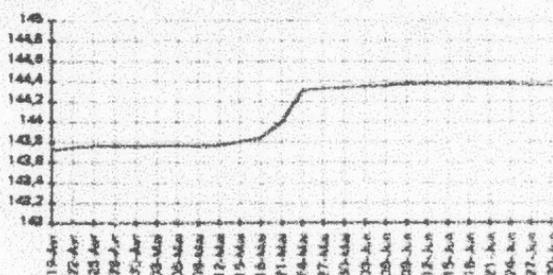
Comme signalé plus haut le suivi de l'évolution des niveaux de la nappe est assuré par un réseau de 21 piézomètres dont 6 sont équipés de limnigraphes: M21, M22, P1, A, M17 et E.

Le dépouillement des limnigrammes montre que le piézomètre M21, se trouvant à 550 m environ de la berge droite et sur une direction perpendiculaire à l'oued Merguellil (voir carte de situation en 2.1), n'a réagi que le 10 Mai 1993 à 22h, soit après 22 jours du début l'opération de recharge. La remontée s'est poursuivie jusqu'au mois de juillet avec une dénivellation totale de 64 cm soit une remontée moyenne d'environ 0.77 cm/j.

Le graphique ci-dessous illustre l'évolution des niveaux piézométrique de la nappe qui s'est faite comme suit:

- remontée rapide du 10 Mai au 7 Juin.
- palier à partir du 8 juin au 26 Juin
- décroissance très atténuée jusqu'à fin août

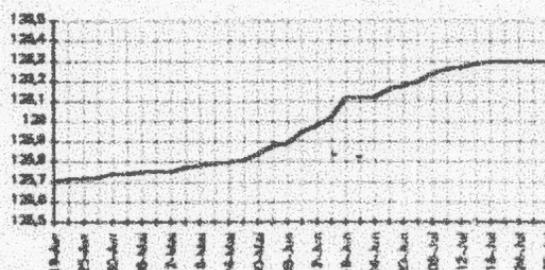
Evolution piézométrique - M21



Le calcul de la vitesse de propagation horizontale souterraine sur la direction liant le piézomètre M21 et le point le plus proche sur l'oued Merguellil est de l'ordre de 1.07 m/h soit $3 \cdot 10^{-4}$ m/s.

Le piézomètre M22 situé à 750 m de la rive droite du lit de l'oued Merguellil n'a réagi que le 24 Mai 1993 à 8h soit après 36 jours du début de l'opération. Comme illustré par le graphique ci-dessous, la remontée a été la plus accentuée du 30 Mai au 12 Juillet 1993; au delà l'évolution du niveau piézométrique a atteint un palier presque horizontal.

Evolution piézométrique M22



La remontée totale observée à la fin du mois de Juillet est de 60 cm soit une fluctuation moyenne d'environ 0.88 cm/j. La vitesse de propagation horizontale calculée sur le limnigramme M22 est de l'ordre de $2.5 \cdot 10^{-4}$ m/s.

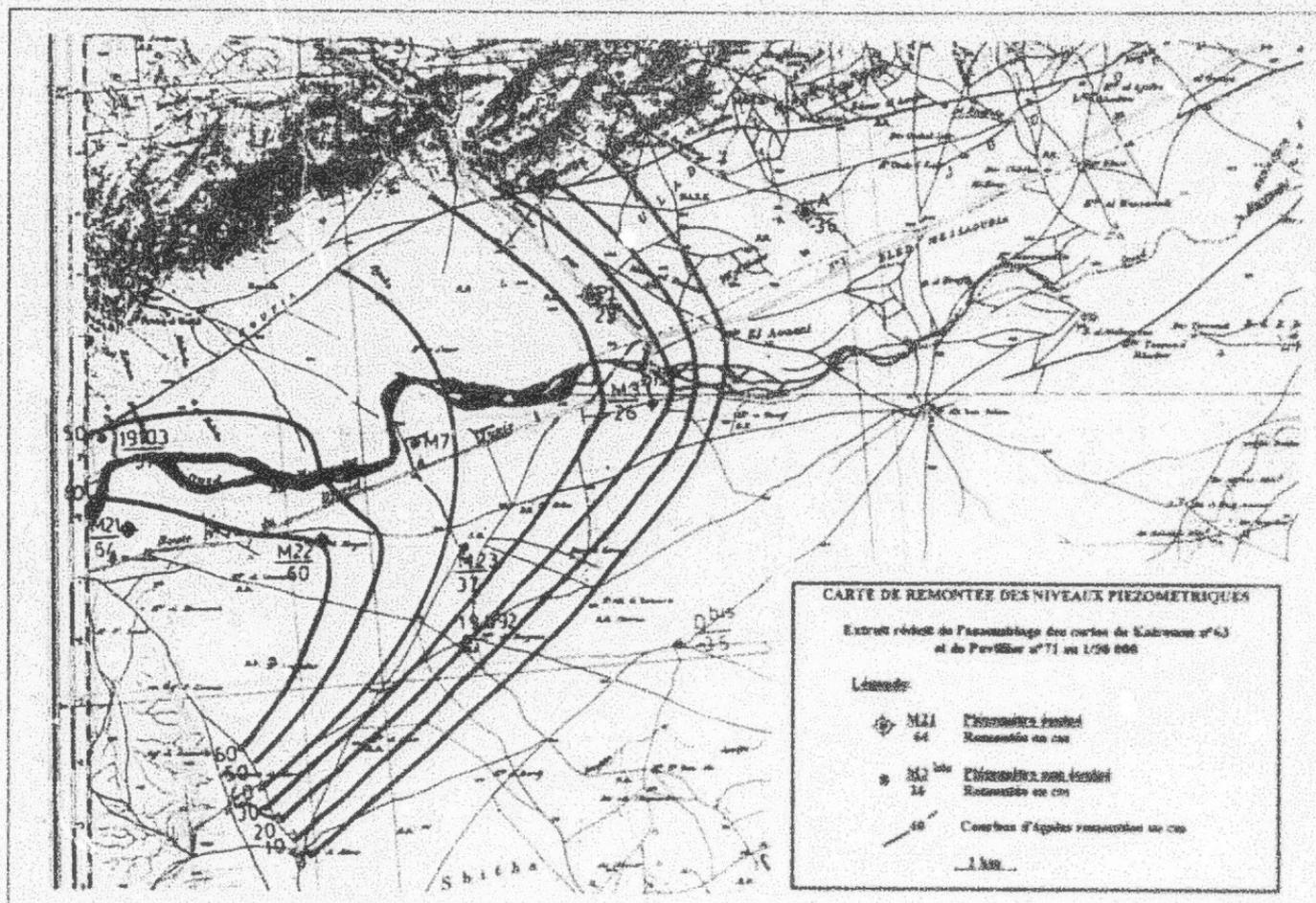
Si on considère une perméabilité moyenne d'environ 10^{-7} m/s, l'onde de recharge se trouvant actuellement au niveau du pont GP3, à 12 km du Barrage, n'atteindrait Bir Atallah à 18 km en aval, qu'après une durée de 69 mois, ce qui est compatible avec la durée de 40 mois marquée par la propagation de l'écoulement souterrain dû à l'effet de l'émergence sur une dizaine de km, entre l'aval du Barrage et le pont GP3.

Cependant, avec une granulométrie de plus en plus fine de l'amont vers l'aval, donc une perméabilité de plus en plus faible, la durée de propagation serait plus longue; par conséquent, en absence de fortes crues dans l'oued Merguellil et de grands déversements et avec le maintien des conditions actuelles de recharge de la nappe, l'amélioration de la situation piézométrique à l'aval n'est pas pour bientôt.

V. ESTIMATION DES APPORTS

5.1 Méthode des fluctuations piézométriques

Le volume infiltré a été estimé à partir de la carte des courbes d'iso-remontées établies entre le mois d'Avril et Juillet 1993. Le planimétrage des différentes plages d'égales remontées (voir figure ci-dessous), a permis l'évaluation du volume de terrain saturé à environ 25.37 Mm^3 . Ainsi, si on applique un coefficient d'emmagasinement de 12%, déduit des essais hydrodynamiques effectués sur les forages existants, le volume d'eau ayant rejoint la nappe serait de 3.04 Mm^3 .



Le tableau ci-dessous donne les différentes étapes des calculs effectués:

plage(cm)	H (m)	S(km ²)	Vs (Mm ³)	Vi (Mm ³)
0 - 10	0.05	5.4	0.27	0.03
10 - 20	0.15	6.4	0.96	0.12
20 - 30	0.25	8.7	2.18	0.26
30 - 40	0.35	14.3	5.0	0.60
40 - 50	0.45	14.3	6.44	0.77
50 - 60	0.55	9.1	5.0	0.60
> 60	0.62	8.9	5.52	0.66
Total	-	67.1	25.37	3.04

Avec

H: remontée moyenne en m,

S: superficie en km²,

Vs: volume de terrain saturé en Mm³,

Vi: volume infiltré en Mm³.

A ce volume calculé, devrait s'ajouter le volume exhauré pendant la même période, par pompage des puits de surface de la nappe phréatique et des forages de la nappe profonde qui sont situés sur

une bande qui s'étend sur 3 km de part et d'autre du lit de l'oued. Ce volume est estimé à environ 1.79Mm³ (voir répartition dans le tableau ci-dessous)

Mois	Mai	Juin	Juillet	Total
Enph(Mm ³)	0.05	0.08	0.02	0.15
Enpr(Mm ³)	0.41	0.98	0.25	1.64
Total(Mm ³)	0.46	1.06	0.27	1.79

avec:

- Enph: exploitation de la nappe phréatique en Mm³
- Enpr: exploitation de la nappe profonde en Mm³.

Il s'en suit un volume total infiltré de

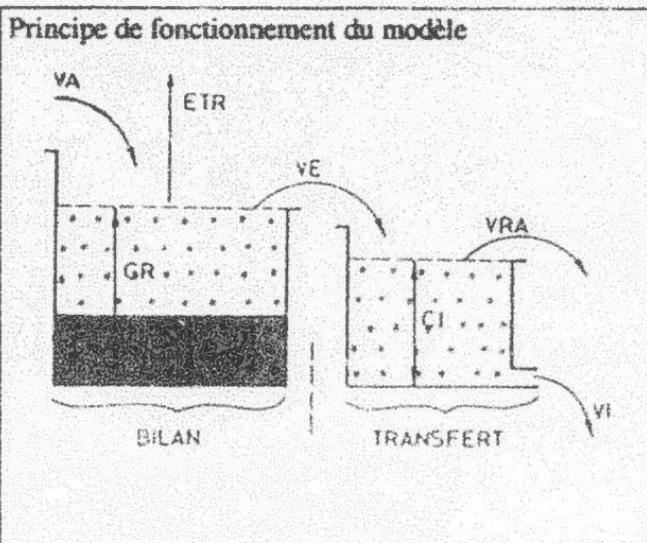
$$Vi = 3.04 + 1.79 \text{ soit } Vi = 4.83 \text{ Mm}^3$$

Ceci représente une proportion du volume lâché de $4.83/6.243 = 0.77$ soit 77 %

5.2 Calcul des apports à l'aide d'un modèle d'infiltration efficace

5.2.1 Principe du modèle

Le modèle maillé d'infiltration efficace est assimilé à une fonction de production représentant la maille dans le lit de l'oued et comprenant un réservoir de bilan et un réservoir de transfert qui sont disposés en série. Cette fonction permet la répartition du débit lâché entre l'infiltration, le stockage dans le réservoir sol, l'évapotranspiration et le ruissellement à l'aval.



Le lit de l'oued est découpé en mailles rectangulaires dont la longueur ne dépasse pas 1 km et la largeur varie en fonction du débit qui s'écoule dans chaque maille. Le tronçon préférentiel d'alimentation de la nappe s'étend jusqu'à henchrif jefna, soit sur une distance de 24 km. Ainsi le modèle comprend au plus 24 mailles de calcul.

5.2.2 Fonction débit-aire inondée

L'un des objectifs de cette opération est de trouver la fonction débit-aire inondée du lit de l'oued :

- $A = lon \cdot lar$, avec :
 - lar = largeur en m,
 - lon = longueur en m,
 - A = aire inondée et
 - Q = débit en m^3/s .

Au cours des opérations de jaugeage plusieurs mesures de longueur de propagation et de largeur des sections mouillées ont été relevées. Le tableau ci-après donne les débits mesurés au point Aval Barrage et les longueurs de propagation correspondantes à partir de ce point.

Q m^3/s	0.226	1.99	3.361	4.020	5.019	6.018
Lon. km	4	10.1	16	24	26	28

L'ajustement de fonctions analytiques aux relations liant les dimensions des biefs aux débits a permis d'établir les fonctions suivantes :

- $Q \leq 0.2$: $Lon = 18 \cdot Q$
- $0.2 < Q \leq 2$: $Lon = 3.5 \cdot Q + 3$
- $2 < Q \leq 3$: $Lon = 1.5 \cdot Q + 7$
- $3 < Q \leq 4$: $Lon = 12 \cdot Q - 25$
- $Q > 4$: $Lon = 2 \cdot Q + 16$

- $Q \leq 2$: $lar = 18.3 \cdot Q$
- $2 < Q \leq 3$: $lar = 11.5 \cdot Q + 13.5$
- $Q > 3$: $lar = 48$ m

avec : $lar < 25$ m en amont du site AVB.

5.2.3 Ajustement du modèle

L'application de ce modèle au lit de l'oued Merguillil nécessite l'ajustement des paramètres suivants :

- Vitesse d'infiltration maximale sur l'oued : K
- Niveau de débordement du réservoir sol : RFU
- Etat du stock en eau dans le réservoir sol : R

L'adaptation de ce modèle aux résultats d'observation a permis d'établir les valeurs suivantes :

Bief 1	$K = 400$ mm/j
Bief 2	$K = 480$ mm/j
Bief 3	$K = 480$ mm/j
Bief 4	$K = 450$ mm/j
Bief 5	$K = 360$ mm/j

Pour tous les biefs les valeurs de RFU et R ont été fixées comme suit :

$$RFU = 200 \text{ mm/j}; R = 200 \text{ mm}$$

5.2.4 Résultats du modèle

Les différents résultats du modèle sont résumés dans les tableaux suivants dans lesquels :

Durée	: Durée du lâcher
Q_l	: Débit lâché en m^3/s
Q_{avb}	: Débit calculée au site aval barrage
V_l	: Volume total lâché ($B_{ge} + E_{mg}$)
V_{avb}	: Volume au site avb
V_i	: Volume infiltré

Vi/Vi Volume infiltre en % du volume lâché
 Vhjf Volume ruisselé en aval du site Henchir Jefna

Durée H	Ql	Qavb	Vi	Vavb	Vi	Vi/Vi %	Vhjf	ETP
6	15.3	14.55	0.330	0.314	0.102	31	0.019	0.005
22	2.3	1.92	0.182	0.152	0.122	67	0.004	0.002
22	3.7	3.12	0.293	0.263	0.197	67	0.008	0.003
22	4.4	4.02	0.348	0.318	0.233	67	0.011	0.003
22	5.4	5.02	0.428	0.397	0.285	67	0.016	0.004
22	6.4	6.02	0.507	0.477	0.333	66	0.024	0.005
93	4.0	3.26	1.339	1.248	1.089	81	0.103	0.016
192	4.5	4.26	3.110	2.938	2.397	83	0.337	0.038
Total	-	-	6.537	6.107	4.948	76	0.522	0.076

Il découle de ce tableau que pour toute la gamme des débits testés, plus des deux tiers des volumes lâchés se sont infiltrés sur le tronçon Barrage - Henchir jefna, on retiendra que sur un volume total reconstitué par le modèle de **6.537 Mm³** lâchés, **4.948 Mm³** ont rejoint la nappe soit une proportion de **76 %**, ce résultat est comparable à celui issu de la méthode des fluctuations piézométriques qui donne

un volume infiltre de **4.83 Mm³** représentant **77 %** des volumes réellement lâchés de **6.243 Mm³** les résultats du modèle montrent que le taux d'infiltration peut dépasser les **80%** lorsqu'on pratique des lâchers continus pendant plusieurs jours

Quant aux débits d'écoulement observés et calculés par le modèle, la comparaison consignée dans le tableau ci-dessous permet de conclure qu'un débit d'environ **4 m³/s** assure un écoulement continu sur tout le tronçon préférentiel en laissant s'échapper un débit négligeable vers l'aval.

D'autres parts, les écarts qui existent dans certains cas, entre les valeurs mesurées et celles calculées par le modèle, peuvent être expliqués comme signalé plus haut par les multiples dériviatives des écoulements constatées lors du déroulement des opérations.

Durée H	Ql (m ³ /s)		QAVB(m ³ /s)		QPGP3(m ³ /s)		QHMS(m ³ /s)		QHIF(m ³ /s)	
	lâché	ajust.	obser	calc.	obser	calc.	obser	calc.	obser	calc.
6	15.4	15.3	14.51	14.55	5.540	5.560	3.630	3.277	0.955	0.887
22	1.3	2.3	1.990	1.917	0.018	0.341	0.000	0.150	0.000	0.056
22	2.4	3.7	3.361	3.317	0.341	0.386	0.018	0.257	0.000	0.096
22	3.4	4.4	4.020	4.017	0.911	0.816	0.388	0.359	0.048	0.134
22	4.4	5.4	5.019	5.017	1.322	1.195	0.707	0.525	0.258	0.197
22	5.4	6.4	6.018	6.017	1.283	1.856	0.714	0.815	0.339	0.305
93	3.4	4.0	3.711	3.265	0.812	0.995	0.073	0.524	0.000	0.289
192	4.4	4.5	4.421	4.265	1.312	1.643	0.503	0.988	0.150	0.561

VI. PERSPECTIVES POUR UNE GESTION COMBINÉE DES DEUX BARRAGES AVEC LA NAPPE DE KAIROUAN

6.1 Contexte hydrologique

La nappe de kairouan doit son existence au puissant réseau hydrographique de surface dont les composants essentiels à savoir les Oueds Zeroud et Merguellil drainent jusqu'à l'entrée de la plaine de Kairouan des bassins de plus de 10 000 Km² allant de la frontière Turiso-Algérienne à l'Ouest aux contreforts de la Dorsale Tunisienne au Nord et s'étalant sur les basses steppes vers l'Est; ces bassins englobent des régions à pluviométrie dépassant les 400 mm/an tels les hauts Bassins du Merguellil et du Hathob; la nature orageuse des pluies offre aussi un avantage supplémentaire pour la génération de ruissellement immédiat et son transfert rapide jusque dans la plaine de Kairouan qui renferme le système aquifère du même nom, la nature des sols constitués d'alluvions de granulométrie adéquate pour une

infiltration rapide est un autre atout favorable pour l'alimentation de la nappe.

Des études préalables ont mis en évidence:

- La parfaite similitude de l'hydraulique des bassins des Oueds Zeroud et Merguellil avec la pluviométrie dans la région.
- L'impact direct des écoulements de ces deux oueds sur les réserves de la nappe de Kairouan

A moins d'inondations généralisées sur toute l'étendue de la plaine, phénomène assez rare et bien illustré par les inondations dues aux fameuses crues de 1969, l'alimentation de la nappe de Kairouan se fait essentiellement à travers les lits sablonneux des oueds Zeroud et Merguellil, après la construction des deux barrages de Sidi Saad et El Houareb, l'alimentation de la nappe ne se fera plus qu'à travers les lits des oueds et sera totalement commandée; ce qui offre des avantages évidents pour l'intensification de la

Références Bibliographiques

1. Monographie hydrologique des Oueds Zeroud et Merguellil: S. BOUZAIANE, A. LAFFORGUE; DGRE 1986
 2. Recharge de la nappe de Kairouan par les lâchers du barrage de Sidi Sâad S. BOUZAIANE, M JERIDI, M. AYACHI . Note int; DGRE Tunis 1988
 3. Ressources en eau de Tunisie N°11- DGRE, 1990
 4. Note sur la modélisation de l'infiltration efficace dans le lit de l'oued Zéroud à partir des lâchers du barrage de sidi Sâad. Note int. H. CHAIEB. DGRE, 1990
 5. Simulation de l'infiltration des crues de l'année hydrologique 1989-1990 dans la plaine de Kairouan: H. CHAIEB, F. MAALEL ; DGRE Juin 1992
-

ANNEXES

Tableaux récapitulatifs des mesures effectuées

Débits mesurés au site Aval barrage

Date	Débit lâché (m ³ /s)	Débit mesuré (m ³ /s)	Largeur (m)	Débit retenu (m ³ /s)	RS (g/l)	TS (g/l)	Observations
19/4 17:15	15	13.524	22.0	14.513	1.820	7.20	Apparition de l'écoulement à 14h
19/4 17:32		14.352			1.780	6.40	
19/4 18:05		14.283			1.860	4.30	
19/4 18:30		14.90					
20/4 08:45	1	1.670		1.990	1.810	1.70	
20/4 10:25		1.910					
20/4 12:00		1.960					
20/4 13:10		2.100					
21/4 08:40	2	3.120		3.361	1.840	1.00	
21/4 11:15		3.300					
21/4 12:20		3.330					
21/4 14:00		3.675					
22/4 08:55	3	4.215	21.8	4.020			
22/4 09:45		4.024	21.8				
22/4 10:00		4.033	21.8				
22/4 10:35		3.799	21.8		1.810	2.20	
22/4 13:45		3.939	21.8				
23/4 09:56	4	4.960	24.5	5.019			
23/4 10:05		5.149	24.5				
23/4 11:45		4.795	24.5				
23/4 13:00		5.171	24.5		1.830	2.20	
24/4 08:30	5	5.920	25.0	6.018			
24/4 09:30		6.079	25.0		1.840	9.50	
24/4 10:30		6.054	25.0		1.990	2.77	Analyse complète
25/4 12:00		0.000		0.000			pas de lâcher
26/4 16:00 ***		0.000		0.913			pas de lâcher jusqu'à 14h
26/4 17:15	3	1.825	13.0	3.200	1.840	14.00	
27/4 12:00		3.457	20.5	3.395	1.930	1.10	
27/4 13:15		3.343					
27/4 14:40		3.386					
28/4 11:45		3.887	20.5	3.640	1.930	0.89	
28/4 13:40		3.393			1.790	3.60	
29/4 14:50		3.711		3.711	1.930	0.40	
30/4 11:00		3.766		4.11 ^a			
30/4 13:05	4	4.327					début des lâchers de 4 m ³ /s à 11:10
30/4 15:00		4.263					
01/5 09:20		4.456		4.350	1.930	1.70	
01/5 14:20		4.243					
02/5 11:35		4.126		4.421	1.930	2.30	
02/5 13:15		4.716					
03/5 10:30	4	3.939		3.976	2.000	1.40	
03/5 12:00		4.174					
03/5 14:45		3.815					
04/5 10:30		4.327		4.206	1.970	1.40	
04/5 11:55		4.085					
05/5 11:20		4.507		4.412	1.970	1.40	
05/5 14:40		4.317					
06/5 13:10		4.125		4.125			
07/5 11:04		4.176		4.184			
07/5 16:35		4.191			2.010	1.10	
08/5 10:35		4.092		3.980	2.010	1.20	
08/5 12:05		3.868					

Débits mesurés au site Emergence

Date	Débit lâché (m ³ /s)	Débit mesure (m ³ /s)	Largeur (m)	Débit retenu (m ³ /s)	RS (g/l)	TS (g/l)	Observations
26/4 16:25	3	0.323	1.7		1.840	Néant	
27/4 15:5		0.336	1.8				
28/4 11:05		0.381	1.7				
29/4 15:05		0.396	1.8				
30/4 14:20		0.396	1.6				
01/5 08:45		0.393	1.6		1.930		
02/5 12:20		0.408	1.6				
03/5 09:50	4	0.438	1.6				
04/5 17:00		0.398	1.6		1.93		
05/5 10:30		0.418	1.6				
06/5 11:15		0.388	1.6				
07/5 11:10		0.396	1.6		1.93		
08/5 09:55		0.379	1.6				

Débits mesurés au site Point Intermédiaire

Date	Débit lâché (m ³ /s)	Débit mesuré (m ³ /s)	Largeur (m)	Débit retenu (m ³ /s)	RS (g/l)	TS (g/l)	Observations
19/4 16:30	15	8.231		8.231			
20/4 08:51	1	0.724		0.734	1.79		
20/4 11:00		0.768			1.82		
20/4 13:20		0.710					
21/4 00:00	2	1.509		1.629			
21/4 11:15		1.714					
21/4 12:00		1.590					
21/4 13:55		1.706					
22/4 09:00	3	2.166	40.00	2.333			
22/4 10:50		2.357					
22/4 13:35		2.478					
23/4 09:00	4	2.995	48.00	3.398			
23/4 10:00		3.312					
23/4 11:05		3.886					
24/4 08:50	5	4.450	48.00	4.343			
24/4 10:50		4.373					
24/4 12:50		4.208					
25/4 00:00	0						pas de mesure à ce site
26/4 00:00	6						pas de mesures
26/4 14:00	3						pas de mesures
30/4 00:00	3						pas de mesures
30/4 11:10	4						
06/5 16:15	4	4.529		4.529	2.06		
07/5 15:50	4	4.092		4.092	1.97	1.2	
08/5 11:20	4	4.260		4.260			

Débits mesurés au site Point Intermédiaire

Date	Débit lâché (m ³ /s)	Débit mesuré (m ³ /s)	Largeur (m)	Débit retenu (m ³ /s)	RS (g/l)	TS (g/l)	Observations
19/4 16:30	15	8.231		8.231			
20/4 08:51	1	0.724		0.734	1.79		
20/4 11:00		0.768			1.82		
20/4 13:20		0.710					
21/4 00:00	2	1.509		1.629			
21/4 11:15		1.714					
21/4 12:00		1.590					
21/4 13:55		1.706					
22/4 09:00	3	2.166	40.00	2.333			
22/4 10:50		2.357					
22/4 13:35		2.478					
23/4 09:00	4	2.995	48.00	3.398			
23/4 10:00		3.312					
23/4 11:05		3.886					
24/4 08:50	5	4.450	48.00	4.343			
24/4 10:50		4.373					
24/4 12:50		4.208					
25/4 00:00	0						pas de mesure à ce site
26/4 00:00	6						pas de mesures
26/4 14:00	3						pas de mesures
30/4 00:00	3						pas de mesures
30/4 11:10	4						
06/5 16:15	4	4.529		4.529	2.06		
07/5 15:50	4	4.092		4.092	1.97	1.2	
08/5 11:20	4	4.260		4.260			

Débits mesurés au site Pont GP3

Date	Débit lâché (m ³ /s)	Débit mesuré (m ³ /s)	Largeur (m)	Débit retenu (m ³ /s)	RS (g/l)	TS	Observations
19/4 19:15	15	5.540		5.540	1.930	25.20	Apparition de l'écoulement à 19h15
20/4 13:15	1	0.003			1.860	1.00	Dérivation de l'eau par les agric
20/4 14:30		0.015		0.018	1.890	3.70	à 3km en amont du pont:
20/4 14:50		0.018					
20/4 15:05		0.023					
20/4 15:30		0.014					
20/4 16:30		0.004					à 16 h 50 l'oued est tombé à sec
21/4 13:45	2	0.330		0.341			
21/4 14:10		0.338			1.880	14.80	
21/4 14:45		0.366					
21/4 15:00		0.330					
22/4 09:10	3	0.800	10.00	0.911	1.810	4.80	
22/4 10:45		0.937			1.910	3.40	
22/4 11:30		0.920					
22/4 11:55		0.985					
23/4 13:55	4	1.612	23.00	1.322	1.820	3.20	
23/4 14:30		1.032					
24/4 08:25	5	1.700		1.283	1.750	3.00	
24/4 09:50		1.400					
24/4 10:30		1.010					
24/4 10:55		1.020					
25/4 10:00		0		0.000			Pas de lâcher valeur estimée
26/4 23:59		0		0.000			Pas de lâcher valeur estimée
27/4 16:25	3	0.550	13.50	0.550	2.010	1.80	
28/4 10:15		0.959	14.00	0.812	1.770	4.40	
28/4 11:00		0.665	14.00				
29/4 16:30		0.441		0.441			
30/4 10:15		0.500		0.544			
30/4 11:45		0.517					
30/4 15:00		0.615			2.010	2.00	
01/5 10:05	4	1.051		0.931	1.930	5.20	
01/5 13:45		0.811					
02/5 10:15		1.017		0.908	1.930	1.30	
02/5 14:00		0.798					
03/5 13:10		0.615		0.645	2.040	2.50	
03/5 15:10		0.674					
04/5 10:00		0.632		0.623	1.970	4.10	
04/5 12:50		0.613					
05/5 12:30		0.820		0.753			
05/5 13:25		0.685					
06/5 14:40		1.312		1.312	1.970	6.20	crue sur le chérichéra
07/5 12:40		0.764		0.760			
07/5 15:10		0.756		0.753	2.000	3.70	
08/5 11:00		0.827		0.753			
08/5 13:35		0.679					

Débits mesurés au site Pont GP3

Date	Débit lâché (m3/s)	Débit mesuré (m3/s)	Largeur (m)	Débit retenu (m3/s)	RS (g/l)	TS	Observations
19/4 19:15	15	5.540		5.540	1.930	25.20	Apparition de l'écoulement à 19h15
20/4 13:15	1	0.003			1.860	1.00	Dérivation de l'eau par les agric
20/4 14:30		0.015		0.018	1.890	3.70	à 3km en amont du pont:
20/4 14:50		0.018					
20/4 15:05		0.023					
20/4 15:30		0.014					
20/4 16:30		0.004					à 16 h 50 l'oued est tombé à sec
21/4 13:45	2	0.330		0.341			
21/4 14:10		0.338			1.880	14.80	
21/4 14:45		0.366					
21/4 15:00		0.330					
22/4 09:10	3	0.800	10.00	0.911	1.810	4.80	
22/4 10:45		0.937			1.910	3.40	
22/4 11:30		0.920					
22/4 11:55		0.985					
23/4 13:55	4	1.612	23.00	1.322	1.820	3.20	
23/4 14:30		1.032					
24/4 08:25	5	1.700		1.283	1.750	3.00	
24/4 09:50		1.400					
24/4 10:30		1.010					
24/4 10:55		1.020					
25/4 10:00		0		0.000			Pas de lâcher valeur estimée
26/4 23:59		0		0.000			Pas de lâcher valeur estimée
27/4 16:25	3	0.550	13.50	0.550	2.010	1.80	
28/4 10:15		0.959	14.00	0.812	1.770	4.40	
28/4 11:00		0.665	14.00				
29/4 16:30		0.441		0.441			
30/4 10:15		0.500		0.544			
30/4 11:45		0.517					
30/4 15:00		0.615			2.010	2.00	
01/5 10:05	4	1.051		0.931	1.930	5.20	
01/5 13:45		0.811					
02/5 10:15		1.017		0.908	1.930	1.30	
02/5 14:00		0.798					
03/5 13:10		0.615		0.645	2.040	2.50	
03/5 15:10		0.674					
04/5 10:00		0.632		0.623	1.970	4.10	
04/5 12:50		0.613					
05/5 12:30		0.820		0.753			
05/5 13:25		0.685					
06/5 14:40		1.312		1.312	1.970	6.20	crue sur le chérichéra
07/5 12:40		0.764		0.760			
07/5 15:10		0.756		0.753	2.000	3.70	
08/5 11:00		0.827		0.753			
08/5 13:35		0.679					

Débits mesurés au site Henchir Jefna

Date	Débit lâché (m ³ /s)	Débit mesuré (m ³ /s)	Largeur (m)	Débit retenu (m ³ /s)	RS (g/l)	TS (g/l)	Observations
19/4 00:00		15		0.955			Passage de l'Onde Pendant la nuit
20/4 00:00		1		0.000			Pas d'écoulement en ce point
21/4 00:00		2		0.000			Pas d'écoulement à ce site
22/4 15:50		3	1.00	0.048	1.940	12.30	Arrivée de l'onde à 15 h 40
22/4 16:10					1.910	19.50	
22/4 16:25							
22/4 16:45							
23/4 12:55		4	7.10	0.258			Arrivée de l'Onde à 10 h
23/4 13:25					1.940	2.90	
23/4 14:05							
23/4 14:40							
24/4 10:00		5	7.50	0.339			
24/4 10:30							
24/4 11:05							
25/4 00:00		3		0.000			
26/4 00:00				0.000			
27/4 00:00				0.000			
28/4 00:00				0.000			
29/4 00:00				0.000			
30/4 00:00				0.000			
01/5 11:20				0.129			
01/5 12:30			4.00		2.000	10.10	à 13 h l'eau atteint Bhiret El Aoud
02/5 08:45				0.171	1.930	9.10	
02/5 15:00			3.00	0.097			
03/5 11:35			1.50	0.064	2.010	8.50	
03/5 12:50				0.029			
03/5 14:50				0.005			
03/5 15:30				0.000			L'Oued tombe à sec à cause des
04/5 11:00			1.00	0.041	2.040	6.60	prélèvements en amont de ce site
04/5 11:30			1.00	0.040			
04/5 12:45			1.00	0.039	2.120		
05/5 09:30				0.076			
05/5 13:45				0.059	2.080	4.80	
06/5 00:00							Pluie sur la région
07/5 10:00				0.150			
07/5 14:20				0.141	2.080	9.20	
07/5 14:40				0.126			
08/5 09:20				0.151			
08/5 16:00				0.127			

FIN

34

VUES