

République Tunisienne
Ministère de l'Agriculture
Secrétariat d'Etat à L'Hydraulique
Direction Générale
des Ressources en Eau

Caisse Française
de Développement

Projet de Recherche sur la dynamique fluviale des cours d'eau en aval des barrages de Tunisie

Rapport final de mission

Jacques Colombani
Directeur de Recherche
à l'ORSTOM

Marcel Ramette
Ingénieur conseil



(GIE ORSTOM-EDF)

Juin 1995

SOMMAIRE

1. Contexte général: La maîtrise de l'eau, une nécessité vitale pour la Tunisie de l'an 2000
2. Objet de la mission
3. Personnes rencontrées
4. Documents consultés
5. Visites sur le terrain, premiers commentaires
 - 5.1 Oued Mejerdah
 - 5.1.1 Barrage de Sidi Salem
 - 5.1.2 Oued Mejerdah en aval du barrage de Sidi Salem
 - 5.1.3 Modifications du lit et des relations hauteurs-débits
 - 5.2 Oued Miliane
 - 5.2.1 Barrage de Bir M'Cherga
 - 5.2.2 Oued Miliane en amont et en aval du barrage de Bir M'Cherga
 - 5.2.3 Remarques sur l'état du lit de l'oued Miliane
 - 5.3 Remarques sur l'exploitation possible des données connues
6. Analyse préliminaire sur les causes possibles de " l'engraissement" de la Mejerdah à l'aval du barrage de Sidi Salem
7. Programme de recherche proposé
 - 7.1 Considérations générales
 - 7.2 Programme d'étude
 - 7.2.1 Etudes statistiques des débits
 - 7.2.2 Simulation des crues
 - 7.2.3 Etude morphologique et consignes d'exploitation des barrages
8. Planification des études et travaux
9. Planning des études et travaux

Annexes:

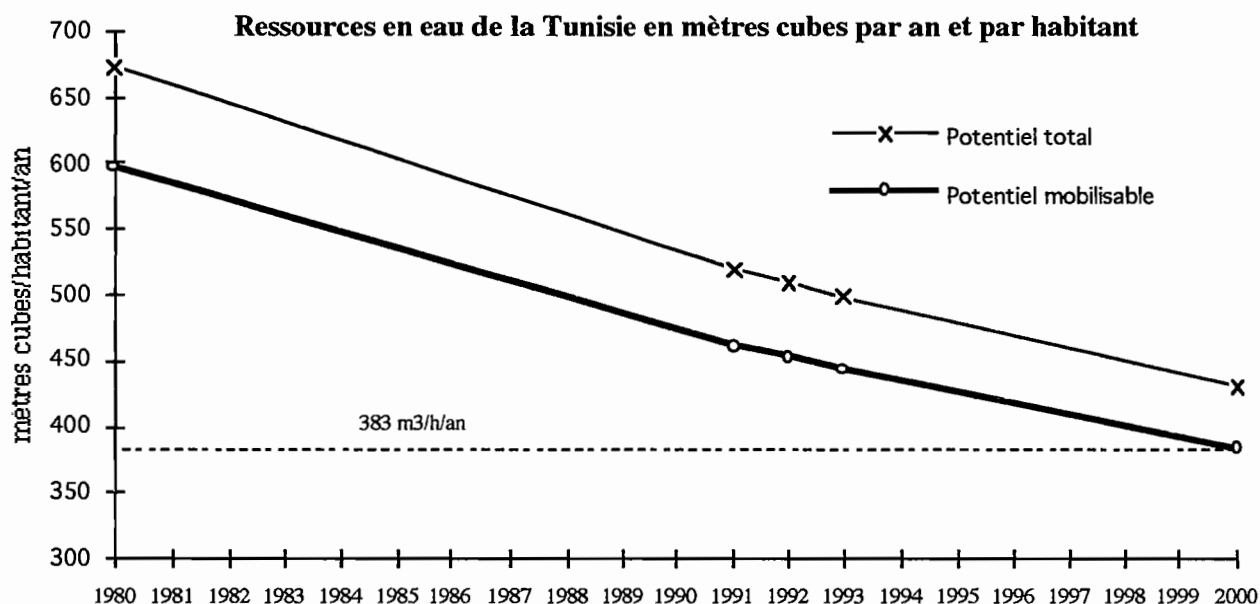
1. Organigramme partiel des administrations concernées par l'étude
2. Evaluation préliminaire du coût des études
3. Photos

1. Contexte général:

La maîtrise de l'eau, une nécessité vitale pour la Tunisie de l'an 2000

La Tunisie est un pays dont les trois quarts du territoire sont arides ou semi-arides avec des étés très chauds. Sur un volume moyen annuel estimé de précipitations de 33 milliards de mètres cubes reste un potentiel global de ressources en eau identifiées de 4,3 milliards de mètres cubes dont 2,6 milliards de mètres cubes ruisselés. Cette situation précaire est encore aggravée par l'irrégularité interannuelle des précipitations dont la valeur médiane est nettement inférieure à la moyenne. Il est donc indispensable de réaliser une régularisation annuelle et interannuelle des apports de surface de façon à mobiliser la plus grande part possible des eaux ruisselées. Pour atteindre cet objectif 17 grands barrages ont déjà été édifiés sur les principaux cours d'eau jusqu'en 1990. Il est prévu d'en édifier 21 de plus d'ici l'an 2000 (dispositif complété par un nombre important d'ouvrages secondaires de type barrages collinaires, lacs collinaires, barrages d'épandage de crue).

On escompte ainsi mobiliser 80% du potentiel global des eaux de surface en l'an 2000, soit un volume de 2,1 milliards de mètres cubes. En 1990 un peu moins de 50 % du potentiel global étaient mobilisés ou environ 61 % des ressources estimées mobilisables. En tenant compte des eaux souterraines mobilisables, soit 1,725 milliards de mètres cubes, le volume maximum utilisable atteint 3,835 milliards de mètres cubes. Compte tenu de l'évolution démographique le graphique 1 ci-dessous représente l'évolution de 1980 à l'an 2000 du volume disponible par an et par habitant (potentiel global et potentiel mobilisable).



Graphique 1

On voit que, même en mobilisant au mieux les eaux renouvelables, le volume mobilisable

par an et par habitant en l'an 2000 ne sera que de 383 mètres cubes, ce qui, compte tenu du progrès économique et de l'élévation prévisible du niveau de vie, est très peu et justifie l'effort considérable programmé d'ici l'an 2000.

Il est cependant certain que la construction nécessaire des grands barrages a déjà des effets évidents sur l'environnement et notamment sur la morphologie des cours d'eau comme nous allons le mettre en évidence dans la suite de ce rapport. Il convient donc de trouver un nouvel équilibre entre les actions nécessaires de régularisation des eaux de surface et les actions destinées à lutter contre des effets dommageables sur l'environnement.

2. Objet de la mission

La Direction générale des Ressources en Eau (DGRE) envisage de développer un programme de recherche sur l'engraissement du lit des oueds constaté à l'aval des principaux barrages réservoirs tunisiens. Ce programme de recherche devrait étudier les causes et les conséquences de ce phénomène et proposer les moyens utilisables pour y remédier afin de réduire l'accroissement des risques de débordements qui en résulte en période de crue.

Les objectifs de la mission, réalisée en étroite collaboration avec la DGRE, étaient:

— d'une part d'analyser la situation actuelle à partir de l'examen des documents existants, de discussions avec les responsables de la DGRE, de visites sur le terrain et, à l'issue de cette analyse, de donner si possible un premier avis sur les causes des situations observées.

— d'autre part de définir le programme de recherche, la méthodologie, les moyens en hommes et en matériel **à mettre en œuvre pour mener à bien le programme envisagé.**

3. Personnes rencontrées

Ministère de l'Agriculture:

Monsieur Ameer Horchani, Secrétaire d'Etat à l'Hydraulique

Direction générale des ressources en eau:

Monsieur Mohamed Bacha, Directeur général

Monsieur Mohamed Ridah Kallel, Directeur des Eaux de surface

Monsieur Abdelmajid Ghorbel, sous-directeur des réseaux de mesure et d'observation

Monsieur Slahedine Bouzaïane, sous-directeur, chargé de la refonte et de l'homogénéisation des banques de données

Monsieur S. Nasrallah, responsable du service des réseaux de mesures

Direction générale des études et travaux hydrauliques:

Monsieur Djebali, Directeur Général

Monsieur Ghalleb, Directeur des études

Monsieur Abdel Hamid Abid, sous-directeur responsable de la gestion des barrages

Monsieur Ali Largech, ingénieur

Monsieur Hadj Amor, sous-directeur responsable de la topographie

Monsieur Hassan Ben Ali, ingénieur responsable du barrage de Sidi Salem, également chargé des mesures d'envasement de l'ensemble des barrages.

Centre national de télédétection:

Général Turki, Directeur général

Monsieur Ben Sakka, conseiller technique du directeur général

Monsieur Richard Escadafal, chercheur ORSTOM

ORSTOM:

Monsieur B. Dalmeyrac, Représentant de l'ORSTOM en Tunisie

Monsieur R. Pontanier, pédologue

Monsieur H. Camus, Hydrologue

4. Documents consultés

On donne ci-après la liste des principaux documents consultés avec leur code de classement quand ils appartiennent à la bibliothèque de la DGRE:

- Monographie de la Mejerdah (*J.A. Rodier, J. Colombani, J. Claude, R. Kallel, 1981*)
- Monographie de l'Oued Miliane (*Elsholz, Gutman, Stachen, 1973, n° 50 280 62*)
- Monographie des oueds Zeroud et Merguellil (*S. Bouzaïane, Lafforgue*)
- Annales hydrologiques de 1974 à 1991
- les crues de la Mejerdah après régularisation par les barrages de Nebeur et Ben Metir (TH 97)
- les alluvions déposées par l'oued Mejerdah lors des crues de mars 1973 (*J.Y. Loyer et als, ...TH197*)
- Mesures de l'envasement dans les retenues de 6 barrages tunisiens (TH194)
- Gestion optimale des ressources en eau - EAU 2000 (coopération tuniso-allemande)
- Atelier technique sur les procédés de mesure des débits à partir des vitesses - expériences de janvier 1993 (TM311)
- Suivi des volumes d'eau lâchés à l'aval de Sidi Salem (TH 299)
- Levés topographiques (profils en travers) du lit de l'oued Miliane à l'aval du barrage de Bir M'Cherga en 1993 (coopération japonaise)
- Levés topographiques (profils en travers) du lit de l'oued Mejerdah à l'aval du barrage de Sidi Salem en 1995
- Stratégie pour le développement des ressources en eau de Tunisie au cours de la décennie 1991-2000 (DGRE, septembre 1990)
- Actes de la 9e journée des ressources en eau (25 août 1991)
- Actes de la 10e journée des ressources en eau (25 avril 1992)
- Observations et mesures hydropluviométriques dans le Kairouanais, bilan 1993-94 (*Ayachi Mohamed, Jallili Ali, Barrak M. Tahou, CRDA, Kairouan, octobre 1994*)
- Modernisation de la banque de données hydrologiques (*S. Bouzaïane, juillet 1994*)
- les crues de 1973 en Tunisie (*J. Colombani, R. Kallel, TH 174*)
- les crues de mars 1973 dans le bassin de la Mejerdah: documents photographiques (ORSTOM-DGRE, décembre 1973, sous la direction de *J. Colombani*)

De plus divers documents ont été consultés au cours des réunions avec la DGRE et l'ETH ainsi que lors des sorties sur le terrain (notamment les situations hydrauliques journalières de tous les barrages: niveaux, volumes, apports, soutirages, etc...).

5. Visites sur le terrain, premiers commentaires

Les visites ont concerné pour l'essentiel:

- le barrage de Sidi Salem et le cours de l'oued Mejerdah depuis l'aval du barrage jusqu'à El Bathan
- le barrage de Bir M'Cherga et le cours de l'oued Miliane, en amont jusqu'à la station hydrométrique de Thuburbo Majus, et en aval jusqu'à Tunis.

Faute de temps les oueds Zeroud et Merguellil dans le centre n'ont pu être visités; mais il semble bien, d'après les responsables de la DGRE, que l'on puisse y observer en aval de Sidi Saad et d'El Haouareb, en première approximation, les mêmes phénomènes qu'en aval de Sidi Salem et de Bir M'Cherga.

Dans ce qui suit on s'intéresse surtout aux consignes d'exploitation des barrages et à l'état du lit des oueds et des ouvrages qui y sont implantés.

5.1 Oued Mejerdah

5.1.1 Barrage de Sidi Salem

Le barrage a été mis en service en 1981. Le volume de son réservoir, sous la cote de retenue normale (110 m NGT), est de 555 millions de mètres cubes.

L'envasement de la retenue a été contrôlé par trois levés à l'échosondeur depuis la mise en service et le volume actuel d'envasement est de 62,8 millions de mètres cubes, soit un taux moyen annuel de 4,8 millions de mètres cubes (un peu moins de 0,9% de la retenue normale par an durant les 13 années de fonctionnement).

L'ouvrage, équipé de turbines (36 MW), d'un évacuateur de crue et de vannes de fond est consacré en période d'hydraulicité normale pour environ 2/3 à l'irrigation des périmètres irrigués à l'aval et 1/3 à l'eau potable. En saison sèche les lâchures sont faites en fonctions des besoins en eau d'irrigation. En période de crue l'eau en excédent des besoins est stockée dans le réservoir ou évacuée par les ouvrages évacuateurs si la cote de retenue normale est atteinte.

Le cheminement des apports solides dans le barrage se fait en partie sous la forme d'un courant de densité transitant en 4 à 10 heures suivant le volume de la crue. Cette progression est surveillée à l'aide d'un sondeur à ultrasons; lorsque le courant de densité arrive à proximité du barrage, les vannes de fond sont ouvertes pour l'évacuer et elles sont refermées dès l'instant où l'eau évacuée redevient claire. Au cours de cette opération de vidange on mesure les débits et les turbidités et l'on peut donc en déduire les volumes d'eau et les volumes de sédiments évacués. Les analyses de turbidité (et de salinité) sont faites au laboratoire implanté à proximité du barrage. Des mesures de débit liquide faites à l'aval du barrage par les hydrologues de la DGRE ont permis de contrôler les formules de débit des ouvrages.

5.1.2 L'oued en aval du barrage

— **Les seuils:** une série de seuils en béton d'une hauteur de 2 à 3 mètres environ barrent le cours d'eau de l'oued entre Sidi Salem et Bordj El Toumi (voir les photos 1995 en annexe); ces seuils permettent l'installation de stations de pompage qui alimentent les périmètres irrigués.

A l'amont des seuils on observe une sédimentation importante avec, dans certains cas, émergence de bancs de sédiments sablo-argileux propices à la croissance d'une végétation arbustive dense (tamaris notamment)

— **Les ouvrages autres que les seuils:**

* le pont andalou à Medjez el Bab:

Ce pont a été construit en 1677. Seules les trois arches en rive droite assurent le passage du lit mineur; les cinq arches en rive gauche sont pratiquement obstruées par des dépôts de sédiments et par une terrasse qui paraît être faite de main d'homme, avançant en amont du pont très sensiblement dans le lit de l'oued (voir photo 1995 en annexe).

La comparaison de quatre photographies du pont (voir annexe) vu de l'amont en 1924, 1971, 1973 et 1995 permet de constater qu'en 1924 le pont était bien moins obstrué que maintenant; en 1971, du fait sans doute de l'absence de crue très importante depuis 1924, on observait un comblement important, mais moindre qu'actuellement; en avril 1973, après la plus forte crue jamais observée depuis la fin du siècle dernier, le pont était largement dégagé, probablement plus qu'en 1924. Cela permet de mesurer l'ampleur du comblement intervenu depuis 1973.

* le nouveau pont de Medjez el Bab:

Le nouveau pont routier de Medjez el Bab ne paraît pas faire obstacle lui-même à l'écoulement, mais le lit de l'oued a été fortement alluvionné en rive gauche et on peut observer, sur une très grande distance, un important développement de la végétation réduisant sensiblement la largeur du lit mineur et donc sa débitance (voir photo en annexes).

* station hydrométrique de la Sloughia:

Cette station est installée sur la culée en rive droite de l'ancien pont métallique détruit au cours de la crue de 1973. Au droit de la station elle-même (en rive gauche) et en aval vers le nouveau pont routier (déjà existant en 1973) la végétation arbustive qui s'est développée abondamment (voir photos 1995 en annexe) traduit manifestement une zone d'alluvionnement important. Ce fait est confirmé par l'examen de deux autres photos de la station (voir annexe), l'une prise avant la crue de 1973 (date indéterminée) où l'on voit l'ancien pont et notamment la pile centrale détruite par la crue en 1973, l'autre prise en avril 1973 (archives Colombani) après la destruction du pont: sur la photographie ancienne la partie du lit entre la pile centrale et la rive gauche est largement obstruée par des alluvions portant une végétation touffue (tamaris sans doute) tandis que sur la photographie de 1973 la végétation a pratiquement disparu ainsi qu'une

large part des alluvions. Actuellement les dépôts et la végétation observés sont au moins aussi importants qu'autrefois.

* le barrage d'El Aroussia:

Ce barrage mobile, mis en eau en 1956, commande la déviation d'un débit de 16 m³/s par seconde dans le canal Mejerdah-Cap Bon, ainsi qu'un débit moindre dans un canal à usage local.

En période de moyennes eaux (50m³/s) le niveau d'eau est exhaussé de plus de 9 mètres au barrage (cote normale de retenue 37,5 NGT). Le remous d'exhaussement qui en résulte est sensible jusqu'aux environs de la station hydrométrique de Bordj Toumi. En période de crue le barrage est en principe totalement ouvert. Aucune observation du lit lui-même n'a pu être faite, la retenue étant à son niveau normal au cours de la visite.

* le pont barrage d'El Bathan:

Ce vieux pont barrage, datant de 1690, constitue en lui-même un obstacle sérieux au passage des grosses crues. De plus s'est développée à l'aval une végétation extrêmement dense (Tamaris) qui encombre toute la largeur du lit et qui bien entendu constituerait une perte de charge importante en période de crue (voir photo 1995 en annexe). Deux photos prises pendant la crue de 1973 (archives Gualde et Lamachère) confirment l'effet de cet ouvrage en période de crue.

5.1.3 Modifications du lit et des relations hauteurs-débits

Les modifications du lit de la Mejerdah et leurs conséquences ont été quantifiées au cours des mesures faites en 1993 et relatées dans le document TM311 (cf le chapitre 4: documents consultés). Les principales conclusions de ce document sont les suivantes:

— à la Sloughia:

Le profil en travers du lit est resté sensiblement identique à lui-même entre 1975 et 1993 mais, du fait des modifications du lit plus en aval, les pentes ont sensiblement diminué et donc aussi la débitance du lit; pour une même cote à l'échelle H=5,50 m le débit était en 1975 de 430m³/s et seulement de 212 m³/s en 1993. Il faut néanmoins considérer les phénomènes observés en 1973 lors de la destruction de l'ancien pont, époque où on a observé un fort creusement en rive gauche.

— à Medjez el Bab au pont andalou :

Pour une même cote à l'échelle de 8,50 m correspondant au début du débordement on observait un débit de 998 m³/s en 1969, de 672 m³/s en 1970 et seulement de 285 m³/s en 1993. Durant cette période 1969-93 le profil en travers a été fortement modifié, l'alluvionnement en rive gauche expliquant largement la faible débitance actuelle.

— à Djedeida:

A cette station, située à l'aval d'El Bathan, pour une cote à l'échelle de 5,00 m le débit était de 510 m³/s en 1977 et seulement 230 m³/s en 1993. La diminution de la débitance est la conséquence d'un alluvionnement de 1 à 2 mètres qui a intéressé toute la largeur du lit.

— à Bordj Toumi:

A cette station, située à l'amont d'El Aroussia, on constate au contraire des autres stations un affouillement du lit qui se traduit par une augmentation de la débitance; ce phénomène est probablement du au remous d'abaissement que provoque le barrage d'El Aroussia, ouvert en période de crue. Pour une cote à l'échelle de 5,00 m on observait en 1989 un débit de 130 m³/s et en 1993 un débit de 240 m³/s.

La période d'observation est cependant trop courte pour conclure à une érosion systématique du lit de l'oued à Bordj Toumi. En effet dans cette région l'évolution du lit est étroitement liée aux consignes d'exploitation du barrage d'El Aroussia; il en est d'ailleurs probablement de même pour la région en aval du barrage, à la station de Djedeida en particulier.

5.2 Oued Miliane

5.2.1 Barrage de Bir M'Cherga

Le barrage de Bir M'Cherga a été mis en service en 1971. Le volume du réservoir sous la cote de retenue normale (122,5 m NGT) est de 53 millions de mètres cubes. Le barrage fonctionne en écrêteur de crue mais il est prévu de l'utiliser plus largement pour l'irrigation lorsque l'on aura réduit la salinité de l'eau; deux ouvrages sont implantés à l'amont à cet effet, l'un étant un petit barrage déversoir permettant de détourner les eaux d'étiage salées du Djarabia vers la sebkha El Kourzia (déjà en fonction), l'autre étant une station de pompage en cours d'installation sur le Miliane à Thuburbo Majus (juste à l'amont de la station hydrométrique), destinée à détourner les eaux d'étiage salées du Miliane vers la sebkha El Kourzia.

Le barrage est équipé de vannes de fond permettant d'évacuer un maximum de 90 m³/s d'eaux turbides au cours des crues. Comme au barrage de Sidi Salem les lâchures d'eau vers l'aval, en dehors des périodes de crue, sont commandées par les besoins en eau.

L'ouverture des vannes de fond se fait en période de crue au vu de l'arrivée d'eaux turbides dans la retenue à l'amont immédiat du barrage; la fermeture des vannes se fait quand les eaux évacuées redeviennent claires. Des mesures de débit et des prélèvements d'échantillons d'eau sont faits pendant l'ouverture des vannes de fond, les analyses de turbidité, de salinité et l'interprétation des mesures étant faites au laboratoire de Sidi Salem. L'ingénieur responsable de Sidi Salem a aussi fait une mesure de l'envasement avec un échosondeur.

5.2.2 Oued Miliane

— en amont du barrage:

Une visite a été faite à la **station hydrographique de Thuburbo Majus** en queue de retenue du barrage. Cette station, en service, contrôle les apports dans la retenue du barrage.

— en aval du barrage:

Toutes les stations hydrographiques en aval du barrage sont abandonnées.

* Pont de Cheylus:

L'infrastructure destinée à abriter un limnigraphe à flotteur est encore en place, la base des buses du puits du limnigraphe repose sur un lit sec sédimenté.

Le lit mineur de l'oued est végétalisé à l'extrême, faisant craindre des rugosités très fortes et des embâcles possibles d'arbres et de végétaux emportés en cas de fortes crues.

* Pont de la Madeleine:

Là aussi l'infrastructure destinée à abriter un limnigraphe à flotteur est toujours en place quoiqu'installée sur l'ancien pont qui menace ruine.

Il est difficile de distinguer la part de sédiments déposés par l'oued du fait d'une couverture d'ordures ménagères poussées dans le lit qui constitue une décharge.

A cette obstruction s'ajoutent: une végétalisation des berges et du lit hors décharge, puis, successivement d'amont en aval, la présence d'une pile de pont ancienne, de l'ancien pont abandonné et du pont actuel.

* Pont de la route GP1 (entrée de Tunis):

A l'amont immédiat de ce pont moderne est implanté un vieux pont à arches, analogue au pont andalou de Medjez el Bab et construit sans doute à une époque voisine. Ce pont constitue, lui aussi, un obstacle sérieux à l'écoulement des crues, d'autant plus qu'une conduite de Ø 500 environ court à mi-hauteur des arches, diminuant d'autant le débouché de ce vieux pont.

L'oued lui-même est très encombré par la végétation et le débit très faible qui y coule est manifestement constitué par des eaux d'égout.

5.2.3 Remarques sur l'état du lit de l'oued Miliane

Il n'est pas possible, après la mise en service du barrage de Bir M'Cherga, de quantifier, comme pour la Mejerdah à l'aval de Sidi Salem, les modifications du lit de l'oued Miliane à l'aval du barrage et les conséquences sur la débitance du lit du fait de l'abandon des mesures aux stations hydrométriques. Il existe peut-être des levés anciens qui permettraient une comparaison avec les levés topographiques récents de 1993, mais le temps a manqué pour entreprendre une recherche approfondie dans les archives des services du Ministère de l'agriculture. La visite faite au cours de la mission a surtout permis de constater un état assez préoccupant du lit de l'oued.

Dans le chapitre suivant on analyse les seules données de l'oued Mejerdah, à défaut de pouvoir le faire pour l'oued Miliane, pour tenter de d'apporter une explication, toute préliminaire, à l'engrondissement du lit de la Medjerdah qui a suivi la mise en service du barrage de Nebeur en 1954 et surtout celle du barrage de Sidi Salem en 1981-1982

6. Les causes "d'engraissement" à l'aval de Sidi Salem, analyse préliminaire

Parmi les causes d'engraissement du lit ou de pertes de charge locales ou généralisées, ayant conduit de toute façon à une diminution de la débitance du lit de l'oued, on peut citer:

— la présence de seuils en béton qui ont tous été implantés après la mise en service du barrage de Sidi Salem.

— les consignes de gestion des niveaux d'eau au barrage d'El Aroussia qui, par les remous d'exhaussement ou au contraire d'abaissement qu'elles provoquent, engendrent soit un stockage de sédiments, soit une chasse de sédiments dans la zone d'influence du remous (18 km ?).

— Des interventions locales dans l'oued, comme des décharges ou des remblaiements intempestifs.

— Des "non-interventions": absence de dragages des dépôts locaux ou d'essartage de la végétation en temps utile.

etc...

Ces causes qui sont citées, bien qu'elles aient une responsabilité dans le phénomène d'engraissement (surtout la présence de seuils en béton), sont probablement secondaires en regard d'une modification importante des débits caractéristiques et de leur fréquence provoquée par la présence des barrages et par leur mode de gestion.

La morphologie d'un cours d'eau, en particulier ses largeur et profondeur moyennes, est en effet en étroite corrélation avec des débits caractéristiques et leur fréquence.

Interviennent, entre autres, les débits maximaux annuels moyens journaliers de fréquence 0,5 (1 an sur 2 en moyenne) (Qmmj), et surtout, pour des oueds du type Mejerdah dont les crues sont rapides, les débits moyens journaliers de fréquence 0,5 dépassés dix jours par an et notés DCC (débit caractéristique de crue). En gros le DCC est celui qui façonne le lit mineur de l'oued.

Il était donc intéressant d'évaluer les valeurs moyennes de ce DCC pour diverses périodes caractéristiques de "l'histoire" de l'oued Mejerdah modifié par les ouvrages qui ont été implantés sur son cours ou sur celui de ses affluents:

— *avant la mise en service du barrage de Nebeur*: les données disponibles aux stations hydrométriques de Medjez el Bab et de la Sloughia permettent des analyses depuis 1926 jusqu'en 1953 année qui a précédé la mise en service de Nebeur.

— *après la mise en service du barrage de Nebeur et avant celle du barrage de Sidi Salem*, soit de 1954 à 1982.

— *après la mise en service du barrage de Sidi Salem*, soit de 1982 à 1991 (dernière année immédiatement disponible dans les annuaires hydrologiques au cours de cette mission, mais cela pourra être complété jusqu'à ce jour puisque les données existent et seront prochainement publiées).

Les caractéristiques schématiques du lit peuvent être évaluées à l'aide des **équations simplifiées de Lacey**, dites "équations du régime":

$$\text{largeur du lit (m)} \quad L = 4,8 Q^{1/2}$$

$$\text{profondeur du lit (m)} \quad H = 0,13 Q^{1/3} / d^{1/6}$$

Q étant le débit en m³/s égal ici au **DCC**, et d le diamètre moyen des sédiments en mètres.

Les évaluations des débits caractéristiques, notamment du DCC n'ont pu être faites à partir des moyens classiques de l'analyse statistique des données faute de suffisamment de temps. On a utilisé des méthodes simplifiées basées sur des moyennes arithmétiques pondérées par un coefficient minorant (évalué à partir des données exactes mais ne couvrant pas tous les échantillons disponibles) permettant d'évaluer le DCC à partir du débit moyen maximum journalier (Q_{mmj}).

Dans le tableau qui suit on a noté, par période:

- le débit maximum instantané de fréquence 0,5 (Q_{mi})
- le débit maximum moyen journalier (Q_{mmj}) de fréquence 0,5
- le DCC calculé en appliquant un coefficient minorant évalué à 3,35:
DCC = Q_{mmj} / 3,35
- la largeur L et la profondeur H du lit évaluées à partir des équations de Lacey et en attribuant aux sédiments un diamètre moyen d = 20 μ (20.10⁻⁶ m)

	Q _{mi} (m ³ /s)	Q _{mmj} (m ³ /s)	DCC (m ³ /s)	L (m)	H (m)
Avant Nebeur (1926-53)	826	688	205	69	4,65
Après Nebeur et avant Sidi Salem (1953-81)	622	522	156	60	4,25
Après Sidi Salem (1982-91)	203	107,5	32	27	2,5

On constate une diminution sensible des débits caractéristiques, surtout après la mise en service du barrage de Sidi Salem, puisque le DCC qui est de 205 m³/s à la Sloughia avant la mise en service de Nebeur passe à 156 m³/s après celle-ci, puis à 32 m³/s seulement après la construction de Sidi Salem. Les débits maxima instantanés (Q_{mi}) qui correspondent à la limite de débordement qui à l'origine était de 826 m³/s passent respectivement à 622 m³/s puis à 203 m³/s.

Les caractéristiques morphologiques du lit résultant se modifient en conséquence; d'après les équations du régime les valeurs moyennes des largeurs et profondeurs pendant les trois périodes caractéristiques seraient les suivantes en supposant que l'équilibre morphologique est atteint en fin de période:

$$69 \times 4,65 \text{ m}^2 = 321 \text{ m}^2 \quad (\text{fin 1953})$$

$$60 \times 4,25 \text{ m}^2 = 255 \text{ m}^2 \quad (\text{fin 1982})$$

$$27 \times 2,50 \text{ m}^2 = 67,5 \text{ m}^2 \quad (\text{fin 1991})$$

Il s'agit évidemment de valeurs toutes théoriques et de plus calculées à partir de valeurs de DCC approximatives; il est cependant hors de doute qu'elles traduisent une diminution très réelle des sections d'écoulement. La diminution des débits maxima dépassés 10 jours par an (DCC) du fait de la gestion des barrages paraît donc être un facteur très important pour expliquer "l'engraissement" du lit à l'aval de Sidi Salem.

Bien que les données insuffisantes ne permettent pas de faire une analyse équivalente sur l'oued Miliane il est probable que les phénomènes d'engraissement constatés en aval du barrage de Bir M'Cherga ont la même origine.

En fait au lieu du terme "d'engraissement" (ou ensablement) du lit, qui laisse entendre qu'il y a un surplus d'apports solides par rapport à la situation naturelle, il vaudrait mieux utiliser le terme "réajustement morphologique" du lit. Une retenue de barrage piège évidemment une partie des sédiments, mais ceux qui transitent en aval du barrage au cours des chasses périodiques se déposent progressivement sous forme de banquettes qui contribuent à la diminution de largeur du lit; ces banquettes ont tendance à se végétaliser et donc à se stabiliser. Le processus est d'autant plus sensible et rapide que les eaux lâchées au barrage sont extrêmement chargées.

La diminution de débitance qui résulte de ces phénomènes peut en effet faire croire à un ensablement engendré par un apport solide plus important que celui de la situation naturelle alors qu'il n'en est rien; bien au contraire il y a diminution de ces apports solides, ce qui au débouché en mer de l'oued se traduit à la fois par une érosion du lit et par une érosion du littoral; c'est ce que l'on constate effectivement aux environs des estuaires de la Mejerdah et du Miliane dans le golfe de Tunis.

7. Programme de recherche proposé

7.1 Considérations générales

Les considérations qui doivent guider l'élaboration d'un programme de recherche sont en définitive les suivantes:

- 1. Evaluation de la débitance maximale du lit dans la situation actuelle (avant débordements locaux) que nous appellerons Q_0 .
- 2. Evaluation de l'amélioration que peuvent apporter des opérations mécaniques ponctuelles, telles que des dragages du lit et dégagements de travées de pont par exemple, afin d'homogénéiser la débitance le long de l'oued (débordements simultanés). Nous appellerons cette débitance améliorée $Q_1 (> Q_0)$.
- 3. Dans le cas où le lit de l'oued est très encombré par la végétation, évaluation des améliorations que peuvent apporter d'une part les opérations ponctuelles évoquées en (2), d'autre part un essartage général dans le lit de l'oued. Nous appellerons cette nouvelle débitance améliorée $Q_2 (> Q_1)$.
- 4. Les caractéristiques morphologiques du lit correspondant aux débits de débordement Q_0, Q_1, Q_2 sont-elles stables?

Pour répondre à cette dernière question il sera nécessaire d'entreprendre les actions suivantes:

a) La réalisation d'une analyse morphologique préalable telle qu'amorcée dans le chapitre 6 du présent rapport en suivant le processus ci-après:

- Q_0, Q_1 ou Q_2 correspondent aux débits maxima instantanés Q_{mi} de fréquence 0,5 (dépassés 1 an sur 2).
- Une analyse statistique détaillée des débits évacués au barrage de Sidi Salem (ou au barrage de Bir M'Cherga) doit permettre d'évaluer le coefficient réducteur qui relie le débit Q_{mi} au débit caractéristique de crue (DCC). Dans nos calculs préliminaires nous avons évalué ce coefficient à 3,35. Ce coefficient étant acquis il est alors possible d'évaluer les débits de crue caractéristiques DCC correspondants aux débits maxima instantanés:

$Q_0 \Rightarrow DCC_0$

$Q_1 \Rightarrow DCC_1$

$Q_2 \Rightarrow DCC_2$

et d'en déduire grâce aux relations simplifiées de Lacey les caractéristiques morphologiques L et H dans les trois cas envisagés.

Le choix a priori d'une valeur du débit de débordement Q_0, Q_1 ou Q_2 (ou de toute autre valeur plus importante), et donc du débit DCC qui s'en déduit, permet de définir les lâchures au

barrage qui permettraient de respecter ces valeurs des DCC (cf chapitre 7.3 b ci-après).

Cette analyse théorique préalable nous paraît très souhaitable pour modifier éventuellement les consignes d'exploitation du barrage de Sidi Salem s'il s'avérait que la morphologie du lit actuel est loin d'avoir atteint un équilibre stable.

b) La quantification de l'évolution ou de la stabilité du lit observables par un, ou mieux deux levés topographiques complémentaires à réaliser sur une période minimale de trois ans.

Durant cette période la mesure des débits liquide et solide passant aux barrages de Sidi Salem et de Bir M'Cherga doit bien entendu continuer à se faire, ainsi que leur analyse sur le plan statistique.

De même les mesures de hauteurs d'eau et de débits aux stations de la Sloughia, de Medjez el Bab, d'Al Hirri, de Bord Tomi et de Djedeida sur la Mejerdah doivent se poursuivre en améliorant si nécessaire le dispositif existant (notamment en installant un limnigraphe au nouveau pont route de Medjez el Bab et en rénovant la station de Djedeida). Sur l'oued Miliane il sera nécessaire de remettre en service les stations hydrométriques abandonnées à l'aval de Bir M'Cherga (le Cheylus et la Madeleine, peut-être aussi à l'aqueduc).

Cette phase de quantification de la morphologie et de poursuite des mesures est indispensable pour une meilleure compréhension des phénomènes et pour ajuster si nécessaire les consignes d'exploitation des barrages

Au cours d'une nouvelle phase ces études pourraient être étendues à l'oued Zeroud à l'aval du barrage de Sidi Saad et au Merguellil à l'aval du barrage d'El Haouareb.

7.2 Programme d'études:

7.2.1 Etude statistique des débits

On déterminera à partir des données disponibles depuis la mise en service de Sidi Salem les débits de crue ayant une fréquence de retour 0,5: débit maximum instantané Q_{mi} , débit moyen maximum journalier Q_{mmj} , débit caractéristique de crue DCC. On en déduira un rapport moyen:

$$(R) = Q_{mi}/DCC.$$

On fera de même pour les crues au barrage de Bir M'Cherga.

7.2.2 Simulation des crues

On déterminera à partir des données disponibles depuis la mise en service de Sidi Salem les débits de crue ayant une fréquence de retour 0,5: débit maximum instantané Q_{mi} , débit moyen maximum journalier Q_{mmj} , débit caractéristique de crue DCC. On en déduira un rapport moyen:

$$(R) = Q_{mi}/DCC.$$

a) situation actuelle: un modèle mathématique d'écoulement non permanent sera utilisé pour propager des hydrogrammes de crue depuis l'aval du barrage de Sidi Salem jusqu'à la station hydrométrique de Djedeida, sur le lit actuel défini par les levés topographiques récents (190 profils en travers rattachés en cotes NGT entre le barrage de Sidi Salem et la mer, achevés en juin 95).

La forme des hydrogrammes à la sortie du barrage respectera un rapport constant (R) entre le débit maximum instantané Q_{mi} et le débit DCC (dépassé 10 jours par an).

Le modèle sera étalonné à partir des mesures récentes de débits et de niveau d'eau; on utilisera en particulier les données du document TM311 (cf chapitre 4, *atelier technique... janvier 93*).

Après étalonnage du modèle on déterminera ensuite, par approximations successives, l'hydrogramme (en particulier Q_{mi} , et donc DCC) qui entraîne un débordement localisé en un point quelconque du lit.

Soit $Q_{mi} = Q_0$ le débit maximum correspondant à cette situation.

Le même processus sera utilisé sur l'oued Miliane à l'aval de Bir M'Cherga.

b) Situation actuelle améliorée localement: Après examen des résultats obtenus dans la phase précédente et au vu des "obstacles" existant localement dans le lit de l'oued, on supposera un dérasement de ces obstacles, ce qui conduira à une nouvelle topographie du lit. Les volumes dérasés seront bien sûr évalués pour estimer le coût d'une telle opération. Comme dans la phase précédente, on déterminera par approximations successives l'hydrogramme limite qui entraîne des débordements locaux ou généralisés; à cet hydrogramme correspondent des valeurs du débit maximum instantané, Q_{mi} et donc du DCC.

Soit $Q_{mi} = Q_1$ le débit maximum instantané correspondant à cette nouvelle situation.

On procédera de même sur l'oued Miliane.

c) Situation améliorée sur tout le cours de l'oued

Remarquons avant tout qu'il n'est pas réaliste d'envisager que l'oued puisse faire lui-même par ses propres crues, naturelles ou provoquées, un auto curage de son lit qui permettrait de retrouver une situation proche de la situation antérieure à la construction du barrage.

De même est-il raisonnable d'envisager un curage par dragage ou un essartage intéressant toute la longueur du lit? Peut-être peut-on cependant tenter d'étendre davantage les traitements locaux des obstacles, par exemple en modifiant le débouché de certains ponts ou ouvrages, en créant de nouvelles arches en réalisant des rescindements de berges, des déviations locales etc... en combinant si possible les actions mécaniques et les actions de déblaiement hydraulique par des "crues contrôlées".

Ces travaux sont à définir en accord étroit avec l'administration tunisienne, ils pourraient être précisés à partir des résultats de la simulation des crues qui mettraient en évidence des débordements locaux au droit d'ouvrages et les modifications nécessaires pour annuler ces

débordements.

Le processus décrit aux chapitres a) et b) précédents appliqué à cette nouvelle situation permettra de déterminer l'hydrogramme de crue correspondant à la limite de débordement ainsi que les valeurs Q_{mi} et DCC.

Soit $Q_{mi} = Q_2$ le débit maximum instantané ainsi déterminé.

Cette étude serait faite pour la Mejerdah et le Miliane.

7.2.3 Etude morphologique et consignes d'exploitation des barrages

a) Caractéristiques morphologiques pour les trois situations envisagées:

- situation actuelle
- situation améliorée localement
- situation améliorée sur toute la longueur de l'oued

et à partir d'une part des équations du régime, d'autre part des valeurs des débits caractéristiques, respectivement:

$$Q_0 \Rightarrow DCC_0$$

$$Q_1 \Rightarrow DCC_1$$

$$Q_2 \Rightarrow DCC_2$$

on calculera les caractéristiques morphologiques moyennes du lit:

L largeur

H profondeur

Ces caractéristiques théoriques seront comparées à celles du lit pour les trois situations envisagées. Cette comparaison, et celles qui pourront être faites au cours de l'évolution réelle observée, doivent permettre de justifier ou de critiquer l'utilisation des équations du régime pour la description des caractéristiques morphologiques moyennes de l'oued.

b) Consignes d'exploitation des barrages

Afin d'assurer le maximum d'auto entretien du lit il faudrait réaliser le plus fréquemment possible, au minimum tous les 2 ou 3 ans, des lâchures au barrage répondant à des consignes bien déterminées; pour ce faire on schématisera des hydrogrammes de lâchure ayant des débits maxima instantanés Q_{mi} , successivement égaux à Q_0 , Q_1 et Q_2 , et des débits caractéristiques DCC correspondant, évalués comme indiqué précédemment, mais ayant des durées respectives de 10 jours (efficacité maximale sur l'auto entretien du lit), de 5 jours et de 2 jours.

On évaluera les conséquences de ces lâchures sur les volumes d'eau disponibles par

comparaison avec le bilan obtenu à partir de la gestion réelle réalisée depuis la mise en service du barrage.

Des suggestions quant aux consignes d'exploitation des barrages devraient être l'aboutissement de cette phase d'étude.

Pour cette étude on tiendra compte d'une simultanété possible des lâchures au barrage de Sidi Salem et au barrage de l'oued Siliana, important affluent en rive droite de la Mejerdah entre Sidi Salem et la Sloughia. Le barrage sur le Siliana a été mis en eau récemment et son effet sur les apports liquides et solides de la Siliana est certainement notable.

8. Planification des études et travaux

On suppose que le programme de recherche débutera au premier janvier 1996, la planification pouvant être décalée si la date effective de commencement des travaux était différente.

— 1. Inventaire détaillé et critique des données disponibles tant à la DGRE qu'à l'ETH et sur les sites des barrages (hydrométrie, débits solides, topographie et gestion des barrages): beaucoup de données sont déjà disponibles et il est indispensable de les inventorier de façon exhaustive; trois mois sont prévus pour ce travail réalisable par 1 ingénieur et 1 assistant.

— 2. Installation ou remise en service de dispositifs de mesure, amélioration du système informatique.

a) dispositifs de mesure: il est proposé d'installer des stations de mesures hydrométriques aux emplacements suivants: nouveau pont route de Medjez el Bab sur la Mejerdah, pont route de Djedeida sur la Mejerdah (réhabilitation de la station), station du Cheylus sur le Miliane, station de la Madeleine sur le Miliane, station à l'aqueduc sur le Miliane. Ces stations seraient équipées d'une plate-forme de collecte de données de marque CIES multiparamètres avec transmission par satellite METEOSAT compatible avec le dispositif du programme MEDHYCOS1. Cela permettrait de bénéficier de la gratuité des transmissions de données par METEOSAT sous certaines conditions#. Cette plate-forme recevrait les données d'un limnigraphe à capteur de pression piézo-capacitif type CHLOE ou équivalent, permettant l'enregistrement des hauteurs d'eau (ainsi que de la température de l'eau). On pourrait y joindre d'autres capteurs (pluie, vent, température de l'air, turbidité, conductivité).

En ce qui concerne la turbidité on pourrait essayer le système à capteur différentiel EFFA, ou encore un système à 2 capteurs piézo-capacitifs. Des mesures aussi fréquentes que possible de la turbidité par prélèvement d'échantillons devraient être faites afin d'étalonner le système de mesure en continu..

Les données seraient transmises par METEOSAT, on pourrait éventuellement utiliser un canal d'alerte "instantanée" lorsque le niveau d'eau dépasserait une cote d'alerte choisie en fonction des caractéristiques de la station (avertissement de risque de débordement).

b) système informatique: Une homogénéisation du stockage des données hydrologiques est en cours d'achèvement dans le cadre de la direction des eaux de surface. Un logiciel de gestion performant, HYDRON, est utilisé. Ce logiciel permet la constitution d'une banque de données fiable et facilement accessible. L'acquisition des données se fait actuellement à partir des relevés de terrain (manuels ou par enregistreur) dans le cadre de 10 équipes hydrologiques administrativement dépendantes des CRDA à Gabès, Gafsa, Grombalia, Ichkeul, Jendouba, Kairouan, Kasserine, le Kef, Medjez el Bab, Sousse, Sidi Bou Saïd et Zaghouan; ces équipes dépendent techniquement de la direction des eaux de surface. Certaines comme

celles de Kasserine et de Kairouan sont déjà formées à l'utilisation du logiciel HYDROM et publient rapidement après la fin de l'année hydrologique (fin août) un recueil des données hydrométriques de leurs circonscriptions respectives (pluviométrie, hauteurs d'eau, débits, débits solides et qualité de l'eau). Afin d'étendre ce système très efficace au plan de la précocité de la disponibilité des données et de leur qualité il conviendrait d'améliorer le matériel informatique et aussi, si possible, le matériel de laboratoire. Le matériel suivant devrait être acheté:

Matériel	Equipes à fournir	nombre
Micro-ordinateur processeur 486 à 50 ou 60 MHz disque dur 250 Mo	Kairouan, Jendouba Le Kef, Medjez, Tindja	5
Imprimante matricielle	Jendouba, Le Kef, Medjez, Tindja	4
Table à digitaliser format A3	Kairouan, Kasserine, Jendouba, Le Kef, Medjez, Tindja	6
Traceur graphique	Jendouba, Le Kef, Medjez, Tindja	4
Etuve, dessicateur, flacon	Jendouba, Le Kef, Medjez, Tindja	4

b) autres matériels:

Afin de permettre un bon déroulement des opérations prévues dans le programme proposé il faudrait disposer d'un véhicule tout terrain exclusivement réservé au programme.

Il faudrait un matériel complémentaire pour les mesures de débit solide:

- 2 préleveurs d'échantillons d'eau suspendus (type saumon creux)
- 1 échosondeur
- 1 bateau type Zodiac

3. Etudes statistiques: il s'agit pour toutes les périodes d'observations, avant la construction des barrages et après, de déterminer sur les cours d'eau étudiés les Q_{mi} , Q_{mmj} et DCC et tout autres valeurs qui paraîtraient utiles au programme (Mejerdah, Miliane, Zeroud et Merguellil). On se rapportera au § 7.2.1 du présent rapport.

4. Digitalisation des données topographiques: il s'agit de mettre sous la forme nécessaire à la modélisation des données topographiques existantes.

5. Deuxième et troisièmes levés topographiques: il s'agit du suivi des modifications des lits des oueds à partir des levés existants actuellement; pour la Mejerdah un levé de 190 profils en travers rattachés en cotes NGT vient d'être achevé et devrait être suivi de deux nouveaux levés des mêmes profils en 1997-98 et en 1999, de même que pour le Miliane où

une centaine de profils ont été relevés en 1993.

Des levés analogues devront être faits sur le Zeroud et le Merguellil si l'on décide d'étendre l'étude à ces deux cours d'eau.

6 et 6 bis. Evaluation des débits solides: il s'agit d'exploiter les données existantes ou à venir (concentrations de matières en suspension et envasement des retenues)

7 et 7 bis. Nouvelles mesures d'envasement: Il s'agit de suivre l'envasement des retenues pendant la durée de l'étude dans les barrages en cause.

8. Etalonnage d'un modèle mathématique de simulation de crue:

Voir le § 7.2.2 pour la façon de procéder.

9. Détermination des débits caractéristiques dans trois situations différentes: on se rapportera au § 7.2.2 pour la méthode à suivre.

10. Étude morphologique schématique: On se rapportera au § 7.2.3.a pour la méthode à suivre.

11. Analyse et suggestions quant aux consignes d'exploitation des barrages: On se rapportera au § 7.2.3.b pour la méthode à suivre.

12. Rapport d'études préliminaire: un premier rapport détaillé sera élaboré et publié après les six premiers mois d'études et rendra compte des résultats provisoires obtenus.

13. Suivi de l'état qualitatif des lits des oueds et essai d'utilisation des images des satellites ERS 1 et 2: Tout au long du programme on surveillera l'évolution des lits. De plus on essaiera en collaboration avec le Centre national de Télédétection d'utiliser l'analyse interférométrique des photos des satellites radar ERS pour un suivi de l'évolution des lits et pour le suivi des points de débordements et zones d'inondation anciens et éventuellement nouveaux.; ceci correspond à un projet de développement de méthodes envisagé par le CNT.

14. Travaux éventuels d'amélioration locaux et/ou systématiques: Il s'agit d'évaluer les effets de travaux dans le lit des oueds tels qu'envisagés dans le présent rapport et éventuellement de réaliser certains de ces travaux sur le terrain pour des essais réels.

15. Rapport d'étude définitif: Ce rapport rassemblera les résultats de l'étude, analysant l'évolution morphologique des lits, suggérera les travaux à réaliser dans les lits et des consignes de gestion des barrages, ce dernier point devant être établi en étroite collaboration avec les services gestionnaires des barrages.

9. Planning des études et travaux

Définition des tâches	1995 1996												1997												1998												1999											
	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aoû	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aoû	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aoû	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aoû	Sep	Oct	Nov
1. Inventaire détaillé et critique des données disponibles tant à la DGRE qu'à l'ETH et sur les sites des barrages (hydrométrie, débits solides, topographie et gestion des barrages)	[Bar chart showing task duration from Dec 1995 to Apr 1996]																																															
2. Installation ou remise en service de dispositifs de mesure, amélioration du système informatique	[Bar chart showing task duration from Dec 1995 to Apr 1996]																																															
3. Études statistiques	[Bar chart showing task duration from Feb 1996 to May 1996]																																															
4. Digitalisation des données topographiques du lit des oueds	[Bar chart showing task duration from Dec 1995 to Feb 1996]																																															
5. Deuxième et troisième levés topographiques des lits (premier levé déjà fait en 93 sur le Miliane et en 95 sur la Mejerdah)	[Bar chart showing task duration from Nov 1997 to Apr 1998]																																															
6. Évaluation des débits solides d'après les mesures de concentration et d'envasement	[Bar chart showing task duration from Apr 1996 to May 1997]																																															
6 bis. Suite évaluation des débits solides d'après les mesures de concentration et d'envasement	[Bar chart showing task duration from Jul 1998 to Sep 1998]																																															
7. Nouvelles mesures d'envasement	[Bar chart showing task duration from Nov 1997 to Feb 1998]																																															
7 bis. suite nouvelles mesures d'envasement	[Bar chart showing task duration from Apr 1999 to Jul 1999]																																															
8. Étalonnage d'un modèle mathématique de simulation de crue	[Bar chart showing task duration from Feb 1996 to Apr 1998]																																															
9. Détermination des débits caractéristiques en situation actuelle, en situation localement améliorée, en situation améliorée systématiquement	[Bar chart showing task duration from Feb 1996 to Jul 1998]																																															
10. Étude morphologique schématique pour les 3 situations ci-dessus	[Bar chart showing task duration from May 1996 to Jul 1998]																																															
11. Analyse et suggestions quant aux consignes d'exploitation des barrages	[Bar chart showing task duration from May 1996 to Jul 1996]																																															
12. Rapport d'études préliminaires	[Bar chart showing task duration from Jun 1996 to Nov 1996]																																															
13. Suivi de l'état qualitatif des lits, essais d'utilisation des images des satellites radar ERS1 et ERS2	[Bar chart showing task duration from Dec 1997 to Dec 1998]																																															
14. Travaux éventuels d'amélioration locale et/ou systématique	[Bar chart showing task duration from Dec 1997 to Apr 1999]																																															
15. Rapport d'étude définitif analysant l'évolution morphologique des oueds et faisant des suggestions quant à l'entretien des lits et quant aux consignes de gestion des barrages	[Bar chart showing task duration from Jun 1999 to Nov 1999]																																															

action permanente

Annexes

Estimation du coût du programme proposé coûts en francs

Cette estimation devra être revue car la brièveté de la mission ne permettait pas une connaissance exacte des coûts

Tâches	N°	Année 1			Année 2			Année 3			Année 4			Total
		Personnel DGRE	Experts	Matériel, mise en place, divers	Personnel DGRE	Experts	Matériel, mise en place, divers	Personnel DGRE	Experts	Matériel, mise en place, divers	Personnel DGRE	Experts	Matériel, mise en place, divers	
Inventaire des données	1	80 000	80 000	5 000										165 000
Installation de dispositifs de mesure	2	100 000	80 000	610 000										790 000
Études statistiques	3	60 000	50 000	5 000				30 000		5 000				150 000
Digitalisation des données topographiques	4	30 000		5 000				30 000		5 000				70 000
Levés topographiques	5					150 000						150 000		300 000
Évaluation débits solides	6	20 000	50 000		15 000									85 000
Suite évaluation débits solides	6 bis							15 000			15 000			30 000
mesures d'envasement	7			12 000	30 000	80 000		30 000	80 000	12 000				244 000
suite mesures d'envasement	7 bis										30 000	80 000	12 000	122 000
Étalonnage modèle crue	8	30 000	80 000					30 000	80 000					220 000
Détermination DCC	9	30 000	80 000					30 000	80 000					220 000
Étude morphologique	10	10 000	PM					10 000	PM					20 000
Analyse, suggestions	11	10 000	50 000											60 000
Rapport préliminaire	12	20 000	80 000	5 000										105 000
Suivi qualitatif, études par images satellite	13	15 000	30 000	50 000	15 000	10 000	30 000	15 000	10 000	30 000	15 000	80 000	40 000	340 000
Travaux d'amélioration	14				15 000	50 000	100 000	15 000	50 000	100 000				330 000
Rapport final	15										40 000	300 000	10 000	350 000
Total		405 000	580 000	692 000	75 000	290 000	130 000	205 000	300 000	152 000	100 000	610 000	62 000	3 601 000

remarques: PM= pour mémoire,
Experts: il s'agit d'experts et bureaux d'études tunisiens ou étrangers

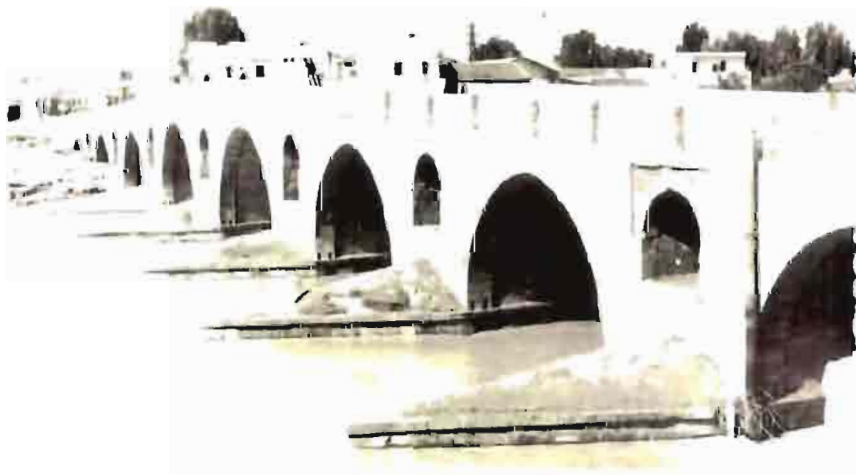
	an 1	an 2	an 3	an 4	total
Rappel					
Personnel DGRE	405 000	75 000	205 000	100 000	785 000
Experts	580 000	290 000	300 000	610 000	1 780 000
Matériel et divers	692 000	130 000	152 000	62 000	1 036 000
total	1 677 000	495 000	657 000	772 000	3 601 000



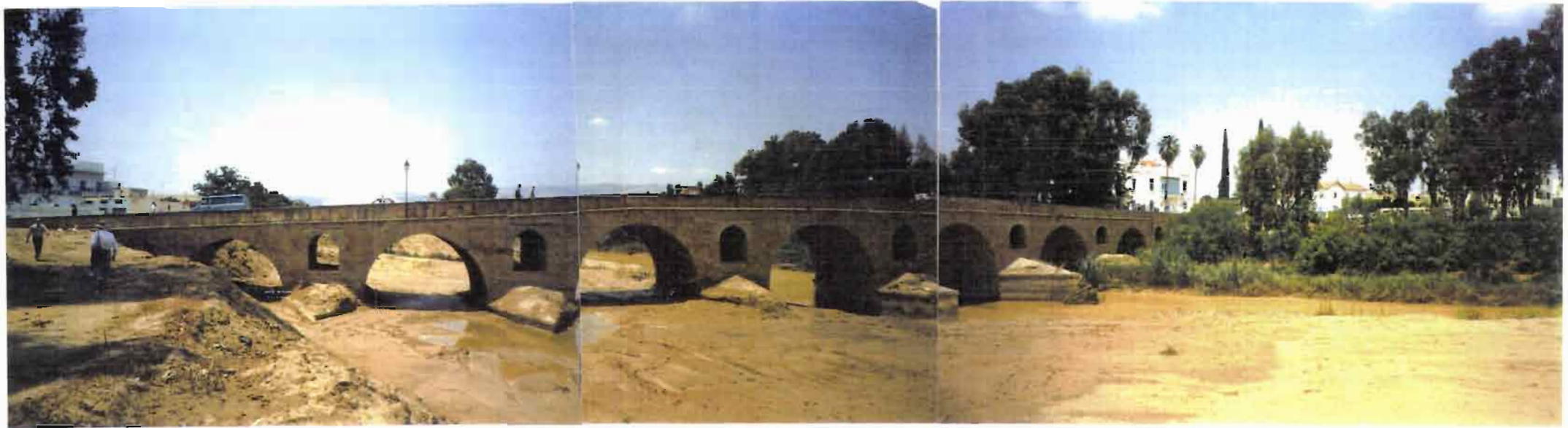
A - ph. de 1924 - archives D.P.E.



P - ph. de 1971 - Colombani



C - ph. avril 1973 - Colombani



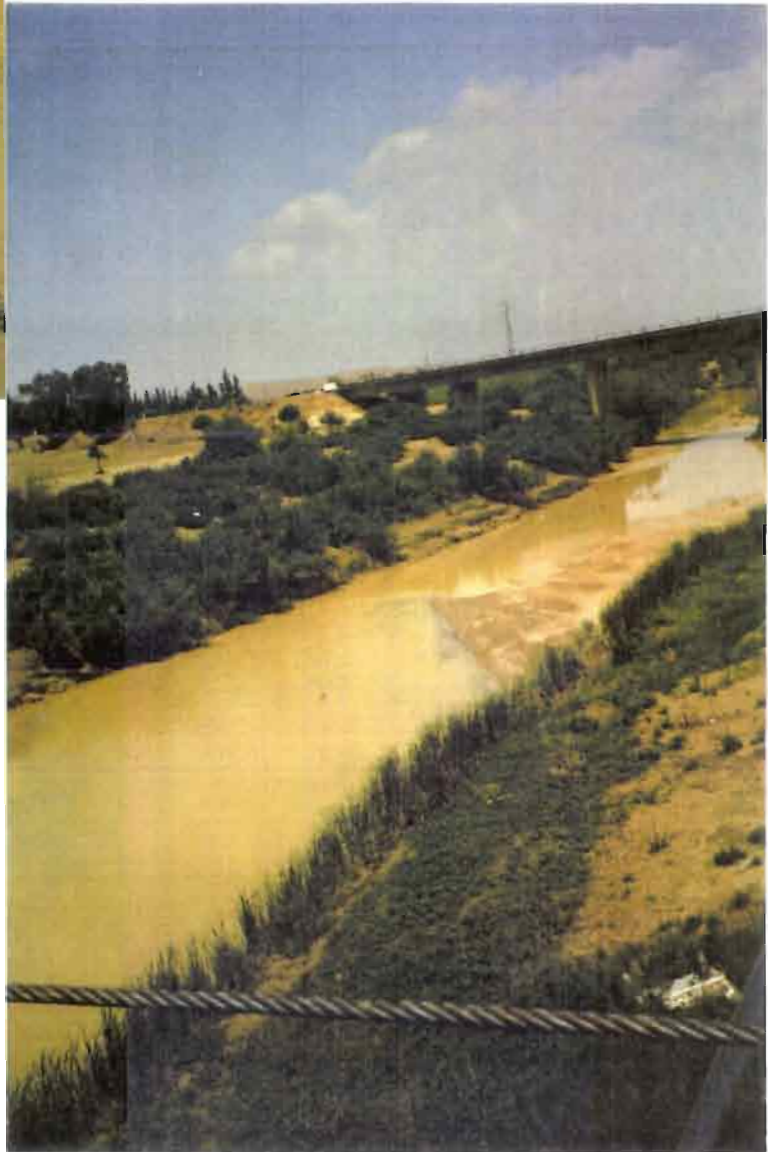
Pont andalou de Medjez el Bab vu de l'amont,
13/6/95 (photo Ramette)



Pont andalou de Medjez el Bab, vue du lit à l'amont du pont,
13/6/95 (photo Ramette)



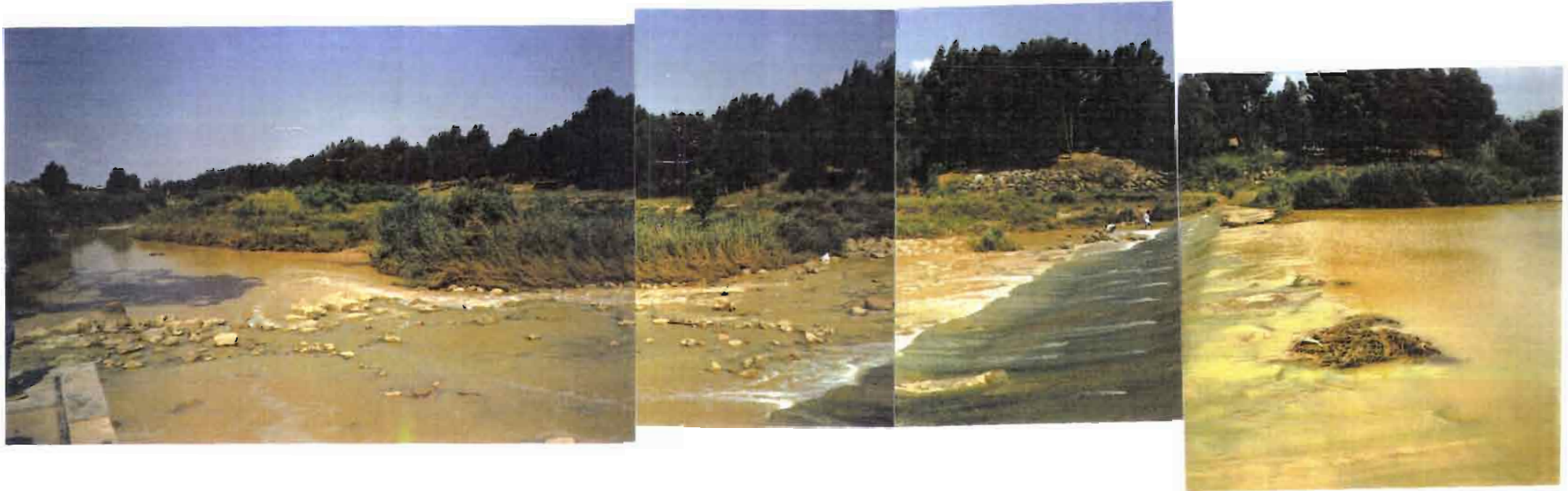
Station hydrométrique de la Sloughia à l'ancien pont emporté en 1973, 13/6/95 (photo Ramette)



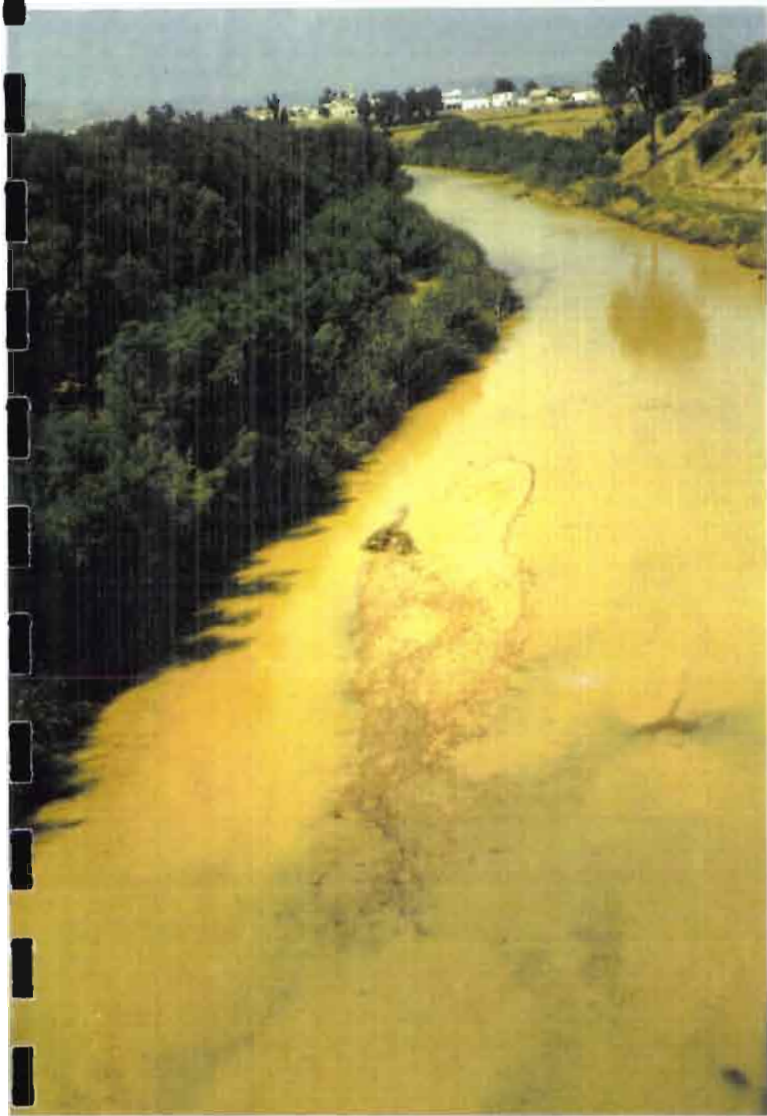
Mejerdah: vue vers le nouveau pont de la Sloughia depuis la station hydrométrique, 13/6/95 (photo Ramette)



Pont de Testour sur la Medjerdah, vue vers l'amont
13/6/95 (photo Ramette)



Seuil pour station de pompage sur la Mejerdah,
13/6/95 (photo Ramette)



Nouveau pont routier de Medjez el Bab
Vue vers l'amont, 13/6/95 (photo Ramette)



Seuil à El Herri,
13/6/95 (photo Ramette)



Pont-barrage d'El Bathan, vue vers l'aval
13/6/95 (photo Ramette)