



ONAGRI
TUNISIE

MICROFICHE N°

10438

REPUBLIQUE TUNISIENNE
MINISTERE DE L'AGRICULTURE

الجمهورية التونسية
وزارة الزراعة

Observatoire National de l'Agriculture
30, Rue Alain Savary - 1002 Tunis

المركز الوطني للفلاحة
30، شارع آلان سافاري - 1002 تونس

F

1

REPUBLIQUE TUNISIENNE

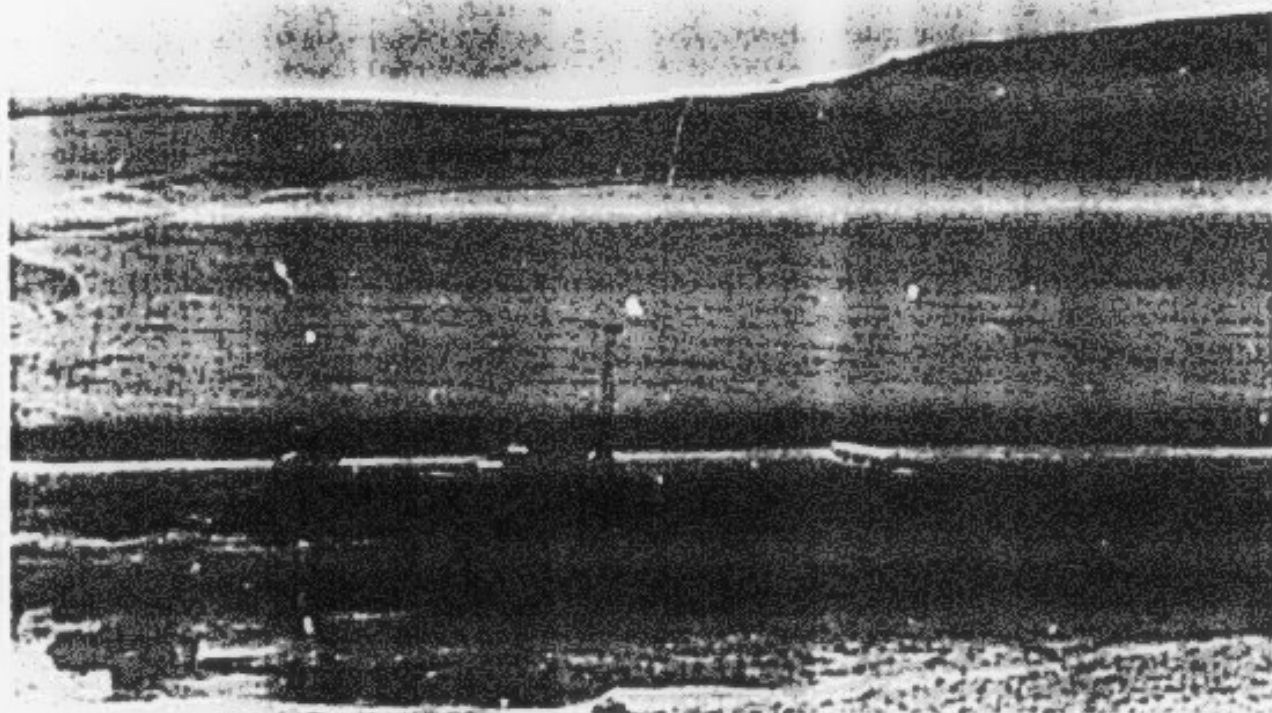


MINISTERE DE L'AGRICULTURE

DIRECTION DE LA PLANIFICATION DES EAUX ET DES
ETUDES HYDRAULIQUES

ETUDE D'AVANT PROJET SOMMAIRE (A.P.S.)

D'UN BARRAGE SUR L'OUED CHAFROU



Rapport définitif

Septembre 1999

SIAA

Société d'Ingénierie AIRAS & Associés
8 Rue de l'Artisanat - Z.I. Ariana Aéroport
1080 TUNIS Cedex

ISL

ISL Bureau d'ingénieurs conseil
79 Bd Mao Tse-toung
75019 PARIS

TABLE DES MATIERES

I - PRESENTATION GENERALE DE L'ETUDE ET DES PRINCIPAUX RESULTATS	2
I - 1 - PREAMBULE	3
I - 2 - CONTENU DU RAPPORT	2
II - PRESENTATION DU SITE	6
II - 1 - CADRE REGIONAL	6
II - 2 - LOCALISATION - ACCES	6
II - 3 - TOPOGRAPHIE	6
II - 4 - CONCEPTION D'ENSEMBLE	7
III - ETUDE HYDROLOGIQUE	8
III - 1 - OBJECTIFS	8
III - 2 - ETUDE DES APPORTS	8
III - 3 - AMORTISSEMENT DE LA CRUE - COTE DE RETENUE NORMALE	35
IV - GEOLOGIE - GEOTECHNIQUE	37
IV - 1 - CONTEXTE GENERAL	37
IV - 2 - CONTEXTE SISMO-TECTONIQUE	37
IV - 3 - GEOLOGIE DU SITE - RECONNAISSANCES REALISEES	40
V - AMELIORATION DE LA QUALITE DES EAUX DU NORD	46
V - 1 - VOLUME DE LA RETENUE	46
V - 2 - SALINITE	46
V - 3 - TURBIDITE	47
V - 4 - PROPOSITION ALTERNATIVE	47
CHAPITRE VI - LES OUVRAGES	49
VI - 1 - VARIANTE I - BARRAGE EN REMBLAI DUR DEVERS N/ET	49
VI - 2 - VARIANTE II - DIGUE EN TERRE	53
VII - METRES, PRIX DES OUVRAGES ET PLANNING	59
VII - 1 - METRES	59
VII - 2 - COUT DE L'AMENAGEMENT	64
VII - 3 - PLANNING DES TRAVAUX	64
VIII - ETUDES ET RECONNAISSANCES COMPLEMENTAIRES	66
RECONNAISSANCES COMPLEMENTAIRES	66
JUSTIFICATION DES OUVRAGES	67

I - PRESENTATION GENERALE

I - PRESENTATION GENERALE DE L'ETUDE ET DES PRINCIPAUX RESULTATS

I - 1 - Préambule

La Direction Générale des Etudes et Travaux Hydrauliques du Ministère de l'Agriculture a confié au Groupement I.S.L. - S.I.A.A. les études d'un Avant Projet Sommaire relatif à l'édification d'un barrage sur l'oued CHAFROU, devant assurer la régulation et la mise en charge pour l'exploitation et la gestion des eaux du Nord sur les plans qualitatif et quantitatif, la régularisation des eaux de l'oued CHAFROU en vue de leur utilisation agricole ainsi que la protection des infrastructures aval contre les inondations.

Une étude de choix de site a déjà été établie et remise à EGTH en Janvier 1999. Par sa lettre du 23 Janvier 1999, l'Administration a porté son choix sur le site amont. Nous rappelons que deux sites ont fait l'objet, dans le cadre du rapport de phase I, d'études préliminaires de l'hydrologie, la topographie et la géologie.

Le projet d'un barrage sur l'oued CHAFROU a déjà été envisagé dans le cadre d'une première réflexion lors de l'étude établie par Coyne et Bellier en 1972 relative au "Plan Directeur d'utilisation des eaux du Nord de la Tunisie". Il s'inscrivait alors dans la recherche d'un site proche de la ville de Tunis qui constituerait une alternative au barrage Sidi Salem, pénalisée par la présence de terrains triasiques. Par ailleurs, la retenue correspondante, à l'écart de la Medjerdah, offrirait de ce fait des libertés de manœuvre supplémentaires pour se débarrasser plus aisément de certains apports sales et permettrait de régulariser et optimiser les mélanges des lâchures des retenues amont. Ce barrage se situerait, dans ce cas, au droit du site aval.

La réalisation du barrage Sidi Salem et d'autres ouvrages importants du Nord et Nord Ouest, dans un système complexe de transfert des eaux pour des buts multiples, donne une autre signification aux objectifs de réalisation d'un ouvrage sur l'oued CHAFROU et favorise le choix du site amont pour les études d'Avant Projet Sommaire qui doivent répondre à la demande de création d'une retenue, d'une part pour l'exploitation des apports de l'oued CHAFROU en vue d'une revalorisation d'un périmètre agricole et d'autre part, pour élargir les possibilités de stockage tampon autour du Grand Tunis et la contribution à la gestion des eaux du Nord.

I - 2 - Contenu du rapport

Le présent rapport d'Avant Projet Sommaire d'un barrage sur l'oued CHAFROU est constitué du présent texte et d'un cahier de plans.

Ce rapport présente les conditions naturelles du site amont : hydrologie, géologie et géotechnique. Les différents thèmes ont été abordés sur la base de données disponibles et des résultats d'une campagne de reconnaissance préliminaire qui a porté sur l'exécution de sondages carottés avec essais d'eau au niveau du site et de tarières dans l'emprise des zones d'emprunt.

L'homogénéité des formations géologiques reconnues tant au niveau de la portance que de la perméabilité, les caractéristiques physiques et mécaniques des matériaux disponibles et la configuration topographique du verrou militent en faveur de la réalisation d'une digue en terre avec un évacuateur de crue de surface en rive droite qui profiterait d'une légère dépression naturelle. Les différentes variantes possibles concerneraient la position de l'axe de la digue pour bénéficier des meilleurs avantages du relief et l'éventualité de concevoir un évacuateur de crue en puits et tulipe combine avec la prise d'eau pour l'évacuation des crues les plus fréquentes et un évacuateur de surface d'exception pour la crue décennale.

Cependant, aussi bien la digue en terre que les variantes précitées se trouvent pénalisées par les conditions d'évacuation de la crue. En effet, l'étude d'amortissement de la crue millénaire et a fortiori la décennale, ne permet pas d'assurer la création d'une retenue suffisante compatible avec les données hydrologiques du projet. Pour éviter l'inondation par les Plus Hautes Eaux des infrastructures existantes, la cote de retenue normale ne doit pas dépasser 47,5NGT ce qui correspond à une retenue de 1,9 Mm³ pour un module inter-annuel de 7 Mm³. Dans ces conditions le projet perd de son intérêt et ne présente pas la rentabilité espérée ni la fonction souhaitée.

Pour que le projet puisse répondre à l'attente du Maître d'Ouvrage il doit être orienté vers la conception d'un barrage déversant sur toute sa longueur sur 220 m environ de développée et avec un seuil calé à 49 NGT.

Dans ce cas une solution barrage en remblai dur peut être envisagée. Elle nécessiterait une campagne d'investigation complémentaire basée en particulier sur la réalisation d'essais pressiométriques.

Nous donnons ci-après, sous forme de "Fiche Projet" les caractéristiques des ouvrages correspondants.

Une variante digue en terre a été, néanmoins, étudiée pour une retenue normale à la cote 49NGT. Elle conduit à des ouvrages d'évacuation de crue disproportionnés par rapport au projet. Les risques d'inondation à l'amont sont assez importants.

Une variante au projet d'un barrage sur l'oued CHAFROU consisterait à faire procéder, dans le cas d'une mission spécifique, à l'étude du bassin versant correspondant dans sa globalité. La création de retenues plus modestes à l'amont sur les affluents semble possible. Elle permettrait un meilleur amortissement des crues, une maîtrise de la salinité et des apports solides et une simplification des ouvrages dans leur multiplication.

Il conviendrait, cependant, dans ce cas, de cerner les opportunités d'utilisation des retenues à créer.

FICHE PROJET - VARIANTE BCR

- Localisation

Gouvernorat	Ariana
Délégation	Mornaguia
N° Carte (CEM)	20

- Bassin versant

Superficie	217 km ²
Pluviométrie moyenne	450 mm/an
Apport moyen annuel (module)	7 Mm ³

- Réservoir

Cote de la retenue normale	49 NGT
Cote des plus hautes eaux	51 NGT
Volume à la cote R.N.	7 Mm ³
Volume aux plus hautes eaux	14 Mm ³
Surface à la cote de R.N.	4,71 km ²
Surface maximale inondée	la topographie manque au dessus de la cote 50 NGT
Apport solide annuel	400 10 ³ tonnes

- Barrage

Type	Seuil symétrique en remblai dur
Cote de la crête	49 NGT
Hauteur maximale sur lit mineur	11 m
Longueur en crête	270 m
Largeur en crête	3 m
Pente du talus amont	1 H/1V
Pente du talus aval	1 H/1V

- Prise d'eau et conduite de vidange

Calage de la fondation	36 NGT
Calage du toit de la prise	44,80 NGT
Hauteur sur fondation	10 m
Diamètre de la conduite	800 mm
Longueur de la conduite	74 m
Diamètre de la prise d'eau	300 mm
Débit maximal (niveau R.N.)	5,4 m ³ /s

- Evacuation des crues

Debit de crues	entrant	1 667 m ³ /s
	sortant	1 364 m ³ /s
Charge maximale sur le seuil	2,00 m	
Longueur en crête du seuil	220 m	
Calage du seuil	49 NGT	
Longueur du bassin d'amortissement aval	25m	
Largeur du bassin	5 à 25m	

- Coût des ouvrages

Coût total	4 000 000 DT
------------	--------------

FICHE PROJET - VARIANTE DIGUE EN TERRE

- Localisation

Gouvernorat	Ariana
Délégation	Mornaguia
N° Carte (CEM)	26

- Bassin versant

Superficie	217 km ²
Pluviométrie moyenne	450 mm/an
Apport moyen annuel (module)	7 Mm ³

- Réservoir

Cote de la retenue normale	49 NGT
Cote des plus hautes eaux	51,67 NGT
Volume à la cote R.N.	7 Mm ³
Volume aux plus hautes eaux	la topographie manque au dessus de la cote 50 NGT
Surface à la cote de R.N.	4,71 km ²
Surface maximale inondée	la topographie manque au dessus de la cote 50 NGT
Apport solide annuel	400.10 ³ tonnes

- Barrage

Type	Digue en terre zonée
Cote de la crête	53 NGT
Hauteur maximale sur lit mineur	15 m
Longueur en crête	284 m
Largeur en crête	5 m
Pente du talus amont	3,35/1V
Pente du talus aval	3H/1V

- Ouvrage unifié

Evacuateur principal : tour avec déversoir en corolle	49 NGT
Galerie : 3 pertuis de section totale	3x(3,50x3) = 31,5 m ²
Diamètre de la conduite de prise d'eau	400 mm
Longueur de la conduite	145 m

- Evacuateur de crues d'exception Rive Droite

Débit de crues	entrant	2 313 m ³ /s
	sortant	1 581 m ³ /s
Charge maximale sur le seuil	2,7 m	
Longueur en crête du seuil	135 m	
Calage du seuil	49 NGT	

- Coût des ouvrages

Coût total	7 100 000 DT
------------	--------------

II - PRESENTATION DU SITE

II - PRESENTATION DU SITE

II - 1 - Cadre régional

L'oued CHAFROU est un affluent rive droite de la Medjerda. Il prend sa source à Henchir Gorjana au Sud Ouest de Tunis. Il coule dans la plaine de Haj El Fajja et traverse la RN5 entre la Mornaguia et Medjez El Bab pour rejoindre la Medjerda à l'Est immédiat de Jedaida, à proximité de la "cité de la Mosquée". Les cartes, à l'échelle 1/25-000 de Tunis O et Bir M'Cherga NE, font apparaître le parcours de l'oued CHAFROU. La plaine que traverse l'oued se caractérise par une pente très faible, elle se trouve légèrement en contre-bas par rapport aux infrastructures et aux habitations existantes notamment à l'aval de la RN5 où les terrains, essentiellement agricoles, sont assez plats. Un endiguement de l'oued de part et d'autre de la RN5 a été réalisé pour contenir les débordements et limiter les inondations de parcelles très fertiles.

II - 2 - Localisation - Accès

Administrativement le site amont de l'oued CHAFROU se situe dans la Délégation de MORNAGUIA, Gouvernorat de l'ARIANA.

Le site est accessible à partir de la GP5 Tunis-Medjez El Bab par une piste de 2 km environ située à gauche avant d'arriver à Borj El Amri, qui longe l'oued et qui mène directement au site.

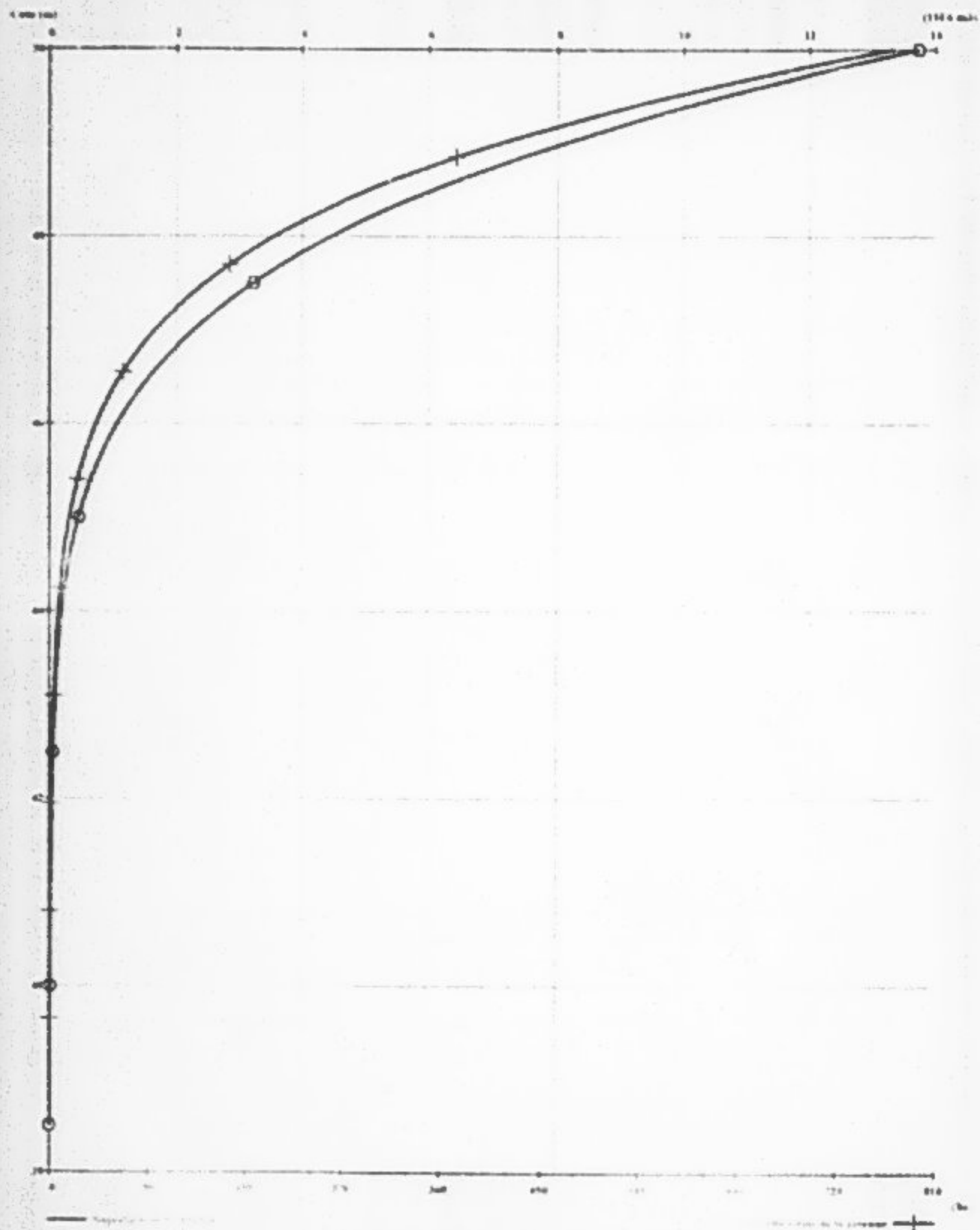
Sans préjuger de l'état de la piste par périodes d'intempéries, il est préférable cependant, d'emprunter la route qui traverse la Mornaguia et qui dessert Sidi El Khalfi puis Douar Hmeim et qui permet l'accès à la rive droite du site.

II - 3 - Topographie

L'implantation de l'ouvrage correspond à un resserrement des courbes de niveau formant le seul site favorable à la réalisation d'un barrage. Un levé topographique à l'échelle 1/1000ème a été réalisé par l'Administration et constitué avec la carte à l'échelle 1/25 000 et un plan côte à l'échelle 1/5 000 réalisés en 1993 les seuls documents exploitables pour les besoins de l'APS. Nous avons pu en tirer les caractéristiques topographiques du site présentées ci-après sous forme de tableaux et graphiques.

SITE			RETENUE	
COTE NGT	HAUTEUR	LARGEUR (m)	SURFACE (km ²)	VOLUME (Mm ³)
38,5	0	0	0	0
42,5	4	28,5	0,031128	0,1
45	6,5	125	0,270017	0,5
47,5	9	160	1,860428	2,5
49	10,5	213	4,710025	7,1
50	11,5	196,2	7,937716	13,8

Caractéristiques de la retenue



Nous avons relevé, à l'amont de la retenue, une discordance entre le plan à l'échelle 1/5 000 et la carte à l'échelle 1/25 000. La cote 50 NGT se situe respectivement de part et d'autre de la route MC 37. Après la vérification par le topographe de l'Administration, nous avons remarqué que la cote 50 correspondait au niveau de la MC 37. Par ailleurs, une dépression longe la rive droite de la cuvette, dépasser la cote 50 NGT imposerait la réalisation d'une digue de protection relativement importante.

En dehors de ces deux contraintes, il y aura lieu de s'assurer de l'altitude du mausolée situé en rive droite de la retenue et des constructions avoisinantes. Il semble que topographiquement, ils se situent à environ 50 NGT.

Il en résulte que nous devons fixer, au départ, la cote des plus hautes eaux à 50 NGT et étudier les conditions d'amortissement de la crue de projet pour définir la cote de retenue normale. Cependant, il est possible de fixer les PHE à la cote 51 NGT à condition de prévoir des protections locales pour les sites susceptibles d'être noyés lors des crues exceptionnelles.

Les coordonnées des principaux ouvrages déduites de notre étude sont récapitulées dans le tableau suivant :

DESIGNATION DES OUVRAGES	COORDONNÉES		
	x	y	Observations
<i>Barrage</i>			Variante Remblai dur
- Rive droite	-7477.5824	76459.5203	
- Rive gauche	-7200.5424	76328.5525	
- Sommet	-7364.7392	76406.1745	
<i>Système de vidange :</i>			Variante Remblai dur
- prise d'eau	-7323.6727	76361.0040	
- chambre des vannes	-7292.2933	76427.3816	

II - 4 - Conception d'ensemble

La position de l'axe du barrage a fait l'objet d'une étude des différentes variantes possibles. L'implantation définitive a été choisie en fonction de la topographie, de façon à minimiser le volume des remblais et assurer aux appuis un épaulement du relief naturel.

La topographie, au droit du barrage, présente, en rive droite, une légère dépression qui peut être aménagée pour un évacuateur de crue latéral à ciel ouvert, dimensionné pour la crue de projet.

III - ETUDE HYDROLOGIQUE

III - ETUDE HYDROLOGIQUE

III - 1 - Objectifs

L'ouvrage sur l'oued CHAFROU correspond à un site nouveau de barrage. L'étude hydrologique portera sur quatre objectifs principaux :

- Etude des apports :

Cette partie de l'étude a pour but d'obtenir une estimation des apports annuels et mensuels au droit du barrage projeté qui permettra de déterminer la capacité du réservoir, de dimensionner l'ouvrage de restitution et de vérifier les conditions d'écoulement à l'aval du barrage.

- Etude de crue :

L'étude des crues a pour finalité, la définition d'hydrogrammes de crues de différentes périodes de retour. La connaissance de ces hydrogrammes permet de dimensionner les ouvrages d'évacuation en conséquence et d'étudier l'impact correspondant en cours d'exploitation.

- Etude des transports solides :

L'analyse des transports solides permet de définir non seulement la tranchée maximale du réservoir qui détermine la durée de vie de l'ouvrage mais également les dispositions constructives à l'amont pour piéger les apports correspondants.

- Etude de la salinité :

Cette étude permet de préciser la salinité des eaux stockées dans le réservoir, leur utilisation et leur agressivité dans la mesure où elles peuvent influencer le choix des matériaux. L'identification de certains apports influents pourra conduire à la conception d'ouvrages pour les canaliser ou réduire leur effet.

Un des objectifs de la présente étude consiste à envisager la possibilité de mélange des eaux de la retenue avec les eaux du canal Medjerda Cap Bon dans un souci d'amélioration de la qualité des eaux du Nord.

III - 2 - Etude des apports

III - 2 - 1 - Facteurs physiques

Données régionales

L'oued CHAFROU présente la particularité de ne pas avoir de station de jaugeage à l'amont du site du barrage, permettant de contrôler et de mesurer les débits qui y transitent. Cette particularité a conditionné la méthodologie suivie pour chacun des thèmes étudiés ci-dessus.

La base de données utilisée pour l'étude des apports comprend les informations concernant la pluie moyenne annuelle et l'écoulement moyen annuel de divers bassins versants Tunisiens. Nous l'avons complétée par une description des sols et de l'usage des sols pour plusieurs de ces bassins. Nous avons pu alors établir une formule générale qui a permis le calcul du module de l'oued au site du barrage. Enfin, nous avons pu calculer la série des apports annuels et mensuels par analogie avec les pluies et les débits observés sur les bassins voisins.

Nous avons obtenu la base de données utilisée pour l'étude des transports solides en collationnant l'ensemble de la documentation relative à la Tunisie et au Maghreb. Cette documentation permet d'affecter aux différentes formations lithologiques un taux d'érosion en tonne/km²/an caractéristique. Ensuite, nous avons déduit l'apport solide prévisible pour l'oued CHAFROU ainsi que la durée de vie de la tranche morte prévue.

Climatologie

Le barrage se situe à l'extrémité de la plaine Fejjel Berrabieh-Henchir Hmeim dans une zone de dôme, près de Douar Hmeim, caractérisée, de part et d'autre de la vallée, par les reliefs de Jbel Sidi Souayah et Jbel Guibira. L'altitude varie entre 40 et 131 NGT. Il est situé, selon la définition d'Emberger, dans l'étage bioclimatique subhumide. Cette qualification est identifiée par un indice d'Emberger de 96.

Les principaux paramètres climatiques ayant une influence sur les régimes hydrologiques concernent les températures, les pluies, l'humidité atmosphérique, l'évapotranspiration et le vent.

Le site se trouvant à proximité de Tunis, nous prenons, comme point de repère et de référence de notre étude, la station de Tunis-Manoubia caractérisée par une altitude de 66, une latitude Nord de 36°47' et une longitude Est de 10°12'.

Températures maximales et minimales

Pour toute l'étendue du bassin les températures maximales moyennes sont très élevées en Juillet et Août. Ces deux mois représentent des moyennes identiques. On observe pendant cette période de l'année des moyennes journalières supérieures à 30°C. D'une manière générale, ce sont les plaines qui sont les plus chaudes avec des maxima moyens journaliers compris entre 37° et 38°. L'altitude diminue les maxima mais pas d'une manière considérable. Les températures moyennes minimales peuvent être assez basses, le mois le plus froid étant Janvier où tous les minima descendent pratiquement à 6°C à l'exception de la ville de Tunis.

Nous présentons en annexe 1 de ce chapitre une carte représentant l'amplitude thermique annuelle moyenne : écart entre la température du mois le plus chaud et celle du mois le plus froid et une carte représentant l'indice de continentalité de GORCZINSKY. Cet indice s'exprime par :

$$C = (1,3A / \sin \phi) - 36,3$$

- ϕ étant la latitude du lieu
 A différence entre la moyenne des maxima du mois chaud et des minima du mois froid.

Ces cartes sont dressées par BORTOLI. Elles sont extraites des annales de l'INRAT à Tunis.

L'amplitude moyenne varie pratiquement de 15° à 20°C. Elle se situe autour de 19° dans la zone du site. L'indice de GORSZINSKY varie dans le bassin de 30 à 35.

Les tableaux ci-après donnent les informations utiles sur les variations de température. Nous avons choisi deux stations qui encadrent le site, à savoir Tunis-Manoubia et Medjez El Bab.

• *Températures maximales et minimales moyennes en °C*

Stations	Septembre		Octobre		Novembre		Décembre		Janvier		Février	
	M	m	M	m	M	m	M	m	M	m	M	m
Tunis-Manoubia	30,4	18,7	25,1	15,0	20,2	10,3	15,8	6,8	14,4	6,4	15,9	6,8
Medjez El Bab	30,5	18,3	25,6	14,1	19,5	9,7	15,2	6,4	14,0	5,0	15,6	5,5

Stations	Mars		Avril		Mai		Juin		Juillet		Août	
	M	m	M	m	M	m	M	m	M	m	M	m
Tunis-Manoubia	18,1	8,2	20,9	10,3	24,5	13,5	29,0	17,5	32,2	19,9	32,6	20,3
Medjez El Bab	18,9	6,9	22,5	9,2	26,5	12,8	33,5	17,0	34,9	18,8	34,1	19,1

• *Nombre de mois où les moyennes mensuelles des températures maximales et minimales sont comprises dans les intervalles 0-10, 10-20, 20-30, 30-40.*

STATIONS	0 ≤ T ≤ 10		10 ≤ T ≤ 20		20 ≤ T ≤ 30		30 ≤ T ≤ 40	
	M	m	M	M	M	m	M	m
Tunis-Manoubia	0	4	4	7	5	1	3	0
Medjez El Bab	0	6	5	6	3	0	4	0

• *Maxima maximorum*

STATIONS	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jl	A
Tunis-Manoubia	44	40	32	27	25	29	33	40	40	43	48	47
Medjez El Bab	47	39	32	24,2	28,4	29	34,4	38	43	45	49	48

• *Minima minimorum*

STATIONS	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jl	A
Tunis-Manoubia	11	7	3	3	-1	0	1	3	6	9	10	11
Medjez El Bab	8	5	1	1	-2	-3,8	-3	1	2,2	8,8	12	10

• *Températures moyennes mensuelles et pluies moyennes mensuelles*

La monographie de la Medjerdah (ORSTOM, DRE / 1981) compare les températures moyennes mensuelles et les pluies moyennes mensuelles en utilisant le système de représentation de PEGUY. Les climogrammes obtenus permettent une différenciation des climats assez nette, mais qui doit être précisée par les autres facteurs. Ils représentent en abscisses les températures moyennes mensuelles et en ordonnées les pluies moyennes mensuelles, chaque mois est ainsi représenté par un point. La surface du diagramme est divisée en six zones correspondant chacune à un régime donné.

Nous reproduisons en annexe 2 les climogrammes de Tunis-Manoubia et Medjez El Bab. Ces climogrammes traduisent bien la variabilité des facteurs climatiques sur la région. L'ORSTOM a récapitulé, dans un tableau, pour chaque station, le nombre de mois pour chaque type de régime. Ce tableau fait apparaître que Tunis-Manoubia et Medjez El Bab sont caractérisés par six mois *Arides* et six mois *Tempérés*.

Les données relativement proches concernant les deux stations précitées nous permettent d'appliquer les valeurs de Tunis-Manoubia au site de CILAFROU.

Evaporation - Evapotranspiration

Les mesures d'évaporation et d'évapotranspiration sont peu nombreuses. Diverses méthodes ont été employées et nous pouvons citer quelques résultats publiés par divers auteurs.

L'évaporimètre PICHE a été souvent utilisé du fait de la facilité de sa mise en œuvre. Nous donnons ci-après les résultats correspondants concernant Tunis-El Aouina et Tunis-Manoubia.

- Hauteurs évaporées en PICHE (en millimètre)*

STATIONS		S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Somme
Tunis El Aouina	T. mensuel	150	90	81	62	71,3	72,8	89,9	105	141	117	158	189	1.164
	Mo. Quot.	9,2	7,1	8	5,9	7,2	7,4	9,7	7,9	10,8	11,5	14,6	18,9	
	Mo. Quot.	1,6	0,8	0,7	0,2	0,7	0,5	0,8	0,3	1,1	1,5	2,8	2,1	
Tunis Manoubia	T. Mensuel	210	180	120	93	99,2	106	127	135	123	228	291	240	1.942
	Mo. Quot.	17,6	11,2	11,8	9	11,8	12	13	11,1	15,6	19,2	29,5	17	
	Mo. Quot.	1,8	0,8	1,2	0,4	0,0	0,4	1	0,7	1	3	2,5	3	

On remarquera l'écart entre l'évaporation annuelle totale à Tunis-Manoubia, située en ville sur la colline et Tunis-El Aouina, Aéroport altitude voisine de zéro. Ces deux stations à quelques kilomètres de distance présentent des évaporations très différentes compte tenu de leur situation topographique. Cela provient de la sensibilité trop grande du PICHE aux conditions locales.

Le tableau ci-après reproduit les valeurs d'évapotranspiration potentielles en millimètres calculées par la formule de TURC qui s'exprime par : $ETP (\text{du mois}) = (50 + Ig) \cdot 4 (111 + 15)$ où Ig est l'insolation globale

STATIONS	Automne	Hiver	Printemps	Eté	Année
Tunis-Manoubia	294	148	337	527	1.306
Medjez El Bab	266	131	325	525	1.247

Signalons également que des mesures faites à Tunis sur un bac type THORNWAITE de 4m² planté de KIKUYU par DE VILLELE ont donné les résultats suivants :

<i>Automne</i>	<i>Hiver</i>	<i>Printemps</i>	<i>Eté</i>	<i>Année</i>
304	137	359	590	1 390

Tous ces résultats confirment l'influence de l'altitude sur l'évaporation et l'évapotranspiration qui reste relativement modérée du fait des hivers froids.

Compte tenu de ce qui précède nous pouvons retenir valablement une évaporation de 1 300 mm/an pour l'oued CHAFROU.

Le vent

Le vent est un facteur important du climat pour la région. Des mesures existent à la station Tunis-Manoubia. Nous reproduisons un tableau publié par BORTOLI concernant la répartition mensuelle des vents par direction et par force.

<i>Stations</i>	<i>Direction du vent</i>	<i>J</i>	<i>F</i>	<i>M</i>	<i>A</i>	<i>M</i>	<i>J</i>	<i>Jl</i>	<i>A</i>	<i>S</i>	<i>O</i>	<i>N</i>	<i>D</i>
<i>Tunis</i>	<i>Le plus fréquent</i>	SW	NW	NW	SE	NE	NNE	NE	ESE	ESE	NW	NW	NW
<i>Manoubia</i>	<i>Le plus fort</i>	WSW	WNW	NW	NW	S	SW	NW	NNW	NW	NW	WNW	NNW

Le vent dominant est généralement le vent du Nord-Ouest. Le temps calme sans vent est peu fréquent, pas plus de 10 % des observations. Les vents forts ou très forts sont assez fréquents. Signalons le vent particulier, le Sirocco dont les effets desséchant sont considérables. Ce vent souffle généralement du Sud à Sud Ouest sauf intervention d'un relief particulier qui provoque un courant en retour du Nord, le Sirocco paraissant ainsi venir du Nord. Le Sirocco souffle généralement plus de 20 jours par an.

Bassin versant de l'oued CHAFROU

Le bassin versant présente, au droit du site amont, une superficie relativement importante de 217 km². Il est caractérisé, au niveau des reliefs, par une végétation peu dense ; les terres cultivées se trouvent en plaine dans les abords immédiats de la future retenue.

Les Hydrologues utilisent, pour caractériser la forme d'un bassin versant, l'indice de compacité de GRAVALIUS qui s'écrit : $K_c = P / 2\sqrt{\Pi A}$

P = Périmètre du bassin
A = Sa superficie

Dans notre cas $K_c = 1,30$

Le bassin de l'oued Chafrou est constitué par deux sous-bassins distincts :

- le bassin Sud contrôlé par le site "Amont" et matérialisé par le défilé topographique entre les collines de Fedja à l'Ouest et de Hmeim El Mergueb à l'Est.
- le bassin Nord pratiquement ouvert sur la vallée de la Medjerdah dans la section Tébourba/Jedaïda.

Sa surface est très plate au début et elle montre quelques bombements émergeant d'une cuvette basse et à forte tendance marécageuse aujourd'hui assainie par un réseau de tranchées de drainage.

Elle représente une plaine de fond synclinal à substratum pliocène argileux à intercalations sableuses ou gréseuses qui se poursuit du site amont jusqu'au pied des reliefs calcaires du Jebel Maina au niveau de la vallée de la Medjerdah.

Nous donnons, par ailleurs, ci-après les caractéristiques physiques du bassin versant telles qu'elles ressortent des cartes exploitées et de la note hydrologique de l'oued Chafrou établie en 1993 par Madame Abid (DGETH)

- Superficie du bassin (s)	217 km ²
- Périmètre stylisé (P)	68 km
- Coefficient compacité (C)	1,3
- Longueur du thalweg (L)	28 km
- Longueur du rectangle équivalent (l)	25,48 km
- Altitude moyenne	135,5 m
- Altitude médiane	117,8 m
- Altitude 5 %	55,8 m
- Altitude 95 %	273,7 m
- Altitude minimale	50 m
- Altitude maximale	364 m
- Dénivelée à 90 % (D)	217,9 m
- Indice de pente global (Ig)	8,55 m/cm
- Dénivelé spécifique (D _s)	125,9 m
- Pente moyenne l	11,2 m /km

REPARTITION HYSOMETRIQUE :

ALTITUDE	SUPERFICIE		
	PARTIELLE	%	CUMULEE (km ²)
50 - 100	93	42,9	93
100 - 200	87	40,0	180
200 - 300	35,5	16,4	215,5
300 - 364	1,5	0,7	217
TOTAL	217	100	

85% du bassin versant est comprise entre 50 et 200m. Le point culminant du bassin versant est lebel Mrabba, à l'altitude de 364 m.

Pluviométrie moyenne annuelle

Il n'existe pratiquement pas de station dans la région concernée par le barrage sur l'Oued Chafrou. Un seul point de jaugeage sur l'Oued Chafrou, au droit du pont sur la route GP7, permettant de contrôler et de mesurer les débits qui transitent, a été exploité entre 1976 et 1980, nous donnons en annexe 3 les mesures correspondantes. Nous disposons de quatre années de mesures ponctuelles (une cinquantaine en tout). Aucune mesure n'a été effectuée lors des crues. Nous ne pouvons donc pas exploiter ces mesures pour l'étude des crues et des apports de l'Oued Chafrou.

Cette particularité a conditionné la méthodologie suivie pour chacun des thèmes d'étude cités précédemment. Cette méthodologie a été basée sur l'étude du réseau pluviométrique régional, notamment du secteur de Tunis ainsi que la carte de la répartition régionale des hauteurs moyennes inter-annuelles des pluies sur le bassin versant de la Medjerda.

La pluviométrie a fait l'objet de plusieurs études qui ont permis de distinguer pratiquement deux saisons du point de vue pluviométrique

- une saison pluvieuse qui commence en septembre et se termine en mai
- une saison sèche qui va de Juin à Aout

Une répartition schématique des pluies tombant sur le Territoire Tunisien a fait l'objet d'un découpage réparti sur la carte présentée en annexe 4. Nous pouvons remarquer que l'Oued CHAFROU se situe dans la zone de précipitation de 400 à 600 mm par an avec 60 à 100 jours pluvieux couvrant la plus grande partie de la Tunisie Centrale. La moyenne de la pluviométrie relevée à Tunis est de 442 mm.

Par ailleurs, le bassin de l'Oued CHAFROU est limitrophe à celui de l'Oued El Hamar. Or la pluviométrie moyenne annuelle du bassin versant de l'Oued El Hamar est estimée à 420 mm selon l'étude hydrologique de cet oued établie en Juillet 1993.

Par ailleurs, la carte de Gaussen et Vernet montre que le bassin versant de l'Oued CHAFROU est situé dans la zone limitée par les isohyètes 500 et 400 mm.

Nous avons d'autre part, recueilli les données de certaines stations exploitées par ORSTOM dans leur étude du bassin de la Medjerda pour confirmer les ordres de grandeur de la pluviométrie de la région de Tunis

- Totaux annuels de la pluviométrie période 1921 -1960

STATION	SIDI THABET	TUNIS-MANOUBIA
ANNEE		
1921-1922	335	310
1922-1923	403	420
1923-1924	396	453
1924-1925	343	340
1925-1926	540	513
1926-1927	240	233

1927-1928	527	575
1928-1929	476	524
1929-1930	400	382
1930-1931	514*	459
1931-1932	440	555
1932-1933	500	478
1933-1934	543	529
1934-1935	498	611
1935-1936	511	548
1936-1937	433	476
1937-1938	363	464
1938-1939	531	641
1939-1940	547*	544
1940-1941	371	393
1941-1942	800	407
1942-1943	342	280
1943-1944	326	352
1944-1945	402	301
1945-1946	288	275
1946-1947	338	270
1947-1948	345	221
1948-1949	41	615
1949-1950	502	441
1950-1951	20	350
1951-1952	475	485
1952-1953	671	621
1953-1954	788	756
1954-1955	478	363
1955-1956	617	660
1956-1957	468	487
1957-1958	478	567
1958-1959	261	808
1959-1960	437	397
1960-1961	250	254
Nb TA	29	92
MC	455	444
MPC	465	459

MPC représente, pour chaque station, la moyenne calculée sur la période homogénéisée et MC celle calculée sur la période d'observation.

Legende:

- (--): Valeurs corrigées à partir des stations voisines.
- (*) : Année où il manque seulement quelques mois reconstitués par corrélation des stations voisines
- (.) : Valeurs reconstituées à partir de la pente des droites de doubles masses

- Etude statistique des totaux pluviométriques annuels

STATION : TUNIS - MANOUBIA						
Fréquence	Période de retour T	Pluie	Loi appliquée	Moyenne calculée	Coefficient de variation	Coefficient K_1
0,001	1000	850	GOO-DRICH	443	0,26	2,01
0,010	100	743				
0,020	50	705				
0,050	20	649				
0,100	10	599				
0,200	5	541				
0,500	2	434				
0,800	5	340				
0,900	10	299				
0,950	20	270				
0,980	50	245				
0,990	100	231				
0,999	1000	207				

K_1 = rapport des hauteurs annuelles de fréquence 0,100 et 0,900

- Totaux pluviométriques annuels observés

STATION	MAX ANNUEL mm	MIN ANNUEL mm	MOYENNE mm	NOMBRE D'ANNÉE
TUNIS, MANOUBIA	807,8	228,8	443	92

- Moyennes du nombre de jours de pluie

STATIONS	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jr	A	Année	N/A*
Tunis-Manoubia	7	9	11	14	13	12	11	9	6	5	2	3	102	0,28
Medjez El Bao	5	6	8	10	12	9	8	8	5	4	1	2	78	0,21

* N/A = Nombre de jours de pluie rapporté à 365

L'analyse conjuguée des différentes informations nous conduit à retenir, pour l'étude hydrologique de l'oued CHAFROU, une pluviométrie moyenne annuelle de 450 mm

III - 2 - 2 - Détermination des apports

• Apport moyen annuel

Une première approche pourra être établie à partir des formules générales de ruissellement qui sont des modèles empiriques déterminés et calés sur un bassin versant ou une série de bassins versants d'expérimentation. L'application de ces modèles à d'autres bassins versants doit se faire avec beaucoup de prudence. Différentes méthodes sont utilisées, certaines, comme la formule de TIXERON BERKALOFF et GHORBEL sont citées et recommandées par le guide pratique de calcul hydrologique publié par la DGRE (1991)

- Formule de TIXERON BERKALOFF

Elle s'exprime par :

$$R = P^3 / 3E^1$$

dans laquelle :

- R = Lamé ruisselée en m
- P = Pluviométrie moyenne inter-annuelle (mm)
- E = Evaporation potentielle (m) prise égale à 1 m ; valeur moyenne pondérée relative à tout le bassin versant tenant compte de l'insolation effective lors des mois pluvieux

Nous rappelons que cette formule n'est applicable que pour des bassins :

- recevant une pluviométrie inférieure à 600 mm, ce qui correspond à notre projet
- assez étendus pour que l'on puisse admettre des conditions moyennes de terrain (déclivité, étanchéité, perméabilité); ce qui peut présenter des distorsions

- Formule GHORBEL DGRE :

Elle s'écrit :

$$L = [a - b(S - SO)] [x - x_0] + c$$

avec :

- L = Lamé moyenne annuelle ruisselée (m)
- x = $P^3 \sqrt{(H_{50} - H_{min})}$
- P = Pluviométrie moyenne en mm
- a, b, c = Des constantes dépendant de x et de s
- x = est égal à 0,750
- S = superficie du bassin versant en km

Cette formule ne fait pas intervenir l'évaporation potentielle mais tient compte de la variabilité de la pluviométrie en fonction de l'espace et des altitudes spécifiques minimales et médianes du bassin.

- Formule FERSI

Elle est donnée par l'équation :

$$L = 16,6 P \sqrt{I_g}$$

avec :

- L = Lamé ruisselée annuelle en mm
- P = Précipitation moyenne en mm
- I_g = Indice de pente global en m/km

Cette formule est surtout applicable pour les zones arides et semi-arides

Le tableau ci-après donne la lame ruisselée et les apports moyens annuels déterminés à partir des trois formules précitées :

Formule	Lame ruisselée en mm	Apports en Mm ³
TIXERON	30	6,5
GHORBEL	12	2,6
FERSI	21,8	4,7

Les caractéristiques du bassin versant et notamment sa structure géologique et la nature de son couvert semblent présenter un meilleur coefficient de ruissellement que celui déterminé par les formules précédentes.

- Formule Tunisienne Modifiée

La base de données utilisée pour les études des apports comprend la pluie moyenne annuelle et l'écoulement moyen annuel du bassin versant considéré et de divers bassins versants Tunisiens. Elle a été complétée par une description des sols et de l'usage des sols pour plusieurs bassins.

Nous pouvons ainsi appliquer une formule générale, établie récemment qui permet le calcul du module de l'oued CHAFROU au site du barrage. Nous avons, également, considéré la série des apports annuels mensuels par analogie avec les pluies et des débits observés sur les bassins voisins.

Les analyses antérieures effectuées au niveau des bassins versants ont comporté une estimation des apports par application de formules régionales. Des contrastes ont apparus entre ces diverses estimations. Ils ont été attribués essentiellement à une différence d'appréciation de la pluie annuelle. Par ailleurs, d'après ce qui précède, nous pouvons constater que de nombreuses formules liant la lame écoulée annuelle (L_{ann}) à la pluie (P_m) du bassin versant existent en Tunisie, la plus ancienne étant celle de Tixeront-Berkaloff. Plus récemment, les analyses développées par M. Frigui tendent à rechercher des formules régionales de la forme :

$$L_{ann} = K_{region} \times P_m^{a(region)}$$

On notera que l'exposant $a(region)$ est voisin de 3.

Ces formules présentent l'inconvénient pour une région donnée de ne pas tenir compte des spécificités de chaque bassin. Elles décrivent donc la relation "pluie-écoulement" du bassin versant moyen tel que défini par l'échantillonnage disponible pour la mise au point de la formule utilisée. Il s'en déduit qu'à pluviométrie et aires égales, deux bassins versants dont les sols sont très différents, auront la même lame écoulée.

De nombreux auteurs ont déjà utilisé la méthode américaine de l'USCS pour des études de crue en Tunisie. Dans cette méthode, on calcule l'écoulement de crue (L_{crue}) à partir de la pluie génératrice grâce à la formule :

$$L_{crue} = (P_{crue} - 1)^2 / (P_{crue} + 4)$$

dans laquelle le paramètre I se calcule à partir du coefficient d'indexation hydrologique des sols du bassin CN à l'aide de :

$$I = 5,08 \times (1000 / CN - 10)$$

La formule se prête bien à l'application des théories de l'hydrogramme unitaire. De plus, elle offre l'avantage d'avoir fait l'objet de tableaux concernant les valeurs de CN. Ces tableaux résultent de l'analyse de nombreux bassins versants et parcelles par des Agronomes, Pédologues et Hydrologues de l'USCS. On peut également calibrer I et CN par analyse des épisodes de crues. Comme l'hydrologie tunisienne est essentiellement une hydrologie de crues, il est alors logique de se servir de CN et I afin de préciser la relation pluie-écoulement au niveau annuel. Trois états initiaux ont été définis pour le bassin versant ; on parle de conditions d'humidité antérieure AMC(I) pour le bassin sec, AMC(II) pour le bassin modérément humide et AMC(III) pour le bassin humide préalablement à l'averse génératrice proprement dite. On utilisera le paramètre I(I) qui correspond à la perte initiale du bassin lorsqu'il est sec. C'est en général le cas pour les climats rencontrés en Tunisie. Il est donc préférable de sélectionner I(I) pour décrire l'état du bassin versant. D'ailleurs le paramètre I(I) est beaucoup plus contrasté que les paramètres I(II) et I(III).

Les diverses études consultées permettent de décrire les divers bassins versants en termes de lithologie, pentes et végétation.

Ces descriptions permettent alors de définir les coefficients d'indexation CN tels qu'établis par la méthode de l'USCS. Ce calcul a été déjà fait, par le Bureau Coyne et Bellier, pour les besoins des oueds Zerga, Abid, Medjerdah et R'Mil. Pour les autres bassins ayant servi à l'établissement de la "formule tunisienne modifiée", correspondant à la formule générale précitée, on a calculé un CN "fictif" au niveau annuel. Ce CN a été ramené ensuite aux conditions AMC II (bassin modérément humide) par analogie avec les valeurs prises pour Zerga, Abid, Medjerdah.

Les développements précédents illustrent l'obtention de la "formule tunisienne modifiée". Les données relatives à 41 bassins versants recapitulent l'information analysée. Elles font l'objet du tableau présenté en annexe 5.

On y trouve le nom des oueds et des stations, l'aire des bassins versants. De plus, on y a détaillé les valeurs de la pluie annuelle du coefficient I(I), de l'écoulement et du coefficient d'écoulement.

Ce tableau permet notamment de préciser le domaine d'application de la formule mise au point

35,5	<	A	<	23,367 km ²
400	<	P _{an}	<	1200 mm
14,8	<	I(I)	<	48 mm
16	<	L _{an}	<	423,2 mm
3,5	<	C _{an}	<	35,3 %

En fonction des coefficients de l'USCS pris en compte et des résultats de la corrélation trouvée, la formule Tunisienne Modifiée, mise au point, s'écrit

$$L_{an} = 7,89 \times 10^{-5} \times I(I)^{-0,68} \times P_{an}^{1,023}$$

L'application de la théorie précédente au cas particulier du barrage sur l'oued Chafrou, pour une pluviométrie moyenne de 450 mm/an, conduit à une lame d'eau écoulée annuelle de 38 mm/an. Dans ces conditions l'apport moyen annuel est de : 8 Mm³.

Les grandeurs déterminées précédemment, comparées aux différentes approches effectuées pour des bassins du Nord et du Centre Ouest Tunisien, nous paraissent assez concordantes.

On notera, à ce titre, que la formule précédente permet d'obtenir des écoulements contrastés en fonction à la fois de la pluie et de la description du bassin versant. L'estimation des apports par son application conduit à une précision de l'ordre de 25% si I et P_m sont bien connus.

La figure jointe en annexe 6 donne une illustration de ces considérations.

A titre d'exemple, on remarquera que les valeurs extrêmes de $I(I)$ représentées sur la figure s'appuient sur des points représentatifs de l'oued Ouassafa et de l'oued Barbara. La courbe moyenne passe à travers les nuages des points représentatifs de la Medjerdah, du Cap Bon et de l'extrême Nord.

Ainsi qu'il apparaît sur cette figure, la courbe moyenne coïncide pratiquement avec celle correspondant à la formule de TIXERON. La formule Tunisienne corrigée est donc cohérente avec les formules employées par le passé, mais donne une évaluation plus précise en utilisant une information supplémentaire qui est la description des sols et de l'occupation des sols du bassin versant.

Par ailleurs, nous rappelons qu'une étude de sensibilité de I_m aux variations de P_m a été réalisée dans le cadre de l'élaboration et l'interprétation de "Eau 2000". Les résultats correspondants montrent clairement qu'une imprécision commise sur la pluviométrie se traduit par une imprécision bien plus grande sur la lame écoulée. Par exemple, lorsque la pluie passe de 100 à 130 %, l'écoulement passe de 100 à 230 %.

Dans le cadre d'études précédentes effectuées pour des barrages collinaires dans la région du Nord et du Nord Ouest de la Tunisie, le coefficient d'écoulement pris en compte a été tiré de valeurs moyennes observées sur les oueds de la région et confirmées pour la plupart par les valeurs obtenues par les formules de la DGRE et celle de FERSI. Cette dernière paraît néanmoins bien adaptée au régime des oueds de la région puisqu'elle est établie à partir des données d'observations du réseau hydrométrique régional ainsi que des propriétés physiographiques propres des bassins versants considérés. L'hypothèse de base considère les écoulements des oueds au droit des sites de barrages comme le produit des apports de crues.

En considérant les études réalisées sur les réseaux hydrométriques régionaux et en tenant compte de la taille du bassin versant au niveau du site projeté et de son relief, il nous est permis d'admettre un coefficient d'écoulement de 25 %.

Nous rappelons d'autre part, les recommandations du Guide Maghrébin pour l'exécution des études et des travaux de retenues collinaires établi par le PNUD/OPE et intitulé "ressources en eau dans les pays de l'Afrique du Nord" (mai 1987). Ce guide rappelle que les potentialités en eau du site s'évaluent à l'aide de l'apport moyen inter-annuel (A).

dans laquelle le paramètre I se calcule à partir du coefficient d'indexation hydrologique des sols du bassin CN à l'aide de :

$$I = 5,08 \times (1000 / CN - 10)$$

La formule se prête bien à l'application des théories de l'hydrogramme unitaire. De plus, elle offre l'avantage d'avoir fait l'objet de tableaux concernant les valeurs de CN. Ces tableaux résultent de l'analyse de nombreux bassins versants et parcelles par des Agronomes, Pédologues et Hydrologues de l'USCS. On peut également calibrer I et CN par analyse des épisodes de crues. Comme l'hydrologie tunisienne est essentiellement une hydrologie de crues, il est alors logique de se servir de CN et I afin de préciser la relation pluie-écoulement au niveau annuel. Trois états initiaux ont été définis pour le bassin versant ; on parle de conditions d'humidité antérieure AMC(I) pour le bassin sec, AMC(II) pour le bassin modérément humide et AMC(III) pour le bassin humide préalablement à l'averse génératrice proprement dite. On utilisera le paramètre I(I) qui correspond à la perte initiale du bassin lorsqu'il est sec. C'est en général le cas pour les climats rencontrés en Tunisie. Il est donc préférable de sélectionner I(I) pour décrire l'état du bassin versant. D'ailleurs le paramètre I(I) est beaucoup plus contrasté que les paramètres I(II) et I(III).

Les diverses études consultées permettent de décrire les divers bassins versants en termes de lithologie, pentes et végétation.

Ces descriptions permettent alors de définir les coefficients d'indexation CN tels qu'établis par la méthode de l'USCS. Ce calcul a été déjà fait, par le Bureau Coyne et Bellier, pour les besoins des oueds Zerga, Abid, Medjerdah et R'Mil. Pour les autres bassins ayant servi à l'établissement de la "formule tunisienne modifiée", correspondant à la formule générale précitée, on a calculé un CN "fictif" au niveau annuel. Ce CN a été ramené ensuite aux conditions AMC II (bassin modérément humide) par analogie avec les valeurs prises pour Zerga, Abid, Medjerdah.

Les développements précédents illustrent l'obtention de la "formule tunisienne modifiée". Les données relatives à 41 bassins versants recapitulent l'information analysée. Elles font l'objet du tableau présenté en annexe 5.

On y trouve le nom des oueds et des stations, l'aire des bassins versants. De plus, on y a détaillé les valeurs de la pluie annuelle du coefficient I(I), de l'écoulement et du coefficient d'écoulement.

Ce tableau permet notamment de préciser le domaine d'application de la formule mise au point

35,5	<	A	<	23,367 km ²
400	<	P _{an}	<	1200 mm
14,8	<	I(I)	<	48 mm
16	<	L _{an}	<	423,2 mm
3,5	<	C _{ran}	<	35,3 %

En fonction des coefficients de l'USCS pris en compte et des résultats de la corrélation trouvée, la formule Tunisienne Modifiée, mise au point, s'écrit :

$$L_{an} = 7,89 \times 10^{-5} \times I(I)^{-1,048} \times P_{an}^{1,023}$$

L'application de la théorie précédente au cas particulier du barrage sur l'oued Chafrou, pour une pluviométrie moyenne de 450 mm/an, conduit à une lame d'eau écoulée annuelle de 38 mm/an. Dans ces conditions l'apport moyen annuel est de : 8 Mm³.

Les grandeurs déterminées précédemment, comparées aux différentes approches effectuées pour des bassins du Nord et du Centre Ouest Tunisien, nous paraissent assez concordantes.

On notera, à ce titre, que la formule précédente permet d'obtenir des écoulements contrastés en fonction à la fois de la pluie et de la description du bassin versant. L'estimation des apports par son application conduit à une précision de l'ordre de 25% si I et P_m sont bien connus.

La figure jointe en annexe 6 donne une illustration de ces considérations.

A titre d'exemple, on remarquera que les valeurs extrêmes de $I(I)$ représentées sur la figure s'appuient sur des points représentatifs de l'oued Oussafa et de l'oued Barbara. La courbe moyenne passe à travers les nuages des points représentatifs de la Medjerdah, du Cap Bon et de l'extrême Nord.

Ainsi qu'il apparaît sur cette figure, la courbe moyenne coïncide pratiquement avec celle correspondant à la formule de TIXERON. La formule Tunisienne corrigée est donc cohérente avec les formules employées par le passé, mais donne une évaluation plus précise en utilisant une information supplémentaire qui est la description des sols et de l'occupation des sols du bassin versant.

Par ailleurs, nous rappelons qu'une étude de sensibilité de L_{eq} aux variations de P_m a été réalisée dans le cadre de l'élaboration et l'interprétation de "Eau 2000". Les résultats correspondants montrent clairement qu'une imprecision donnée sur la pluviométrie se traduit par une imprecision bien plus grande sur la lame écoulée. Par exemple, lorsque la pluie passe de 100 à 130 %, l'écoulement passe de 100 à 230 %.

Dans le cadre d'études précédentes effectuées pour des barrages collinaires dans la région du Nord et du Nord Ouest de la Tunisie, le coefficient d'écoulement pris en compte a été tiré de valeurs moyennes observées sur les oueds de la région et confirmées pour la plupart par les valeurs obtenues par les formules de la DGRE et celle de FERSI. Cette dernière paraît néanmoins bien adaptée au régime des oueds de la région puisqu'elle est établie à partir des données d'observations du réseau hydrométrique régional ainsi que des propriétés physiographiques propres des bassins versants considérés. L'hypothèse de base considère les écoulements des oueds au droit des sites de barrages comme le produit des apports de crues.

En considérant les études réalisées sur les réseaux hydrométriques régionaux et en tenant compte de la taille du bassin versant au niveau du site projeté et de son relief, il nous est permis d'admettre un coefficient d'écoulement de 25 %.

Nous rappelons d'autre part, les recommandations du Guide Maghrébin pour l'exécution des études et des travaux de retenues collinaires établi par le PNUD/OPE et intitulé "ressources en eau dans les pays de l'Afrique du Nord" (mai 1987). Ce guide rappelle que les potentialités en eau du site s'évaluent à l'aide de l'apport moyen inter-annuel (A).

Le modèle rationnel des formules de calcul de l'apport se présente sous la forme suivante :

$$A = C_e \times P \times S$$

ou :

- A : apport moyen inter-annuel (en m^3)
 P : pluviométrie moyenne inter-annuelle (en m) déterminée à partir d'une carte pluviométrique ou de séries d'observations représentatives
 S : superficie du bassin versant au droit du site projeté (en m^2) Elle est déterminée par planimétrie sur la carte topographique ou sur les photographies aériennes
 C_e : coefficient d'écoulement (sans dimension)

Pour l'estimation du C_e on peut utiliser la relation $C_e = f(P)$, mise au point en Algérie avec les données de base de 18 petits bassins versants de superficie $20 < S < 200 \text{ km}^2$.

Au lieu de tracer une relation moyenne, on a préféré des courbes enveloppes pour permettre aux projeteurs de tenir compte des conditions d'écoulement spécifiques de chaque bassin versant. L'enveloppe supérieure représente des conditions très favorables à l'écoulement (sols imperméables, nus, sans végétation), l'enveloppe inférieure des conditions défavorables (sols perméables, boisés). Dans cette relation, une différenciation a été faite entre écoulement pérenne et temporaire ; ce dernier, sûrement le plus fréquent dans les oueds envisageables pour la réalisation d'une retenue collinaire, est en moyenne de 20 à 30 % inférieur.

Le PNUD recommande, pour la Tunisie, pour le calcul en première approximation, de l'apport moyen inter-annuel, la formule

$$A = 1/3 P^{1/3} S \text{ qui utilise les symboles et les unités de mesure de la formule précédente}$$

Son application conduit à un volume d'apport moyen de : $6,6 \text{ Mm}^3$.

Les différentes approches effectuées précédemment militent en faveur de la validité de la formule de TIXERON et de la formule Tunisienne Modifiée. Nous pensons que l'apport moyen inter-annuel se situe entre les deux valeurs déterminées par ces deux formules.

Nous retiendrons, pour les besoins de notre étude, un volume d'apport moyen annuel de 7 Mm^3 .

Estimation des apports annuels fréquents

Dans le rapport intitulé "Etude hydrologique de l'oued Chafrou" établie par la DGE/TH en 1993, les apports fréquents ont été évalués par la méthode des paramètres régionaux soit :

$$A_T = R_{15} \cdot A$$

avec :

- A_T = Apport annuel de récurrence T
 R_{15} = Paramètre régional des volumes correspondant à la récurrence
 A = Apport moyen annuel

R_{TV} est calculé par l'équation suivante relative à l'oued Méliane, Oued El Habab et Oued El Bey proches de l'oued CHAFROU.

$$R_{TV} = 365 T^{0.22} - 3,6$$

Les résultats de calcul sont présentés au tableau suivant :

T ans	2	5	10	20	50	100
R_{TV}	0,54	1,47	2,3	3,28	4,81	6,2
Apports en Mm^3	3,8	10,3	16,1	22,9	33,7	43,4

Nous relevons, au niveau des développements précédents, des distorsions qui nous conduisent à opter pour la détermination des apports annuels fréquentiels à l'application de la méthode de Mr Ghorbel recommandée par le PNUD.

Méthode de M. Ghorbel :

En Tunisie M. Ghorbel a élaboré des formules régionales donnant les rapports :

$$R_{T.V} = MT / M$$

de l'apport annuel fréquentiel MT par l'apport annuel moyen M.

Les paramètres $R_{T.V}$ ont été calculés en utilisant des lois d'ajustement statistique pour les quatre zones pluviométriques présentées en annexe 4 :

Zone I : recevant annuellement plus de 600 mm de pluie, composée du bassin du lac Ichkeul, des oueds cotiers de l'extrême Nord et des affluents rive gauche de la Medjerdah

Zone II : recevant de 600 à 400 mm couvrant la vallée de la Medjerdah, le cap Bon et le bassin du Miliane

Zone III : recevant de 400 à 200 mm couvrant les bassins des oueds Marguellil et Zéroud

Zone IV : recevant moins de 200 mm couvrant le Sud du Pays

L'étude a établi les lois suivantes des valeurs de R en fonction de la période de retour T (en années) :

Zone I :	$R_{T.V} =$	$0,92 \log T + 0,66$
Zone II :	$R_{T.V} =$	$1,27 \log T + 0,46$
Zone III :	$R_{T.V} =$	$1,53 \times T - 0,99$
Zone IV :	$R_{T.V} =$	$3,65 \times T - 3,60 T.V$

Le tableau ci-dessous donne les valeurs régionales R_T v des quatres zones mentionnées ci-dessus, relatives aux périodes de retour 2, 5, 10, 50 et 100 ans :

Période de retour Zone	2	5	10	20	50	100
I	0,94	1,30	1,58	1,86	2,22	2,50
II	0,84	1,35	1,73	2,10	2,62	3,00
III	0,83	1,30	1,73	2,25	3,08	3,85
IV	0,54	1,47	2,30	3,28	4,81	6,20

Le bassin versant de l'oued CHAFROU se situe dans la zone II d'où les résultats ci-après :

T ans	2	5	10	20	50	100
R_T	0,84	1,35	1,73	2,10	2,62	3,00
Apports en Mm^3	5,88	9,45	12,11	14,7	18,55	21,0

Nous rappelons que la correspondance des fréquences des apports et des précipitations annuelles, souvent adoptées comme hypothèse de travail pour calculer l'apport fréquentiel à partir de la pluviométrie de même fréquence n'est pas toujours et partout vérifiée

C'est pourquoi on préconise, pour le calcul de l'apport fréquentiel, d'utiliser des lois d'ajustement statistique (GAUSS, GALTON ou PEARSON) Leur utilisation nécessite la connaissance de deux paramètres, la moyenne et l'écart type ou le coefficient de variation.

Il est possible de reconstituer, à partir du module moyen inter-annuel, de la répartition des pluies annuelles et de quelques hypothèses sur la répartition fréquentielle des apports, les apports mensuels par années, sèches, humides et normales.

Les hypothèses à la base de ce calcul sommaire sont :

- 1 La répartition des apports annuels suit la répartition de la pluviométrie annuelle
- 2 On suppose que la loi statistique des apports suit une loi normale, de moyenne l'apport inter-annuel et d'écart type $C = 0,93 / (0,23M)$, où M est l'apport inter-annuel rapporté à la superficie de la retenue (relation de Padoun)
- 3 Le module inter-annuel est de $7 Mm^3$ pour une superficie de bassin versant de $217 km^2$

Sous ces hypothèses on obtient les résultats suivants :

APPORTS ANNUELS OUED CHAFROU	
Année sèche (de période de retour 5 ans)	1 Mm^3
Année moyenne	7 Mm^3
Année humide (de période de retour 5 ans)	10 Mm^3

III - 2 - 3 - Etude des crues

A titre préliminaire et pour fixer un ordre de grandeur de la crue probable nous pouvons utiliser les valeurs suivantes de débit spécifique en fonction de l'étendue du bassin recommandées par le PNUD/OPE dans son ouvrage précité :

Superficie S en km^2	Débit spécifique q en $m^3 / s / km^2$
1	15 - 22
5	12 - 18
10	7,5 - 12
100	3 - 5

L'étude des crues intéresse l'ensemble du bassin versant. En prenant, compte tenu de sa superficie, une valeur moyenne de 5 comme débit spécifique, nous obtenons un débit de crue de l'ordre de $1\ 085\ m^3/s$.

Le PNUD/OPE recommande plusieurs méthodes pour le calcul du débit maximal instantané de fréquence donnée. Ces méthodes sont utilisables selon les données disponibles. Il fait état également des formules régionales établies en Tunisie.

Compte tenu de la non-disponibilité des relevés hydrométriques sur l'oued CHAFROU, les débits de pointe peuvent être déterminés aussi par les méthodes suivantes :

- Approche statistique :
méthode des paramètres régionaux avec ses deux versions :
- version de A. GHORBEL
- version de M. FERSI
- Formules théoriques :
Formule de KALLEL

D'autre part, une estimation peut être faite de la crue maximale probable (CMP) à partir de la méthode préconisée par l'US Corps of Engineers. Pour le calcul du débit de pointe de la CMP, on peut considérer une pluie maximale observée de 125 mm au niveau des bassins versants de la vallée de la Medjerda. Cette valeur est tirée de la crête de la pluviométrie maximale - série de 80 ans.

Nous rappelons ci-après les formules régionales Tunisiennes admises par le PNUD/OPE dans son guide Maghrébin.

Formule de Kallel

Suite à un inventaire de tous les débits maximaux permettant leur régionalisation, a été tirée en 1977 la relation :

$$Q_T = 2,35 S^{0,81} T^{0,44}$$

avec :

Q_T : débit maximum de période de retour T , en m^3/s

III - 2 - 3 - Etude des crues

A titre préliminaire et pour fixer un ordre de grandeur de la crue probable nous pouvons utiliser les valeurs suivantes de débit spécifique en fonction de l'étendue du bassin recommandées par le PNUD/OPE dans son ouvrage précité :

Superficie S en km^2	Débit spécifique q en $m^3 / s / km^2$
1	15 - 22
5	12 - 18
10	7,5 - 12
100	3 - 5

L'étude des crues intéresse l'ensemble du bassin versant. En prenant, compte tenu de sa superficie, une valeur moyenne de 5 comme débit spécifique, nous obtenons un débit de crue de l'ordre de $1\,085\, m^3/s$.

Le PNUD/OPE recommande plusieurs méthodes pour le calcul du débit maximal instantané de fréquence donnée. Ces méthodes sont utilisables selon les données disponibles. Il fait état également des formules régionales établies en Tunisie.

Compte tenu de la non-disponibilité des relevés hydrométriques sur l'oued CHAFROU, les débits de pointe peuvent être déterminés aussi par les méthodes suivantes :

- Approche statistique :
 - méthode des paramètres régionaux avec ses deux versions :
 - version de A. GHORBEL
 - version de M.FERSI
- Formules théoriques :
 - Formule de KALLEL

D'autre part, une estimation peut être faite de la crue maximale probable (CMP) à partir de la méthode préconisée par l'US Corps of Engineers. Pour le calcul du débit de pointe de la CMP, on peut considérer une pluie maximale observée de 125 mm au niveau des bassins versants de la vallée de la Medjerda. Cette valeur est tirée de la crête de la pluviométrie maximale - série de 80 ans.

Nous rappelons ci-après les formules régionales Tunisiennes admises par le PNUD/OPE dans son guide Maghrébin.

Formule de Kallel

Suite à un inventaire de tous les débits maximaux permettant leur régionalisation, a été tirée en 1977 la relation :

$$Q_T = 2,35 S^{0,31} T^{0,44}$$

avec :

Q_T : débit maximum de période de retour T , en m^3/s

S : surface du bassin versant, en km²
 T : période de retour, en années

Cette formule a été reprise et publiée sous une forme générale dans le "Guide Pratique de calculs hydrologiques" en Juillet 1991; à savoir :

$$q = q_0 S^a T^b$$

avec :

q : débit spécifique en m³ / s / km²
 S : superficie du bassin versant en km²
 q₀, a, b : constantes régionales

Pour le Nord de la Tunisie, cette formule devient :

$$Q_{max} = 5,5 \sqrt{S} T^{0,41}$$

- Méthode de M. GHORBEL

En Tunisie Mr. GHORBEL a élaboré des formules régionales donnant les rapports :

$$R_{TQ} = Q_T \text{ Max} / Q_{max}$$

du débit de pointe de période de retour T par la moyenne des débits maxima annuels

Q_{max} est une valeur caractéristique d'un bassin donné appartenant à la région considérée. Il dépend des caractéristiques physiques d'un bassin donnée (superficie, compacité, longueur de l'oued) et d'un paramètre qui caractérise l'abondance du régime pluviométrique (pluviosité).

Le paramètre R_{TQ} tient compte des caractères propres à une région donnée comme par exemple : l'exposition géographique, l'irrégularité des régimes pluviométriques et hydrométrique, la nature du sol, etc...

Pour les trois indiquées en annexe 4, l'étude a établi les équations suivantes des valeurs de R_{TQ} en fonction de T :

Zone I : $1,33 \log T + 0,46$
 Zone II : $1,07 \text{ e } T^{0,4} - 0,71$
 Zone III : $1,47 \text{ e } T^{0,4} - 1,35$

Le site appartient à la zone II

Le tableau ci-dessous donne les valeurs régionales de R_{TQ} relatives aux périodes de retour 2, 5, 10, 20, 50, 100 et 1000 ans :

Période de retour Zone	2	5	10	20	50	100	1000
I	0,86	1,39	1,79	2,19	2,72	3,12	
II	0,70	1,33	1,98	2,84	4,40	6,04	16,20
III	0,59	1,45	2,34	3,52	5,68	7,93	

S : surface du bassin versant, en km²
 T : période de retour, en années

Cette formule a été reprise et publiée sous une forme générale dans le "Guide Pratique de calculs hydrologiques" en Juillet 1991; à savoir :

$$q = q_0 S^a T^b$$

avec :

q : débit spécifique en m³ / s / km²
 S : superficie du bassin versant en km²
 q₀, a, b : constantes régionales

Pour le Nord de la Tunisie, cette formule devient :

$$Q_{max} = 5,5 \sqrt{S} T^{0,41}$$

- Méthode de M. GHORBEL

En Tunisie Mr. GHORBEL a élaboré des formules régionales donnant les rapports :

$$R_{TQ} = Q_T \text{ Max} / Q_{max}$$

du débit de pointe de période de retour T par la moyenne des débits maxima annuels

Q_{max} est une valeur caractéristique d'un bassin donné appartenant à la région considérée. Il dépend des caractéristiques physiques d'un bassin donnée (superficie, compacité, longueur de l'oued) et d'un paramètre qui caractérise l'abondance du régime pluviométrique (pluviosité).

Le paramètre R_{TQ} tient compte des caractères propres à une région donnée comme par exemple : l'exposition géographique, l'irrégularité des régimes pluviométriques et hydrométrique, la nature du sol, etc....

Pour les trois indiquées en annexe 4, l'étude a établi les équations suivantes des valeurs de R_{TQ} en fonction de T :

Zone I : $1,33 \log T + 0,46$
 Zone II : $1,07 e T^{0,4} - 0,71$
 Zone III : $1,47 e T^{0,4} - 1,35$

Le site appartient à la zone II.

Le tableau ci-dessous donne les valeurs régionales de R_{TQ} relatives aux périodes de retour 2, 5, 10, 20, 50, 100 et 1000 ans :

Période de retour Zone	2	5	10	20	50	100	1000
I	0,86	1,39	1,79	2,19	2,72	3,12	
II	0,70	1,33	1,98	2,84	4,40	6,04	16,20
III	0,59	1,45	2,34	3,52	5,68	7,93	

Le rapport R_{TQ} étant connu, le problème consiste à déterminer Q_{max} pour pouvoir tirer $Q_{T,Max}$ de la relation :

$$Q_{T,Max} = R_{TQ} \times Q_{max}$$

L'étude de M. GHORBEL a abouti aux résultats suivants :

a) Pour les Oueds des régions I et II et lorsque l'oued prend source dans la dorsale (région III) et présente de faibles pentes au droit de la section et sur quelques kilomètres en amont

$$Q_{max} = K \times S^{0,8}$$

avec :

- K = $1,075 (p - 1,429) + 1,304$
- p = $(\sqrt{P \times \Delta H / L}) / IC$
- S = Surface du bassin versant en km^2
- P = module pluviométrique annuel en mm
- ΔH = différence d'altitude entre la médiane et l'exutoire du bassin versant en m
- L = longueur de l'oued depuis l'exécutoire jusqu'au point le plus éloigné en km
- IC = indice de compacité = $C / 2\sqrt{\pi S}$ C étant le périmètre du bassin en km

b) Pour les oueds de la dorsale à fortes pentes au droit de la section et sur quelques kilomètres en amont :

$$Q_{max} = 2,86 \times S^{0,8}$$

L'auteur de l'étude recommande :

- l'application de la méthode à des bassins de faible superficie ne pose pas de problème mais la prudence est tout de même nécessaire
- la méthode ne peut être appliquée qu'aux régions où elle a été déterminée, c'est à dire aux bassins de la Tunisie du Nord et de Sebket El Kelbia

Les résultats de calcul des débits de pointe obtenus par les différentes méthodes sont consignés dans le tableau suivant :

Formules	Période de retour (en années)					
	5	10	20	50	100	1000
Méthode des paramètres régionaux						
- A Ghorbel	62	93	133	207	300	761
- M Fersi	76	106	160	246	353	895
Formule de Kallel	156	208	276	402	535	1375

• Formule LEVRAT

Dans son étude hydrologique de l'oued CHAFROU établie en 1993, Madame Abid (DG/ETH) a retenu les valeurs de crue calculées par application des formules LEVRAT

Le rapport R_{TQ} étant connu, le problème consiste à déterminer Q_{max} pour pouvoir tirer $Q_{T,Max}$ de la relation :

$$Q_{T,Max} = R_{TQ} \times Q_{max}$$

L'étude de M. GHORBEL a abouti aux résultats suivants :

a) Pour les Oueds des régions I et II et lorsque l'oued prend source dans la dorsale (région III) et présente de faibles pentes au droit de la section et sur quelques kilomètres en amont :

$$Q_{max} = K \times S^{0.8}$$

avec :

- K = $1,075 (p - 1,429) + 1,304$
- p = $(\sqrt{P \times \Delta H / L}) / IC$
- S = Surface du bassin versant en km^2
- P = module pluviométrique annuel en mm
- ΔH = différence d'altitude entre la médiane et l'exutoire du bassin versant en m
- L = longueur de l'oued depuis l'exécutoire jusqu'au point le plus éloigné en km
- IC = indice de compacité = $C / 2\sqrt{\pi S}$ C étant le périmètre du bassin en km

b) Pour les oueds de la dorsale à fortes pentes au droit de la section et sur quelques kilomètres en amont :

$$Q_{max} = 2,86 \times S^{0.8}$$

L'auteur de l'étude recommande :

- l'application de la méthode à des bassins de faible superficie ne pose pas de problème mais la prudence est tout de même nécessaire
- la méthode ne peut être appliquée qu'aux régions où elle a été déterminée, c'est à dire aux bassins de la Tunisie du Nord et de Sebkhet El Kelbia

Les résultats de calcul des débits de pointe obtenus par les différentes méthodes sont consignés dans le tableau suivant :

Formules	Période de retour (en années)					
	5	10	20	50	100	1000
Méthode des paramètres régionaux						
- A Ghorbel	63	93	133	207	300	761
- M Fersi	76	106	160	246	353	895
Formule de Kallel	156	208	276	402	535	1375

- Formule LEVRAT

Dans son étude hydrologique de l'oued CHAFROU établie en 1993, Madame Abid (DG/ETH) a retenu les valeurs de crue calculées par application des formules LEVRAT.

Nous reproduisons ci-après le développement correspondant :
L'expression générale de ces formules est la suivante :

$$\begin{aligned} V_o &= A S^b (\log T)^c \\ Q_p &= B S^a (\log T)^d \end{aligned}$$

avec :

- V_o = volume de la crue de période de retour en $10^6 m^3$
 Q_p = débit de pointe en m^3/s
 S = superficie du BV en km^2
 T = période de retour a b c d = constantes régionales

Ces formules ont été calées par COB pour différentes régions en Tunisie et notamment :

- La Tunisie Centrale (Oued Zéroud et Oued Merguellil)
- La région du Cap-Bon (Oued Chiba, Oued Masri)
- La région du Sahel (Oued Nebhana, Oued R'Mel)
- La région de la Medjerdah (Oued Siliana)

Pour le bassin versant de l'oued Siliana, les formules deviennent :

$$- V_o = 0,093 S^{0,9} (\log T)^{1,25} \quad (1)$$

$$- Q_p = 32 S^{0,5} (\log T)^{1,15} \quad (2)$$

Ces formules sont une adaptation par COB aux valeurs déterminées pour le Nebhana. En effet, pour le barrage Nebhana ($850 km^2$) l'étude hydrologique réalisée par COTHA en 1956 a conduit aux valeurs caractéristiques de crues suivantes :

T	$Q m^3/s$ de Nebhana	Valeur de crue en 72 h $10^6 m^3$
10	1100	36
100	2250	100
10 000	4500	230

Cette étude reposait sur l'analyse des enregistrements de débits réalisés entre 1929 et 1956. La loi d'ajustement retenue est la loi de Gumbel. Le calage des formules de Levrat sur les caractéristiques de la crue dix-millénale a conduit au système d'équation (1) et (2). Ce système d'équation a été adopté par COB pour l'étude hydrologique :

- de l'oued Siliana au niveau du barrage Siliana ($1 040 km^2$)
- de l'oued Khalled au niveau du barrage Khalled 1 ($405,4 km^2$)

L'application des formules précédentes donne

Crue oued CHAFROU				
Période de retour	10	50	100	1000
$Q (m^3/s)$ LEVRAT	471	866	1045	1667

Madame Abid fait remarquer, à juste titre, qu'au niveau de la crue centennale les valeurs vont du simple au double pour les 3 méthodes ; la plus faible étant celle de Ghorbel

Pour la crue millénale, les valeurs de crue données par les formules de Kallel et Levrat se rapprochent.

Pour la sécurité de l'ouvrage et des habitants à l'aval, compte tenu du régime des crues et du manque d'information, il est effectivement prudent de retenir les valeurs de crue estimées par LEVRAT. Les volumes de crue correspondants sont consignés dans le tableau suivant :

T	10	50	100	1000
$Qp \text{ m}^3/\text{s}$	471	866	1045	1667
$Vo \text{ Mm}^3$	11	22	28	46

Temps de concentration :

t_c peut être déterminé par la formule de KIRPICH

$$t_c = 0,945 \cdot L^{1,333} / D^{0,385}$$

avec :

L = Longueur du Talweg principal en km

D = Différence d'altitude entre les extrémités du Talweg en m

d'où

$$t_c = 0,945 \cdot 28^{1,333} / 95^{0,385} = 7,6 \text{ h}$$

Nous déterminons par ailleurs, par la méthode de Sokolovsky l'hydrogramme de la crue par application des deux équations paraboliques suivantes :

$$Q_t = Q_{\max} \times (t / t_m)^2$$

et

$$Q_t = Q_{\max} \times (t_d - t / t_d)^2$$

Elles permettent de tracer respectivement la montée de la crue et la décrue.

Pour le cas des crues d'averses, cette méthode suppose $t_m = t_c$ et $t_d = c t_m$, où le coefficient c est tabulé en fonction de la taille du cours d'eau, de la perméabilité et du taux de boisement du bassin versant.

Pour les petits cours d'eau et les vallons dans des bassins versants dénudés et faiblement perméables $c = 2 - 2,5$; et pour les petits cours d'eau et les vallons dans des bassins versants boisés ou perméables $c = 3 - 4$.

Le volume de la crue se calcule par planimétrie de l'hydrogramme.

III - 2 - 4 - Etude des apports solides

III - 2 - 4 - 1. Erosion hydrique

En Tunisie, environ 3 millions d'ha sont soumis au processus d'érosion hydrique dont l'ampleur et les impacts varient d'une région à l'autre. En se basant sur une importante masse d'informations (DRE, Dir. Sols, Dir. CES, ORSTOM), HAMZA (1993) a quantifié les pertes en terre du territoire Tunisien sous l'effet de l'érosion hydrique. Les données de base sont :

- les mesures des stations hydrométriques : le transport total en suspension est donné par la turbidité moyenne multipliée par l'apport liquide annuel moyen. Le transport solide total est ensuite calculé en additionnant la charge de fond estimée en moyenne à 24 % du transport en suspension (étude de l'envasement de 7 barrages Tunisiens par GHORBEL et CLAUDE (1977) ;
- pour les régions non contrôlées ou démunies de stations hydrométriques, les mesures sur bassin versant ou parcelle d'érosion ont été utilisées.

Les résultats obtenus sont les suivants :

Région	Superficie (km ²)	Apport moy (Mm ³)	Concentr MES (g/l)	App. solide en susp (10 ³ T)	App. solide tot (10 ³ T)	Dégrad. Spécif (t/km ² /an)	Lame érodée mm/an
Nord-Est	7 410	250	65	8,1	10,5	1 417	1
Nefza-Ichkeul	4 866	800	50	28,0	34,7	7 132	5
Medjerda	16 100	1 000	30	29,7	36,8	1 552	1,1
Centre	14 400	19	-	-	10,4	726	0,5
Sahel	13 270	60	-	-	2,1	156	0,1
Centre-Sud	17 350	120	-	-	11,4	577	0,4
Sud	32 315	120	-	-	2,6	119	0,08

La perte totale de terre est donc évaluée à 108,5 10³T de sédiments. Le territoire Tunisien perd ainsi 0,5 mm/an avec un maximum de 5 mm au Nord-Ouest et un minimum de 0,08 mm dans le Sud. En 1984, HAMZA et HENTATI ont étudié le bassin versant de l'Oued Zéroud et ont calculé une tranche de sol découpée de 2,2 mm/an, correspondant à 31 millions de tonnes de sédiments mobilisés annuellement.

En supposant une épaisseur moyenne des sols en Tunisie de 50 cm et une lame érodée de 0,5 mm/an, la perte annuelle sous l'effet de l'érosion hydrique est donc de 15 351 ha. Pour chaque région la perte annuelle en ha est :

Nord-Est	Nefza-Ichkeul	Medjerda	Centre	Sahel	Centre-Sud	Sud
7 155	3 542	1 482	1 440	140	265	65

Le rapport National sur l'état de l'environnement (1994) présente la situation suivante de l'érosion hydrique en Tunisie. En se basant sur la moyenne des débits solides enregistrés dans les stations hydrométriques, le volume annuel global de matériaux charriés est d'environ 30 Millions de m³, répartis sur environ 10 millions d'ha (superficie des bassins versants contrôlés par des stations de mesure), soit une perte annuelle moyenne de 5t/ha. Le volume des produits

de l'érosion qui échappe aux mesures étant estimé à 20 ou 30 % du volume mesuré, la perte en terre due au ruissellement est donc de 36 à 40 millions de m³ par an. Le taux d'envasement moyen des barrages est actuellement de 25,8 millions de m³ par an.

Le phénomène d'érosion hydrique est très régulier : les grosses crues engendrent une érosion très importante. Lors des inondations de 1969, l'oued Zéroud a charrié 250 millions de tonnes de sédiments (pour moins de 6 millions de t/an en période normale). De même, la Medjerda a charrié lors des crues de 1973, 100 millions de tonnes en 6 jours (pour 22 millions de t/an en période normale).

La dégradation des sols en Tunisie est en progression constante malgré les efforts entrepris. L'utilisation des indices d'érosion potentielle, qui expriment le risque de dégradation des terres, permet d'obtenir des valeurs variant de 50 t/ha/an au Nord à moins de 10 t/ha/an au Sud (MTIMET, 1993). D'autre part, on observe une progression des taux de matières en suspension dans les oueds. Pour l'oued Zéroud, on a mesuré à Sidi Saad un taux de MES de 42g/ en 1954, 47,4 g/l en 1957, 47 g/l en 1964, 59 g/l en 1974 et 51 g/l en 1982 ; Dans le bassin versant de l'oued Nebhana, des mesures ont montré une augmentation régulière de la turbidité moyenne des eaux : 15 g/l vers 1930, 33 g/l en 1950, 37 g/l en 1960 et 46 g/l en 1975 (HAMZA, 1993).

Nous sommes particulièrement sensibles à l'importance des problèmes correspondants en Tunisie et de la difficulté qu'il y a à estimer l'envasement des retenues. Néanmoins, nous nous basons sur une banque de données objet de l'annexe 7 ci-jointe pour établir une première approche. On notera que cette annexe englobe les éléments bien connus concernant la Tunisie et fait état d'information sur l'Algérie et le Maroc.

L'apport solide annuel est estimé par la formule suivante :

$$L_s = K_s A^{-0,247} (L_{ann})^{0,267}$$

avec :

- L_s = apport solide annuel en tonnes/km²/an
- A = aire du bassin versant en km²
- L_{ann} = lame d'eau écoulée annuelle en mm/an
- K_s = coefficient caractéristique du bassin versant

Données régionales et locales

Le tableau ci-après intitulé «valeurs de K_s en fonction des formations lithologiques» présente les statistiques que l'on peut extraire de la banque de données citée en annexe :

Lithologie (1)	n (2)	Moyenne M (3)	Ecart-type S (4)	C_s (5)	Max (6)	Min (7)	Max min (8)
Sédimentaire	7	576	246	0,428	910	291	3
Calcaire	18	587	591	1,007	1679	18	94
Gres	21	765	605	0,791	2087	57	37
Schistes	14	1336	784	0,587	2816	532	5
Marno-calcaire	22	1741	1131	0,649	4349	197	22
Marne-gres	18	2632	1450	0,541	4731	773	6
Marne	33	2826	1532	0,542	6879	374	18
Marno-Schiste	14	3993	1862	0,466	7900	842	9

L'échelle des valeurs moyennes montre que la lithologie du bassin versant influe notablement sur l'importance des transports solides usuellement mesurés par le paramètre t_s . On peut se servir des indications de ce tableau ainsi que de la description du bassin versant pour estimer la valeur de K_s qu'il convient d'attribuer à l'oued Chafrou.

Nous rappelons que la géologie de la région se caractérise par une structure sédimentaire avec une prédominance de formations argileuses en couverture. La surface des dépôts alluvionnaires peut être estimée à 50 % de la totalité de l'aire du bassin versant. En première approche, une valeur de $K_s = 800$ nous paraît réaliste malgré l'importance des dépôts actuels dans le lit de l'oued.

L'application de la formule précédente conduit à :

$$t_s = 800 (217)^{0.247} (38)^{0.268} \approx 572 \text{ t / km}^2/\text{an}$$

Soit un apport annuel de 125 000 t/an. Cette valeur paraît relativement faible.

Le guide Maghrébin du PNUD/OPE fait remarquer qu'en raison des difficultés de la mesure des transports solides, en suspension et par charriage, les données d'observation concernant ce paramètre à l'exutoire de petits bassins versant sont très rares. Un certain nombre d'études concernant le paramètre transport solide sont actuellement en cours d'élaboration dans les Pays du Maghreb. Le recours à des formules empiriques ou abaques est inévitable en tenant compte toutefois que la plupart d'entre elles ont été mises au point à partir de données observées sur des grands bassins versants. Il s'avère donc délicat de faire une étude de l'envasement des retenues d'une précision acceptable. Néanmoins en recoupant diverses méthodes d'estimation et les appréciations sur les caractéristiques physiques du bassin versant, on peut avancer un ordre de grandeur qui permettra de dimensionner la tranche morte de la retenue pour un temps dépendant de l'importance de l'aménagement. A titre indicatif, le guide Maghrébin précité signale qu'en Algérie les taux d'abrasion généralement considérés dans les études de retenues collinaires varient de 1500 à 5300 t/km²/an. En Italie, pour des terrains érodables et en grand désordre géo-hydrologique, ce taux varie de 1400 à 2100 t/km²/an.

Le taux minimum de 1500 t/km²/an nous paraît plausible compte tenu des observations faites sur des retenues existantes. Il correspond à un apport annuel de 325 500 t/an.

Plusieurs formules sont admises dans le cadre du guide Maghrébin. Nous appliquons deux d'entre elles à titre de recoupement des grandeurs avancées précédemment :

Formule de Fournier (1960)

Basée sur les données recueillies dans 104 bassins de superficie supérieure à 2 000 km² appartenant à différentes régions du globe, la formule fait intervenir la notion de contraste et d'abondance pluviométrique ainsi que l'orographie des bassins

$$E = (1/36) (P_m^2 / P_m)^{2.65} (h^2 / S)^{0.46}$$

E = Apports solides spécifiques moyens annuels (t/km²/an)

P_m = Pluie mensuelle moyenne du mois le plus pluvieux (mm)

P_m	=	Pluie moyenne annuelle (mm)
h	=	Dérivée moyenne = $H - H_{min}$ (m)
S	=	Superficie du bassin (km^2)

L'application de cette formule à notre cas conduit à un taux spécifique moyen annuel de 600 t/km^2 /an soit un apport annuel de 130 200 t/an. Les apports ainsi déterminés incluent les transports solides par charriage. L'utilisation de la relation précédente pour 30 bassins versants d'Algérie, observés en vue de l'évaluation des transports solides, a donné des résultats relativement médiocres. On peut lui reprocher notamment de ne pas prendre en compte le facteur lithologique qui semble un facteur prépondérant de l'érosion et des transports solides.

Formules SOGREAH (1969)

Basées sur les données recueillies dans 27 bassins d'Algérie (dont 16 alimentant des barrages réservoirs), totalisant 282 années-stations. Les superficies varient de 90 à 22 300 km^2 .

Les relations SOGREAH, inspirées des relations TIXERON, donnent les apports solides spécifiques A (t/km^2 /an) en fonction du ruissellement annuel de crue R (mm) et de la perméabilité des bassins.

• perméabilité élevée	A	=	$8,5 \cdot R^{0,15}$
• perméabilité moyenne à élevée	A	=	$75 \cdot R^{0,15}$
• perméabilité faible à moyenne	A	=	$350 \cdot R^{0,15}$
• perméabilité faible	A	=	$1\,400 \cdot R^{0,15}$
• imperméables	A	=	$3\,200 \cdot R^{0,15}$

Dans notre cas cette formule donne, en considérant une perméabilité des formations géologiques de couverture faible à moyenne :

$$A = 350 (38)^{0,15} = 604 \, t/km^2 / an$$

soit un apport annuel de 132 000 t/an

Nous remarquons que les formules empiriques développées précédemment donnent des valeurs assez faibles par rapport aux taux d'envasement observés au niveau des barrages Tunisiens.

Nous rappelons à ce titre, que l'analyse des mesures de turbidité effectuée sur les oueds équipés de station hydrométriques a permis à la DGRE d'avancer des fourchettes de valeurs moyennes de transport solide en suspension par région (voir étude hydrologique de l'oued Chafrou établie par Madame ABID).

- 3 à 7 g/l pour Ichkeul et la région de l'extrême Nord
- 10 à 15 g/l pour les affluents rive gauche de la Medjerda
- 30 à 40 g/l pour les affluents rive droite de la Medjerda et le Miliane
- 40 à 60 g/l pour le Cap Bon et le Centre
- 20 à 30 g/l pour le Sud Ouest
- 30 à 40 g/l pour le Sahel de Sfax

La DGRE recommande de majorer ces valeurs de 40 % représentant la part de charriage.

L'échelle des valeurs moyennes montre que la lithologie du bassin versant influe notablement sur l'importance des transports solides usuellement mesurés par le paramètre t_s . On peut se servir des indications de ce tableau ainsi que de la description du bassin versant pour estimer la valeur de K_s qu'il convient d'attribuer à l'oued Chafrou.

Nous rappelons que la géologie de la région se caractérise par une structure sédimentaire avec une prédominance de formations argileuses en couverture. La surface des dépôts alluvionnaires peut être estimée à 50 % de la totalité de l'aire du bassin versant. En première approche, une valeur de $K_s = 800$ nous paraît réaliste malgré l'importance des dépôts actuels dans le lit de l'oued.

L'application de la formule précédente conduit à :

$$t_s = 800 (217)^{0.247} (38)^{0.294} \approx 572 \text{ t/km}^2/\text{an}$$

Soit un apport annuel de 125 000 t/an. Cette valeur paraît relativement faible.

Le guide Maghrebin du PNUD/OPE fait remarquer qu'en raison des difficultés de la mesure des transports solides, en suspension et par charriage, les données d'observation concernant ce paramètre à l'exutoire de petits bassins versant sont très rares. Un certain nombre d'études concernant le paramètre transport solide sont actuellement en cours d'élaboration dans les Pays du Maghreb. Le recours à des formules empiriques ou abaques est inévitable en tenant compte toutefois que la plupart d'entre elles ont été mises au point à partir de données observées sur des grands bassins versants. Il s'avère donc délicat de faire une étude de l'envasement des retenues d'une précision acceptable. Néanmoins en recoupant diverses méthodes d'estimation et les appréciations sur les caractéristiques physiques du bassin versant, on peut avancer un ordre de grandeur qui permettra de dimensionner la tranche morte de la retenue pour un temps dépendant de l'importance de l'aménagement. A titre indicatif, le guide Maghrebin précité signale qu'en Algérie les taux d'abrasion généralement considérés dans les études de retenues collinaires varient de 1500 à 5300 t/km²/an. En Italie, pour des terrains érodables et en grand désordre géo-hydrologique, ce taux varie de 1400 à 2100 t/km²/an.

Le taux minimum de 1500 t/km²/an nous paraît plausible compte tenu des observations faites sur des retenues existantes. Il correspond à un apport annuel de 325 500 t/an.

Plusieurs formules sont admises dans le cadre du guide Maghrebin. Nous appliquons deux d'entre elles à titre de recoupement des grandeurs avancées précédemment :

Formule de Fournier (1960)

Basée sur les données recueillies dans 104 bassins de superficie supérieure à 2.000 km² appartenant à différentes régions du globe, la formule fait intervenir la notion de contraste et d'abondance pluviométrique ainsi que l'orographie des bassins

$$E = (1/36) (P_m^2 / P_m)^{2.67} (h^2 / S)^{0.26}$$

E = Apports solides spécifiques moyens annuels (t/km²/an)
 P_m = Pluie mensuelle moyenne du mois le plus pluvieux (mm)

P_m	=	Pluie moyenne annuelle (mm)
h	=	Dénivelée moyenne = $H - H_{min}$ (m)
S	=	Superficie du bassin (km^2)

L'application de cette formule à notre cas conduit à un taux spécifique moyen annuel de 600 t/km^2 /an soit un apport annuel de 130.200 t/an. Les apports ainsi déterminés incluent les transports solides par charriage. L'utilisation de la relation précédente pour 30 bassins versants d'Algérie, observés en vue de l'évaluation des transports solides, a donné des résultats relativement médiocres. On peut lui reprocher notamment de ne pas prendre en compte le facteur lithologique qui semble un facteur prépondérant de l'érosion et des transports solides.

Formules SOGREAH (1969)

Basées sur les données recueillies dans 27 bassins d'Algérie (dont 16 alimentant des barrages réservoirs), totalisant 282 années-stations. Les superficies varient de 90 à 22.300 km^2 .

Les relations SOGREAH, inspirées des relations TIXERON, donnent les apports solides spécifiques A (t/km^2 /an) en fonction du ruissellement annuel de crue R (mm) et de la perméabilité des bassins.

• perméabilité élevée	A	=	$8,5 \cdot R^{0,15}$
• perméabilité moyenne à élevée	A	=	$75 \cdot R^{0,15}$
• perméabilité faible à moyenne	A	=	$350 \cdot R^{0,15}$
• perméabilité faible	A	=	$1\,400 \cdot R^{0,15}$
• imperméables	A	=	$3\,200 \cdot R^{0,15}$

Dans notre cas cette formule donne, en considérant une perméabilité des formations géologiques de couverture faible à moyenne :

$$A = 350 (38)^{0,15} = 604 \, t/km^2 /an$$

soit un apport annuel de 132 000 t/an.

Nous remarquons que les formules empiriques développées précédemment donnent des valeurs assez faibles par rapport aux taux d'envasement observés au niveau des barrages Tunisiens.

Nous rappelons à ce titre, que l'analyse des mesures de turbidité effectuée sur les oueds équipés de station hydrométriques a permis à la DGRE d'avancer des fourchettes de valeurs moyennes de transport solide en suspension par région (voir étude hydrologique de l'oued Chafrou établie par Madame ABID).

- 3 à 7 g/l pour Ichkeul et la région de l'extrême Nord
- 10 à 15 g/l pour les affluents rive gauche de la Medjerda
- 30 à 40 g/l pour les affluents rive droite de la Medjerda et le Miliane
- 40 à 60 g/l pour le Cap Bon et le Centre
- 20 à 30 g/l pour le Sud Ouest
- 30 à 40 g/l pour le Sahel de Sfax

La DGRE recommande de majorer ces valeurs de 40 % représentant la part de charriage.

Le bassin versant de Chafrou est limitrophe de celui du Miliane.

En retenant 30 g/l, la charge moyenne serait de 42g/l. Ce qui nous donne un transport solide de $294 \cdot 10^3$ t/an et représente un taux de 1355 t/km²/an.

Il est de coutume de considérer que les transports solides représentent environ 5% des apports en eau annuels. C'est en particulier le cas du Nebhana.

Pour évaluer l'apport solide moyen annuel, M. SAADAOUI (DGRE) a établi en Mai 1992 une formule à partir d'observations réalisées sur 31 bassins versants contrôlés par des stations hydrométriques ou par des barrages.

L'apport solide moyen annuel Q_s (en 10^6 tonnes/an) est fortement corrélé avec la superficie du bassin versant correspondant (Sup. en km²) soit : $Q_s = 0,3227 + 7,7888 \cdot 10^{-4} S$

Cette formule, appliquée au bassin versant de l'oued Chafrou, donne un apport solide moyen annuel au site égal à : $492 \cdot 10^3$ t/an soit un apport solide spécifique de 2267 t/km²/an

Cette dernière valeur paraît assez forte. Nous proposons de retenir une valeur moyenne entre les deux dernières estimations soit : $400 \cdot 10^3$ t/an soit environ $250\ 000$ m³ en retenant un poids volumique de $1,6$ t/m³.

Salinité

Le sel dissout dans les eaux des oueds a toujours été une des préoccupations des aménageurs tunisiens. Une documentation abondante existe dans ce domaine. Nous rappelons que Coyne et Bellier a défini des données de salinité au niveau national lors des études « ECONOMIE D'EAU 2000 » qui devraient en toute logique être complétées de manière à les adapter aux besoins de l'étude de chaque oued.

L'aspect de la Sebkhia identifié dans la cuvette de l'oued CHAFROU traduit un potentiel de transport de sel important à l'étiage. D'une manière générale certaines formations constituant le bassin versant, présentent des inclusions de gypse cristallins et amas dans les lits marneux et diffus dans les parties soumises aux altérations et décompositions superficielles parfois réalimentées, en fond de vallée, par des remontées de nappe.

L'aspect d'une partie de la cuvette en salines, couverte en période sèche par une croûte superficielle de sel sur le fond et par des efflorescences blanches sur les bords, est accentué par les difficultés d'évacuation des eaux vers l'aval à travers le verrou du site.

Au cours de cette étude, des prélèvements d'échantillons d'eau ont été effectués respectivement en rive gauche de l'oued Melah, dans des puits situés dans le lit de l'oued CHAFROU et à El Mornaguia. Les résultats des analyses effectuées sur ces échantillons sont joints en annexe 8.

Tableau récapitulatif des mesures de salinité effectuées au cours de la présente étude :

Date	Point de prélèvement	Résidu sec en g/l
05/03/98	Puits à l'amont du site	7,10
05/03/98	Oued Chafrou au niveau du site	5,33
16/03/98	Oued Melah	6,64
02/06/98	Oued Chafrou entre le site et la GP7	8,68
02/06/98	Puits à l'amont du site	6,45
02/06/98	Puits à l'amont du site	5,65

On constate d'après les résultats des analyses effectuées au laboratoire de la DG/ETH, que ces eaux sont très chargées en chlorure et en sulfate avec une augmentation très accentuée des concentrations dans certains puits.

D'autre part, les mesures hydrométriques présentées en annexe 3, au niveau du pont sur la GP7, montrent que la salinité moyenne de l'oued Chafrou est de 5,5 g/l.



Ces mesures effectuées entre 1976 et 1980 ne permettent pas de déduire une relation Débit - Salinité, la plage des débits mesurés étant limitée.

La création d'une retenue risque d'avoir une grande influence sur le bilan actuel des sels qui sera étroitement lié aux modalités des gestions des eaux.

Le suivi des débits entrants et des débits sortants et de leurs caractéristiques chimiques, dès la mise en eau de la retenue, sera indispensable pour mieux connaître la qualité des eaux disponibles et son évolution dans le temps et établir un schéma de gestion réaliste.

Les eaux stockées dans la retenue seront visiblement soumises aux conditions les plus favorables pour une dégradation sensible de leur qualité chimique : bassin vaste et plat, pentes très faibles, sols argileux plastiques et imperméables, nappe haute et salée, drainage naturel déficient attesté par des marécages, des mouillères et zones humides plus ou moins permanentes, des écoulements divagants et disparaissant par endroits, grande surface d'évaporation pour une faible tranche d'eau.

Tous ces facteurs favorisent une sursalure des eaux dès leur entrée dans la cuvette en fonction de la durée de leur séjour.

Pour les eaux reçues des analyses périodiques sur les principaux affluents, à différents régimes d'écoulement avant leur déversement dans la retenue, permettraient de mieux évaluer la contribution de chaque écoulement et l'impact des conditions hydrauliques et géochimiques naturelles de la cuvette et d'envisager les dispositifs d'aménagement éventuels les plus adaptés pour atténuer la sursalure.

III - 3 - Amortissement de la crue - Cote de retenue normale

Nous avons relevé, au début de cette étude, une contrainte au niveau topographique concernant la cote des Plus Hautes Eaux à ne pas dépasser au risque de noyer la route MC37, ainsi que des habitations et un mausolée situés dans la cuvette, en rive droite. Cette cote correspond à 50 NGT.

Il en résulte que la cote de retenue normale découle des conditions d'amortissement de la crue de projet. Nous la déterminons, d'abord dans le cas de la variante relative à un évacuateur de crue latéral réalisé dans la dépression rive droite. Différentes longueurs de seuil déversant ont été considérées. Les calculs sont effectués à l'aide du logiciel RESERVOIR, développé par ISL, qui permet de simuler le fonctionnement d'une retenue : laminage de crue, simulation du remplissage, vidange.

Le réservoir est caractérisé par sa loi hauteur-surface et par la loi hauteur-débit évacué

$$(Q = C_e L H^{3/2})$$

Les apports dans la retenue sont donnés sous forme d'hydrogramme

L'équation différentielle $d_z/dt = (q \text{ entrant}(t) - q \text{ sortant}(z)) / \text{surface}(z)$ est résolue par la méthode de Runge-Kutta.

Nous avons alors procédé à différents cas de figure pour ne pas dépasser, pour les plus hautes eaux, la cote 50 NGT. Un exemple de résultat des calculs est présenté ci-dessous :

pour une longueur de seuil déversant de : 150 m

- Crue millénaire	1667 m ³ /s
- cote de retenue normale	47,5 NGT
- Niveau atteint	49,99 NGT
- Débit évacué	1390 m ³ /s

La cote de retenue normale fixée à 47,50 est trop limitative ; elle correspond à un volume de retenue de seulement 2,5 Mm³.

Il est donc nécessaire de fixer la cote de la retenue normale à 49 NGT, pour disposer d'un volume de retenue de 7 Mm³. Nous prenons comme hypothèse de départ un niveau de seuil déversant calé à cette cote. Dans ce cas, le niveau des Plus Hautes Eaux atteint 51,50 pour la crue millénaire, avec un seuil de longueur 150 m.

Cependant, un barrage en terre est en principe dimensionné pour la crue décennale. Elle est estimée pour l'oued Chafrou à 2312 m³/s et engendre des conditions d'amortissement plus contraignantes. La cote des PHE atteint en effet 52,30 NGT.

En conclusion, la variante digue en terre avec un évacuateur latéral conduit soit :

- à rabaisser la cote de retenue normale à 47,50 NGT ce qui revient à créer un stockage de 2,5 Mm³ alors que l'apport moyen annuel est estimé à 7 Mm³. Dans ces conditions le projet ne répond plus aux objectifs recherchés.

- soit admettre l'inondation lors des crues exceptionnelles de certaines structures existantes situées dans la retenue, leur protection ou leur déplacement et limiter les risques d'inondation.

Pour ne pas compromettre l'aménagement projeté, une solution de barrage en remblai dur déversant sur toute sa longueur peut être envisagée. L'ouvrage doit s'inscrire dans la topographie de manière à présenter une crête déversante de 220 m de longueur. Différentes variantes d'implantation de l'axe du barrage sont possibles pour répondre à la condition précitée. L'étude de l'amortissement de la crue millénale, dans ce cas, donne les résultats suivants :

- cote de retenue normale	:	49 NGT
- Niveau atteint	:	51 NGT
- Débit évacué	:	1363,8 m ³ /s

Courbe de Tarage aval

Des calculs du niveau d'eau aval devront être effectués dès que la configuration aval de l'oued sera connue à l'aide du logiciel FLUVIA, développé par le CEMAGREF, qui permet de modéliser un écoulement permanent dans un réseau hydraulique maillé, à surface libre, en régime fluvial.

La géométrie de l'oued à l'aval du barrage devra faire l'objet, dans ce cas, d'un levé topographique complémentaire dans le cadre des études d'APD pour être modélisée sur une distance suffisante par une série de profils en travers, intégrant notamment l'ouvrage de franchissement de l'oued existant à l'aval

ANNEXES – CHAPITRE III

BASSIN DE LA MIEJERDA

AMPLITUDE THERMIQUE ANNUELLE



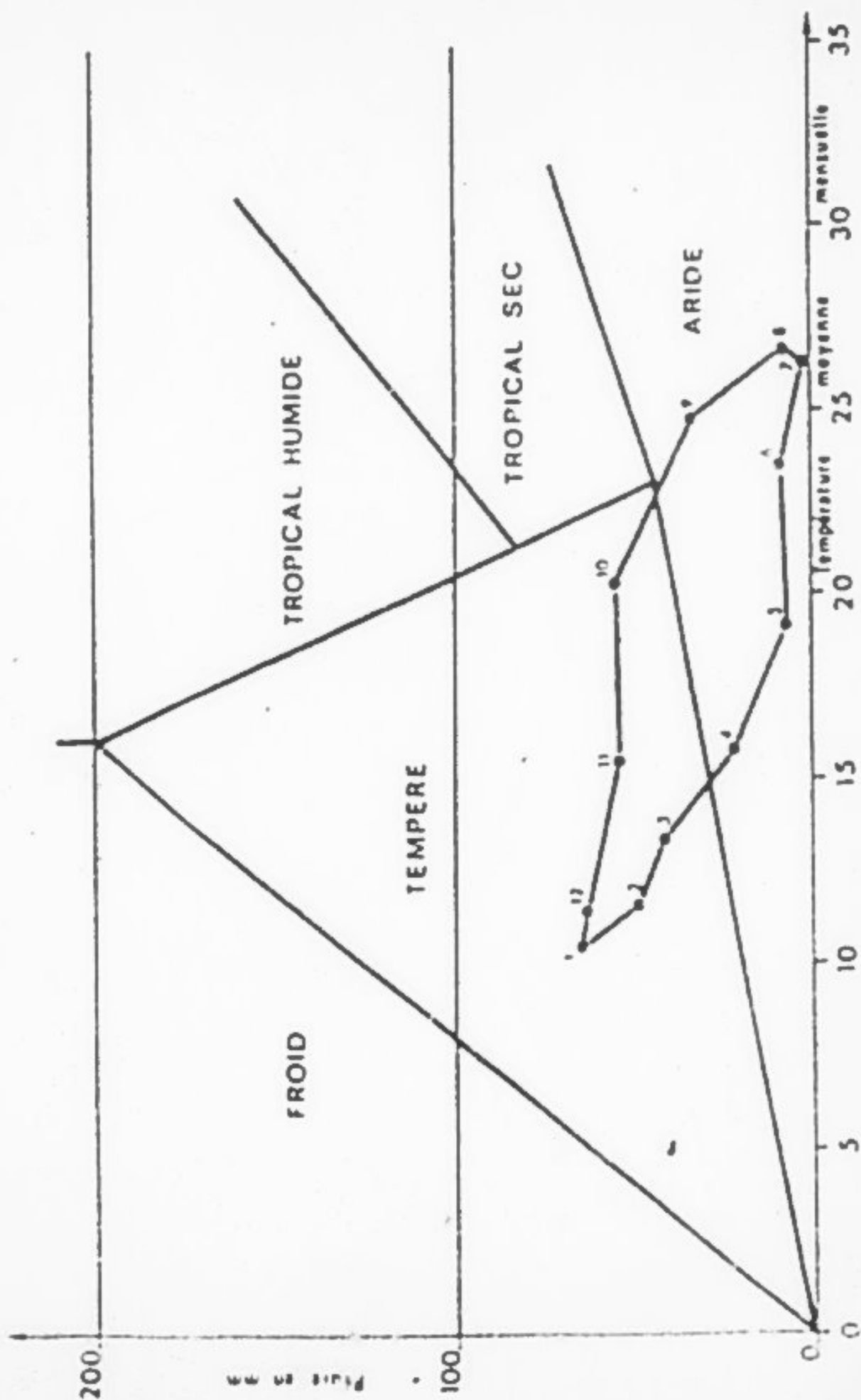
BASSIN DE LA MIEJERDA

INDICE DE CONTINENTALITE
DE GOSZINSKY (modifié)

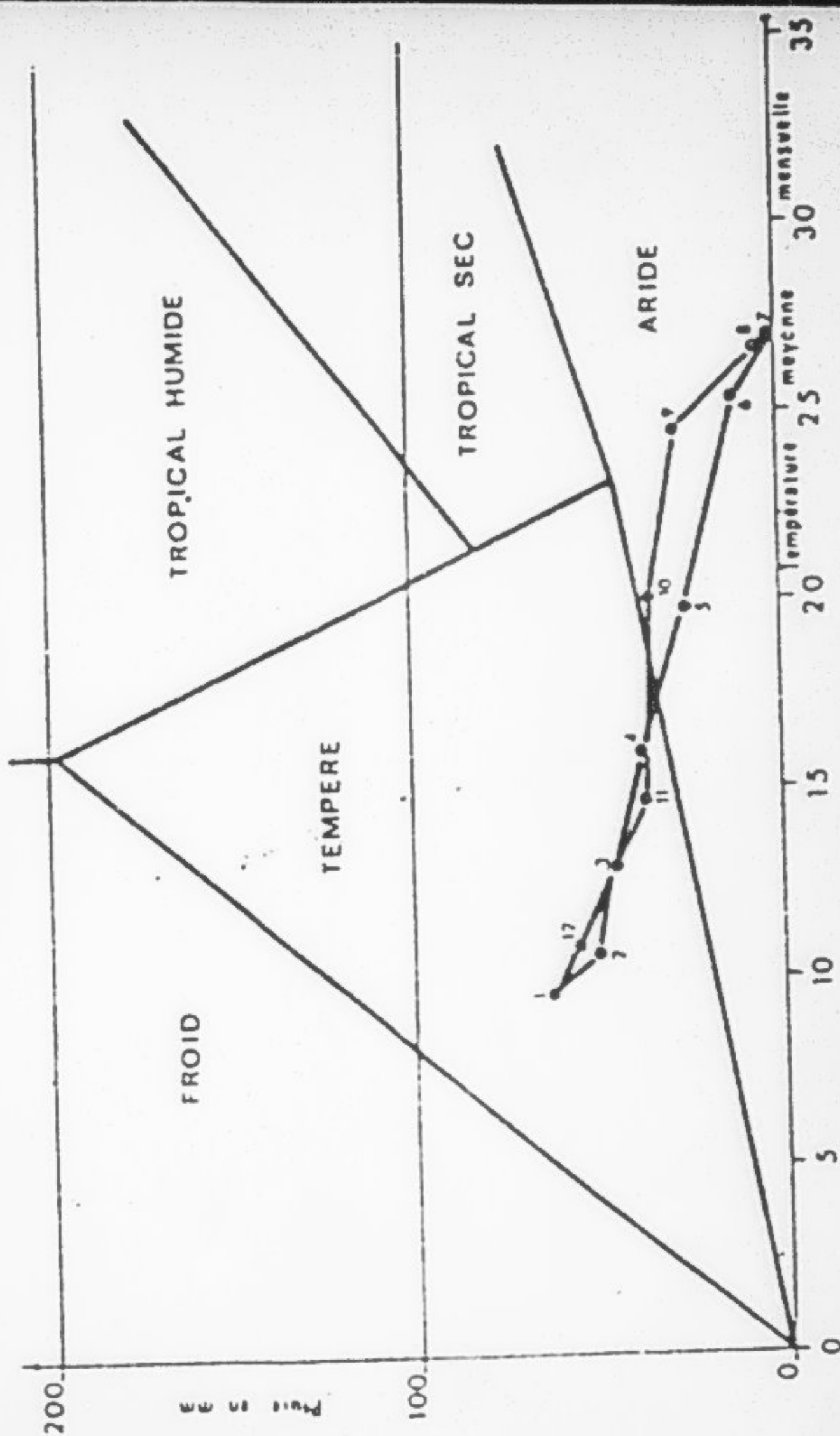
$$C = \frac{1,3A}{\Sigma t} - 36,1$$



TUNIS MANOUBIA CLIMOGRAMME



CLIMOGRAMME MEDJEZ EL BAB



Date	Debit (l/s)	Résidu sec (g/l)
02/09/76	16.2	4.8
18/09/76	266	2.8
13/10/76	371	5.7
23/10/76	335	8.32
02/11/76	177	6.14
04/12/76		7.3
18/12/76		3.7
04/01/77		5.05
03/02/77		6.08
17/02/77		2.81
04/03/77	214	8.08
17/03/77	183	7
02/04/77	350	3.96
16/04/77	309	5.27
03/05/77	170	4.99
21/05/77	278	6.08
06/06/77	1192	
17/06/77	159	8.53
05/08/77	354	5.4
17/08/77	151	4.08
07/09/78	206	4.94
20/09/78	115	6.42
03/10/78	128	3.94
17/10/78	279	9.05
02/11/78	121	5.84
17/11/78	238	4.44
05/12/78	130	5.83
18/12/78	132	6.3
03/01/79		5.53
05/01/79	159	
19/01/79	132	5.58
02/02/79	129	5.37
17/02/79	131	5.76
02/03/79	239	5.32
17/03/79	223	5.25
23/04/79		6.46
12/05/79		6.3
03/06/79	128	
05/06/79		6.93
27/06/79	95	5.5
14/07/79	132	
24/07/79	122	
05/08/79	197	9.11
21/09/79	220	4.8
21/09/79		4.75
02/10/79	167	4.5
23/10/79	125	5.53
16/11/79	233	
23/11/79	242	4.7
03/12/79	180	5.34
04/12/79		5.14
18/12/79	101	5.08
02/01/80	337	4.05
17/01/80	215	5.21
05/02/80	257	4.67
19/02/80	281	4.51
11/03/80		4.83
15/04/80	274	4.67
25/04/80	200	4.2
06/05/80	191	5.28
17/05/80	165	5.14
03/06/80	241	4.19
18/06/80	138	

Nombre	51	56
Min	16.2	2.8
Max	1192.0	9.7
Moyenne	218.9	5.5
Ec. Type	158.0	1.4



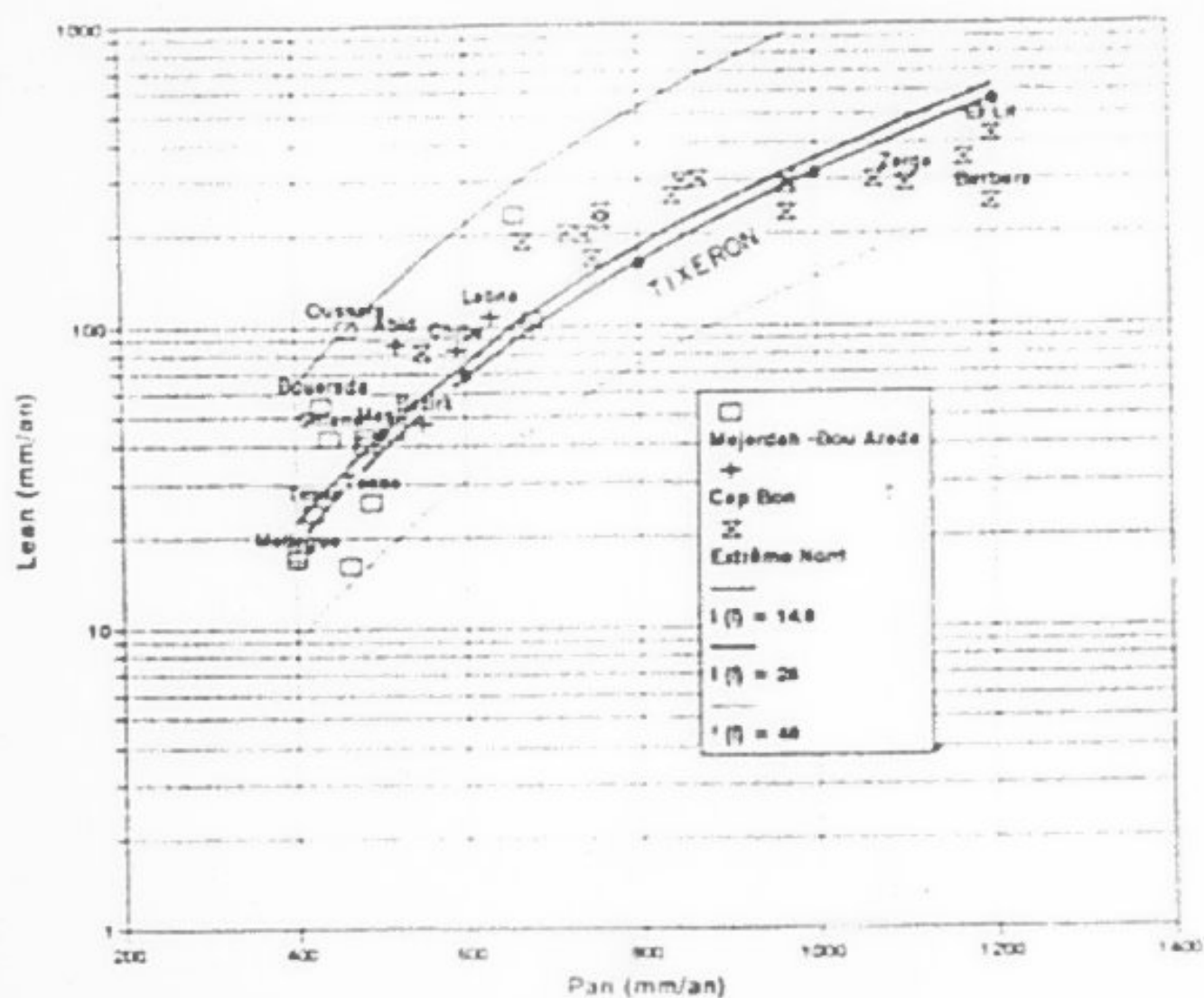
Répartition de la pluie
annuelle en TUNISIE

HYDROLOGIE

TABLEAU Données relatives à 41 bassins tunisiens

Bassin	Station	Aire du bassin versant	Pluie	Coefficient d'indensation	Lam. écoulée	Coefficient d'écoulement
		A	Pan	USSCS	annuelle	moyen
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Melegue	K22	10509	400	27.2	17	4.2
Melegue	B Melegue	10309	400	27.2	17	4.3
Melegue	K13	9000	402	27.2	18	4.4
Tessa	Zouanne	408	420	26.3	24	5.7
Bouarada	Pontevoue	99.8	430	29.8	55	12.8
Sahana	B Sahana	1287	440	22.9	43	9.7
Oussafi	M12	320	460	15.7	99	21.4
Mejerdah	Int. MEB-ZOU	2167	460	33.3	16	3.5
Mejerdah	Bou Salem	16230	480	25.8	40	9.4
Mejerdah	Sidi Salem	18191	480	25.0	43	9.9
Mejerdah	Zouaoune	23367	483	26.6	41	8.4
Mejerdah	Medjez El Bab	21200	485	26.2	43	8.9
Tessa	Sidi Medienne	1950	488	21.4	26	5.3
Masn	B Masn	53	500	31.5	44	8.8
Mejerdah	Int. SS-MEB	3009	515	28.0	45	8.7
Abid	Station	81	517	23.9	87	16.8
Bezn	Bezn	84	550	34.7	48	8.7
Tine	B Tine	400	550	27.2	82	14.9
Chba	Chba	64	590	30.1	83	14.1
Letna	B Letna	199	630	28.8	108	17.1
Beja	Beja	207	660	14.8	233	35.3
Mejerdah	Jendouba	2410	670	29.1	97	14.5
Ghezala	Ghezala	48	670	21.3	190	28.4
Mejerdah	Ghardmaou	1480	680	28.6	104	15.3
Hana	Hana	105	720	23.1	202	29.0
Hana	B Hana	47	740	24.5	200	27.1
Doumis	Doumis	56	750	28.9	167	22.3
Merah	B Merah	91	760	23.5	223	29.4
Guerguoum	B Guerguoum	36	760	22.1	238	31.3
Zatine	Zatine	117	840	24.0	259	32.0
Joumine	B Joumine	448	850	22.2	297	34.9
Sejenane	B Sejenane	325	870	22.7	304	35.0
Zouara	Sidi El Berraj	875	970	35.0	236	24.3
Maden	Bou Brima	145	970	29.4	291	30.0
Merah	Ouchala	315	970	28.4	302	31.1
Kesir	Pont de Talarina	165	1065	34.0	301	28.3
Zerqa	B Zerqa	60	1100	36.8	294	26.7
Kesir	B Kesir	86	1100	36.5	296	26.9
Mouja	B Mouja	58	1170	25.1	355	30.3
Barbara	Zouana	177	1200	48.0	253	21.1
E. L.	Ben Mer	100	1200	31.0	423	35.2
	n	41	41	41	41	41
	M	3082	693	28.0	152	19.1
	S	6179	249	5.9	118	10.7
	C	7.01	0.340	0.211	0.771	0.559
	Mai	23267	1200	48.0	423.2	25.3
	Mun	35.5	400	14.8	16	3.5
	Maximum	658	1	1	26	10

Relation Lean = f (Pan, l (I))
41 Bassins versants tunisiens.



ANNEXE 7

Transports solides (Maghreb)

Code	Pays	Rivière	Station	Lith	A	E	ts	Ks
0	Tunisie	Zeroud	Sidi Saad 1969	Ma	8950	305	25000	51080
1	Algérie	Djenn Djenn	Erraglene	Ma1	132	985	15000	7900
2	Algérie	Fodda	Lamarine	Ma	757	110	4700	6879
3	Maroc	Ouergha	Mjara	Ma1	5183	441	3500	5913
4	Maroc	Lakhdar	Hassan Ter	Ma/CA	1670	180	3531	5489
5	Algérie	Aghoun	Inl Emca	Ma1	635	260	5000	5389
6	Algérie	Adalah	Sidi Akacha	Ma	295	120	4654	5256
7	Maroc	Ouergha	Ourtzain	Ma1	4358	459	3340	5132
8	Tunisie	Nebhana	Nebhana	Ma	855	29	2100	4943
9	Maroc	Mahrar	Ibn Batouta	Ma1	178	372	6000	4858
10	Maroc	Ouergha	Bab Clender	Ma1	1756	326	3150	4819
11	Tunisie	Masri	Masri	Ma2/F	40	75	6050	4731
12	Maroc	Neckor	Barrage	F	790	118	3250	4706
13	Tunisie	Masri	Masri	Ma2/F	40	75	5940	4645
14	Tunisie	Medjerda	Medjez el Bab	Ma3	21000	43	1020	4349
15	Maroc	Mharhar	Ibn Batouta	F	178	363	5819	4312
16	Tunisie	Nebanah	Nebanah	Ma	860	48	2290	4306
	Tunisie	Nebhana	Nebhana	Ma	855	32	2037	4278
18	Maroc	Aoudouir	Tafraoui	Ma1	1039	490	3853	4070
19	Algérie	Rhiou	Ammi Moussa	Ma	1850	56	1821	3993
20	Tunisie	Chiba	Chiba	Ma2/F	64	58	4220	3970
21	Algérie	Isser	La Traite	Ma1	2570	105	1960	3916
22	Tunisie	Lakhmes	Lakhmes	Ma	127	33	2950	3824
23	Tunisie	Chiba	Chiba	Ma2/F	64	97	4658	3818
24	Maroc	Ouegha	Mjara	Ma1	6190	481	2264	3738
25	Maroc	Nakhla	Nakhla	F	107	707	6800	3716
26	Algérie	Isser	Lakhdana	Ma	3615	106	1712	3712
27	Maroc	Loukkos	El Mahazine	Ma/F/Sc	1820	473	2989	3664
28	Tunisie	Medjerda	Bou Salem	Ma3	16230	38	884	3656
29	Tunisie	Mellègue	Nebeur	Ma	10000	18	790	3568
30	Algérie	Leham	Nessissa	Ma	470	43	2028	3377
31	Algérie	Bou Roumi	Tarzout	Ma	215	146	3354	3324
32	Tunisie	Medjerda	Ghardimaou	Ma3	1480	128	2000	3306
33	Algérie	Sly	Ouled B AER	Ma	1225	122	2037	3255
34	Maroc	Neckor	Mohammed Ben A. Khattabi	Ma2/F/CA	780	119	2213	3185
	Tunisie	Kasseb	Kasseb	Ma	101	466	5070	3055
36	Tunisie	Medjerda	Jendouba	Ma3	2410	90	1450	2972
37	Tunisie	Nebhana	Nebhana	Ma	855	23	1251	2861
38	Maroc	Sra	Port du Sra	Sc	493	683	3500	2816
39	Maroc	Aoulai	Rhata	Ma1	775	565	2960	2802
40	Maroc	Moulouya	Mohammed V	GG/V	49920	15	395	2719
41	Maroc	Tessadout	Moulay Foussef	P	1440	210	1850	2660
42	Maroc	Lebène	Tissa	Ma3	792	280	2250	2584
43	Tunisie	Nebana	Sidi Messaoud	Ma	855	43	1330	2572
44	Tunisie	Mellègue	K13	Ma	9000	18	578	2525
45	Algérie	Mazatlan	Fer à Cheval	Ma1	1850	209	1610	2466
46	Tunisie	Zeroud	Sidi Saad	Ma	8950	12	492	2409
47	Tunisie	Bezir	Bezir	Ma2/F	60	51	2430	2329
48	Maroc	Massa	Mousser ben Tachline	O	3780	37	756	2314
49	Tunisie	Bezir	Bezir	Ma2/F	60	51	2340	2243
50	Tunisie	Bezir	Bezir	Ma2/F	60	75	2563	2215

Transports solides (Maghreb)

Code	Pays	Rivière	Station	Lith	A	E	Is	Ks
51	Algérie	El Abiod	Foum El Gherza	Ma	1280	22	850	2179
52	Algérie	Chiffa	Amont des Gorges	Sc	315	367	2461	2095
53	Algérie	Ebda	Arib Ebda	G1	270	338	2493	2087
54	Maroc	Inaouène	Touaba	Ma1	3024	167	1110	2087
55	Algérie	Djer	El Afroun	Ma	395	131	1729	2050
56	Maroc	Tessaout	Moulay Youssef	P	1440	205	1413	2045
57	Maroc	Sebou	Pont du Sebou	Ma3	12985	152	750	2025
58	Tunisie	Mellègue	Mellègue	Ma	10000	17	432	1994
59	Maroc	Draa	Mansour Ed Dahbi	CA/P	15000	27	448	1991
60	Maroc	Draa	Mansour Ed Dahbi	C1	14900	28	452	1986
61	Algérie	Rouina	Rouina Mines	Ma1	865	68	1151	1978
62	Maroc	Sebou	Azib el Soltane	Ma3	16275	136	650	1912
63	Tunisie	Lakhmess	Lakhmess	Ma	127	173	2290	1904
64	Maroc	Inaouène	Idriss 1er	Ma/CA/Sc	3630	153	969	1896
65	Maroc	Abid	Bin El Ouidane	CA/Ma	6400	178	860	1869
66	Tunisie	Rhezala	Fernana	G	138	313	2536	1836
67	Maroc	Sebou	Azib Es Soltane	Ma3	16150	119	600	1825
68	Tunisie	Kebir	Barrage Kebir	Ma2	271	50	1288	1801
69	Maroc	Rdat	Sidi Rahal	Ma	569	180	1500	1787
70	Maroc	Ziz	Hassan Addakhil	C1	4570	35	575	1778
71	Algérie	Soummam	Sidi Aich	Sc	8460	38	490	1731
72	Tunisie	Bou Heurtma	Kefirra	G	390	205	1640	1719
73	Algérie	El Arab	Khanga	CA	2085	17	539	1679
74	Maroc	Oum Er Rbia	Al Massira	CA	28500	110	462	1652
75	Tunisie	Medjerda	Sidi Salem	Ma3	18250	38	385	1645
76	Maroc	Abid	Bin El Ouidane	CA	6400	197	773	1635
77	Tunisie	Kebir	Sidi Aouldet	Ma2	225	77	1313	1582
78	Algérie	Leham	Rocade Sud	Ma	5480	12	347	1508
79	Algérie	El Harrach	Hammam Melouane	G1	387	332	1630	1499
80	Algérie	Arbatache	Hamiz	Ma3	139	380	2080	1432
81	Maroc	Ziz	Hassan Addakhil	CA/P	4570	35	461	1425
82	Algérie	Hachem	Bordj Ghobri	G1	215	235	1542	1345
83	Tunisie	Mellègue	Mellègue	Ma	10008	18	293	1329
84	Tunisie	Chiba	Chiba	Ma2/F	64	84	1484	1263
85	Maroc	Sebou	Ain Tmedrine	CA	4429	156	590	1213
86	Maroc	Massa	Youssef Ben Tachfine	Q	3780	37	413	1200
87	Maroc	Behi	El Kansera	Ma/Sc	4540	83	479	1173
88	Maroc	Behi	El Kansera	Sc	4536	79	450	1116
89	Tunisie	Masri	Masri	Ma2/F	40	65	1021	1073
90	Algérie	El Abiod	Mchouneche	CA	1050	17	401	1040
91	Algérie	Leham	Ain Hadjel	Ma	2770	11	278	1036
92	Maroc	Mis	Lalla Takerkoust	Sc	1710	97	554	1022
93	Maroc	Behi	El Kansera	Sc	4540	94	430	1019
94	Algérie	Chelil	Ghaz	Ma	22300	6	138	1004
95	Maroc	Bou Regreg	Sidi Mohammed Ben Abdallah	Sc/GG	9850	86	338	992
96	Algérie	Kebir Est	Ain F. Assel	G	680	288	503	991
97	Tunisie	Millane	Blir M Cherga	Ma2	1253	25	399	983
98	Algérie	Sebaou	Beloua	S	1512	500	830	957
99	Algérie	Sal Sal	Zargenas	Ma2	345	157	890	956
100	Algérie	Sarno	Barrage	Ma3	264	46	667	950

Transports solides (Maghreb)

Code	Pays	Rivière	Station	Lith	A	E	IS	RS
101	Algérie	Kebir Est	Fusut	G	665	446	147	909
102	Maroc	Moulouya	Mohammed V	Sd	49900	22	144	910
103	Maroc	Rheris	Tadighoust	G1	2210	10	250	904
104	Algérie	Ksob	Medjez	Ma	1330	21	345	902
105	Tunisie	Zeroud	Sidi Saad	Ma	8950	7	149	847
106	Algérie	Melah	Boucheqout	G1	550	180	715	845
107	Algérie	Ksob	Barrage	Ma1	1317	43	350	842
108	Maroc	Oum er Rbia	Imfout	Sd	30000	110	220	796
109	Tunisie	Bou Heurtma	Bou Heurtma	G	282	344	940	792
110	Algérie	Reboa	Reboa	Ma2	296	71	534	773
111	Maroc	Sebou	Pont du Mdez	CA	3474	73	320	760
112	Maroc	Moulouya	Mechra Kila	Sd	51500	31	130	759
113	Algérie	Assil Tala	RN 25	S	300	256	806	746
114	Maroc	Zat	Tafenat	P	516	255	700	742
115	Maroc	NFis	Lalla Takerkoust	Sc	1710	97	305	729
116	Maroc	Peraya	Tahanaoute	GG	320	181	626	646
117	Maroc	Tahanaout	Rheraya	P	225	224	700	625
118	Algérie	Seybouse	Bou Daroua	G	5488	78	236	615
119	Tunisie	Rhézala	R17	G	138	360	850	593
120	Algérie	Gueiss	Foum El Gueiss	Sc	156	72	520	575
121	Algérie	Gur	Abadia	Ma3	21530	9	81	537
122	Maroc	Issen	Abdelmoumem	P/G	1300	76	289	532
123	Algérie	Cherf	Medjez Amar	Sd	2865	38	190	512
124	Algérie	Mina	Uzès	CA	5460	37	149	474
125	Algérie	Tafna	Beni Bahdel	CA	1016	78	264	454
126	Algérie	Hai	El Kartara	Sd	1125	13	155	447
127	Algérie	Boudouaou	Keddara 2	G1	93	310	640	421
128	Tunisie	Bou Heurtma	Bou Heurtma	G	282	344	460	388
129	Algérie	Deurdeur	Sidi Mokrefi	G1	500	86	273	385
130	Algérie	El Hammam	Bou Hanfia	G1	7854	18	89	377
131	Tunisie	Lakhmess	Lakhmess	Ma	127	95	383	374
132	Algérie	Tafna	Bou Rhara	CA	4400	31	113	356
133	Algérie	Mekerra	Cheurtas	Ma3	4150	13	91	355
134	Maroc	Tochra	Ain Boujane	G1	655	34	180	347
135	Algérie	Kebir	RN44	G	1120	238	265	346
136	Algérie	Bou Sellam	Magraoua	Sd	2350	17	99	314
137	Algérie	Bou Namoussa	Chefia	G	575	234	270	301
138	Algérie	Tleta	Ghazaouet	Sd	100	73	295	291
139	Algérie	Hammam	Za Emba	G1	485	74	198	288
140	Algérie	Mina	Bakhadda	CA	1300	52	139	283
141	Algérie	Isser	Rennou	Ma3	1935	59	117	254
142	Algérie	Haddad	S A Djilali	CA	470	17	103	220
143	Algérie	Gueiss	Foum El Gueiss	CA	144	70	197	215
144	Algérie	Pessoul	Ain Berda	Ma3	103	98	214	197
145	Algérie	Kebir Ouest	Ain Charchar	CA	1130	90	92	156
146	Algérie	Thar	Matoua	CA	680	35	73	141
147	Tunisie	El Lil	Ben Metir	G	108	574	230	133
148	Algérie	Mekerra	Chanz	CA	1850	14	34	108
149	Algérie	El Hammam	Trois Frères	G1	7605	20	26	107
150	Algérie	Abd	Ain Amara	CA	2400	26	31	89
151	Algérie	Chouty	Chouty RN2	CA	170	105	75	77
152	Algérie	Soubella	Sidi Guadan	G1	176	21	36	57
153	Algérie	Mettouch	Ain Menaras	CA	90	218	25	18

R.T.
M. DE L'AGRICULTURE
DG/E.T.H.
LABO. DE B.AROUS
S/HYDROCHIMIE

B.Arous, le 13 Mars 98

RESULTAT D'ANALYSE D'EAU

Nom des eaux		CHAFROU	
Points de prélèvements		P.PROF. 4m	RETENUE
Date		5/3/98	5/3/98
Heure		12H	
Temps			
PARAMETRE	UNITE		
Plan d'eau	m		
Débit (prof. max.)	(m)		5L/S
Couleur			
Transparence	cm		
T(air)	°C		
T(eau)	°C		
PH		7.85	7.80
Conduct. (20°C)	µS/cm	9360	7020
O2(électr.)	mg/L		
-O2 Sat.	%		
DBO5 direct (O2)	mg/L		
DBO5 labo/p.dil. (O2)	mg/L		
DCO (O2)	mg/L		
Phosphore total	mg/L		
α-Phosphore (PO4-P)	mg/L		
Ammoniaque (NH4-N)	mg/L		
Nitrate (NO3-N)	mg/L		
Nitrite (NO2-N)	mg/L		
Azote organique	mg/L		
Chlorophylle a	µg/L		
Chlorophylle a+b	µg/L		
Turbidité	NTU		
M.E.S.	mg/L		
RS d'après (RS)	mg/L	7100	5330
R.S. brut	mg/L		
décanté	mg/L	7180	5400
P.f. brute	mg/L		
décantée	mg/L		
Sodium (Na)	mg/L	1700	1450
Potassium (K)	mg/L	3.9	8.4
Calcium (Ca)	mg/L	560	304
Magnésium (Mg)	mg/L	223	94.4
Chlorure (Cl)	mg/L	2590	2130
Sulfate (SO4)	mg/L	1766	979
Hydrocarb. (HCO3)	mg/L	317	384
Carbonate (CO3)	mg/L		
Dureté totale (TH)	°F	232	114

Remarques :

Demandeur : M. MELLOULI

S. L. 200
affile 1001 43
1/2

R.T.
M. DE L'AGRICULTURE
DG/E.T.H.
LABO. DE B.AROUS
S/HYDROCHIMIE

B.Arous, le 30/4/98

RESULTAT D'ANALYSE D'EAU

! Nom des eaux	!	CHAFROU	!
! Points de prélèvements	!	O.MELAH R.G.	!
! Date	!	16/3/98	!
! Heure	!		!
! Temps	!		!
! PARAMETRE	UNITE		!
! Plan d'eau	m		!
! Débit (prof. max.)	(m)		!
! Couleur			!
! Transparence	cm		!
! T(air)	°C		!
! T(eau)	°C		!
! PH		8.00	!
! Conduct.(20°C)	µS/cm	8750	!
! O2(électr.)	mg/L		!
! -O2 Sat.	%		!
! DBO5 direct (O2)	mg/L		!
! DBO5 labo/p.dil. (O2)	mg/L		!
! DCO (O2)	mg/L		!
! Phosphore total	mg/L		!
! a-Phosphore.(PO4-P)	mg/L		!
! Ammoniaque (NH4-N)	mg/L		!
! Nitrate (NO3-N)	mg/L		!
! Nitrite (NO2-N)	mg/L		!
! Azote organique	mg/L		!
! Chlorophylle a	µg/L		!
! ph	µg/L		!
! Turbidité	NTU		!
! M.E.S.	mg/L		!
! RS d'après la cté	mg/L	6640	!
! R.S. brut	mg/L		!
! décanté	mg/L	6700	!
! P.f. brute	mg/L		!
! décantée	mg/L		!
! Sodium (Na)	mg/L	1820	!
! Potassium (K)	mg/L	40	!
! Calcium (Ca)	mg/L	403	!
! Magnésium (Mg)	mg/L	122	!
! Chlorure (Cl)	mg/L	2755	!
! Sulfate (SO4)	mg/L	1430	!
! Hydrocarb. (HCO3)	mg/L	110	!
! Carbonate (CO3)	mg/L		!
! Dureté totale (TH)	°F	152	!

Remarques :

Demandeur : M. MELLOULI

R.T.
M.D.E L'AGRICULTURE
DG/E.T.H.
LABO. DE B.AROUS
S/HYDROCHIMIE

B.Arous, le 26/6/98

RESULTAT D'ANALYSE D'EAU

! NOM DES EAUX		! O.CHAFROU		
! POINT DE PRELEVEMENTS		MORNAGUIA	PUITS N° 2	PUITS N° 3
! Date		2/6/98	2/6/98	2/6/98
! Heure				
! Temps				
! PARAMETRE	UNITE			
! Plan d'eau	m			
! Débit (prof. max)	(m)			
! Couleur				
! Transparence	cm			
! T(air)	°C			
! T(eau)	°C			
! PH		7.80	7.70	7.75
! Conduct.(20°C)	µS/cm	10210	8500	7450
! O2(électr.)	mg/L			
! -O2 Sat.	%			
! DBO5 direct (O2)	mg/L			
! DBO5 labo/p.dil.(O2)	mg/L			
! DCO (O2)	mg/L			
! Phosphore total	mg/L			
! a-Phosphore.(PO4-P)	mg/L			
! Ammoniaque (NH4-N)	mg/L			
! Nitrate (NO3-N)	mg/L			
! Nitrite (NO2-N)	mg/L			
! Azote organique	mg/L			
! Chlorophylle a	µg/L			
! ph	µg/L			
! Turbidité	NTU			
! M.E.S.	mg/L			
! RS d'après la cté	mg/L	8680	6450	5650
! R.S. brut	mg/L			
! décanté	mg/L	8780	6600	5760
! p.f. brute	mg/L			
! décantée	mg/L			
! Sodium (Na)	mg/L	2250	1450	1200
! Potassium (K)	mg/L	6	9	8
! Calcium (Ca)	mg/L	504	448	432
! Magnésium (Mg)	mg/L	277	262	223
! Chlorure (Cl)	mg/L	3372	2201	1752
! Sulfate (SO4)	mg/L	2078	1929	1824
! Hydrocarb. (HCO3)	mg/L	268	262	250
! Carbonate (CO3)	mg/L			
! Dureté totale (TH)	°F	240	220	200

Observations :

Demandeur : M.MELLOULI

L: 206
le 06.07.98

IV - GEOLOGIE - GEOTECHNIQUE



SUITE EN

F

2



ONAGRI
TUNISIE

MICROFICHE N°

10438

REPUBLIQUE TUNISIENNE
MINISTERE DE L'AGRICULTURE

الجمهورية التونسية
وزارة الفلاحة

Observatoire National de l'Agriculture
30, Rue Alain Savary - 1002 Tunis

المركز الوطني للفلاحة
الطريق 30 - 1002 تونس

F 2

IV - GEOLOGIE - GEOTECHNIQUE

IV - 1 - Contexte général

L'oued CHAFROU, prenant sa source à quelques centaines de mètres de l'oued Méliane, était apparemment un affluent de la Medjerdah avant le quaternaire. Il drainait tout le Nord du dôme de Djebel EL Oust. Les plissements post-villafranchien ont temporairement barré son lit au niveau du Djebel Mergueb pendant l'époque de l'actif comblement de la plaine, favorisé par une légère subsidence au Nord Ouest. Mais la capture des eaux du bassin de Dépienne provoqua, dans la plaine de Chafrou, de profondes perturbations.

L'oued CHAFROU coule dans une plaine alluviale essentiellement quaternaire caractérisée par 20 à 30 m d'alluvions récentes qui repose sur la croûte post-villafranchienne, localement plissée. Quelques pointements plus anciens l'accidentant appartiennent aux auréoles successives du flanc NW de Djebel El Oust et notamment :

- Henchir Sidi Ahmed : crétacé supérieur
- Henchir El Menkoub : affleurement d'éocène calcaire dans lequel l'oued CHAFROU s'est curieusement surimplanté.
- Henchir Hasbine : essentiellement oligocène à pendage Nord recouvert de pliovillafranchien.

Les pendages Nord de l'oligocène précédent et des calcaires éocènes qui limitent la plaine au Nord (Sidi Fredj) impliquent l'existence d'un accident transverse prolongeant la faille Sud du Djebel Mergueb.

Le site amont est caractérisé par un rétrécissement encadré par deux appuis symétriques contrôlant une cuvette relativement large et plate. La formation reconnue est composée, en couverture, d'argile silteuse jaunâtre, entrecoupée de passages de conglomérats plus ou moins grossiers dans une matrice argileuse à pendage subhorizontal. L'horizon sous-jacent s'identifie à des argiles marneuses du Pliocène. Les sommets des reliefs sont masqués d'un encroûtement calcaire d'âge quaternaire.

Les terrains formant la cuvette sont constitués, en majeure partie, de silts argileux et de colluvions de rive et de versants.

Nous avons relevé, en rive gauche, la présence de terrains marécageux (Sebkha) et d'un affluent « Oued Melah » qui prend sa source dans le trias.

L'étanchéité de la cuvette est assurée par les formations argileuses de couverture.

IV - 2 - Contexte sismo-tectonique

Le cadre sismotectonique se caractérise par une activité sismique relativement importante, les magnitudes enregistrées varient de 4,5 à 5,0 et peuvent correspondre à des accélérations comprises entre 0,15 et 0,20 g.

La structure tectonique de la zone est caractérisée par une direction générale NNE-SSW avec injection de matériaux triasiques de même direction.

Une direction transversale de compensation NW-SE amène une distorsion des axes originaux avec fréquemment décalage des couches et parfois interruption des structures.

L'étude de l'aléa sismique en Tunisie réalisée par le Professeur Rothé a conduit, sur la base de l'occurrence passée de grands séismes destructeurs (410, 856, 1950), à considérer « provisoirement toute la Tunisie jusqu'à la flexure sud-atlantique comme une zone de moyenne à forte sismicité ». Sur cette base déjà ancienne, une valeur d'accélération horizontale de 0,1 g avait été retenue pour les études de stabilité « pseudo-statique » de lignes et barrages Tunisiens.

Cette valeur doit être considérée avec prudence. En effet, l'évaluation de l'aléa sismique dans une région de sismicité modérée comme la Tunisie est un problème complexe. Traditionnellement, la sismicité historique et instrumentale joue un rôle prépondérant dans l'élaboration des diverses cartes d'exposition aux risques. Cette approche « traditionnelle » de l'évaluation de l'aléa sismique, qui ne nécessite pas une connaissance particulière du contexte géodynamique local, est généralement appliquée dans les régions où de nombreux séismes significatifs se sont produits et où les chroniques historiques et les registres instrumentaux fournissent des données précises facilement exploitables (modèles probabilistes ou historico-statistiques).

La tectonique de la région obéit au style habituel de la Tunisie : tectonique de couverture avec décollement principal au niveau du Trias et formation d'axes essentiellement alignés parallèlement au grand accident de la Dorsale, c'est à dire exactement NE-SW, pour la faille du Zaghouan.

La phase majeure est post-burdigalienne avec dernières manifestations post-llafranchiennes.

Ces plis, souvent rehaussés de failles, présentent des enlèvements orthogonaux à leur direction, qui soulignent une ébauche tectonique ancienne, jurassique-crétacée.

Cette tectonique se trouve compliquée par :

- a) des phénomènes extrusifs caractérisés par des lambeaux de calcaire massifs faisant figure d'îlots, en contact anormal par failles avec tous les terrains qui les entourent.

Il s'agit toujours de couches dures donc compétentes, coincées entre des formations épaisses et plastiques donc incompétentes :

- pour le Liás (environ 1000 m), entre le complexe marno-gypseux du Liás et les alternances marneuses du Jurassique supérieur, auxquelles viennent s'ajouter le « schiste » néocomien et plus de 1 000 m de marnes barrémiennes inférieures.
- Pour le calcaire éocène, entre le complexe alternances maestrichtiennes + marnes « dano-montiennes » et les marnes « auversiennes » d'autre part.

- b) Des failles et flexures en général orthogonales aux plissements NE-SW de la phase majeure.

Ces accidents paraissent presque toujours le résultat d'un rejeu récent (quaternaire) de panneaux du socle, postérieurement à la phase paroxysmale (desserrage et réajustement), à l'emplacement des synclinaux et flexures transverses que l'on connaît depuis le Crétacé ou à l'aplomb de failles anciennes.

c) Enfin à l'échelle de l'observation locale de nombreux phénomènes de glissements et de « collapse structures », dus aux mêmes causes que les phénomènes extrusifs, c'est à dire à la généralité des alternances de couches plastiques épaisses et de couches calcaires rigides et relativement minces.

En fait, il apparaît qu'en Tunisie, une évaluation fiable de l'aléa sismique ne peut raisonnablement être basée uniquement sur la sismicité instrumentale et/ou historique. Fondamentalement ceci est lié à la faiblesse des mouvements relatifs (et donc de l'énergie libérée) se produisant dans le cadre de la convergence Afrique-Europe :

- En effet, aux frontières des plaques tectoniques où les mouvements relatifs sont importants (plusieurs cm/an), l'activité sismique est généralement suffisamment intense pour fournir rapidement une représentation complète de la géométrie de la sismicité.
- Au contraire, en domaine intra-plaque, où les mouvements relatifs sont faibles et où, par conséquent, l'énergie sismique libérée est également faible, la caractérisation de la sismicité locale (qui permet d'évaluer correctement l'aléa sismique) nécessiterait :
 - d'appréhender la sismicité sur une fenêtre de temps très large (plusieurs milliers d'années)
 - et/ou d'intégrer les séismes de faible magnitude, souvent mal localisés et qui ne sont probablement pas représentatifs des mouvements crustaux majeurs.

Par conséquent, en considérant la période très courte d'enregistrements sismiques fiables (environ « a » ans) au regard des temps de récurrence probables des séismes majeurs (plusieurs centaines, voire milliers d'années), et le caractère parcellaire et la qualité (fiabilité) inégale des informations sur la sismicité historique, une évaluation fiable de l'aléa sismique en Tunisie ne peut se limiter à l'analyse de la distribution spatiale et temporelle de la sismicité.

Cependant, les progrès significatifs récents de la science fondamentale dans le domaine des mécanismes de déclenchement des séismes, permettent aujourd'hui d'identifier des signatures morphologiques des failles sismogéniques, de les cartographier et de caractériser leur comportement sismique à court et long terme. Ces nouvelles connaissances ont permis l'émergence et le développement d'une approche déterministe de l'aléa sismique.

Cette approche a pour objectif essentiel de connecter, à différentes échelles, la structure géologique et la sismicité exprimée ou/et potentielle et d'évaluer le degré d'activité des failles en caractérisant leurs paramètres de ruptures : elle fait appel à des multiples données issues des différentes disciplines des Sciences de la Terre.

En l'absence d'une telle étude sur les sources sismogéniques potentielles dans le champ proche, on ne peut ni confirmer ni infirmer que la valeur de l'accélération horizontale de 0,1g retenue jusqu'à ce jour soit réaliste au droit du site. Cette valeur traditionnellement retenue pour les calculs « pseudo-statiques » de stabilité des barrages Tunisiens (équivalente à 0,5g en dynamique), ne rend compte que des séismes de forte magnitude ($M \geq 6.0$) susceptibles de se produire à plus de 50 km des sites.

Ces accidents paraissent presque toujours le résultat d'un rejeu récent (quaternaire) de panneaux du socle, postérieurement à la phase paroxysmale (desserrage et reajustement), à l'emplacement des synclinaux et flexures transverses que l'on connaît depuis le Crétacé ou à l'aplomb de failles anciennes.

c) Enfin à l'échelle de l'observation locale de nombreux phénomènes de glissements et de « collapse structures », dus aux mêmes causes que les phénomènes extrusifs, c'est à dire à la généralité des alternances de couches plastiques épaisses et de couches calcaires rigides et relativement minces.

En fait, il apparaît qu'en Tunisie, une évaluation fiable de l'aléa sismique ne peut raisonnablement être basée uniquement sur la sismicité instrumentale et/ou historique. Fondamentalement ceci est lié à la faiblesse des mouvements relatifs (et donc de l'énergie libérée) se produisant dans le cadre de la convergence Afrique-Europe :

- En effet, aux frontières des plaques tectoniques où les mouvements relatifs sont importants (plusieurs cm/an), l'activité sismique est généralement suffisamment intense pour fournir rapidement une représentation complète de la géométrie de la sismicité.
- Au contraire, en domaine intra-plaque, où les mouvements relatifs sont faibles et où, par conséquent, l'énergie sismique libérée est également faible, la caractérisation de la sismicité locale (qui permet d'évaluer correctement l'aléa sismique) nécessiterait :
 - d'appréhender la sismicité sur une fenêtre de temps très large (plusieurs milliers d'années)
 - et/ou d'intégrer les séismes de faible magnitude, souvent mal localisés et qui ne sont probablement pas représentatifs des mouvements crustaux majeurs.

Par conséquent, en considérant la période très courte d'enregistrements sismiques fiables (environ « 4 ans ») au regard des temps de récurrence probables des séismes majeurs (plusieurs centaines, voire milliers d'années), et le caractère parcellaire et la qualité (fiabilité) inégale des informations sur la sismicité historique, une évaluation fiable de l'aléa sismique en Tunisie ne peut se limiter à l'analyse de la distribution spatiale et temporelle de la sismicité.

Cependant, les progrès significatifs récents de la science fondamentale dans le domaine des mécanismes de déclenchement des séismes, permettent aujourd'hui d'identifier des signatures morphologiques des failles sismogéniques, de les cartographier et de caractériser leur comportement sismique à court et long terme. Ces nouvelles connaissances ont permis l'émergence et le développement d'une approche déterministe de l'aléa sismique.

Cette approche a pour objectif essentiel de connecter, à différentes échelles, la structure géologique et la sismicité exprimée ou/et potentielle et d'évaluer le degré d'activité des failles en caractérisant leurs paramètres de ruptures : elle fait appel à des multiples données issues des différentes disciplines des Sciences de la Terre.

En l'absence d'une telle étude sur les sources sismogéniques potentielles dans le champ proche, on ne peut ni confirmer ni infirmer que la valeur de l'accélération horizontale de 0,1g retenue jusqu'à ce jour soit réaliste au droit du site. Cette valeur traditionnellement retenue pour les calculs « pseudo-statiques » de stabilité des barrages Tunisiens (équivalente à 0,5g en dynamique), ne rend compte que des séismes de forte magnitude ($M \geq 6.0$) susceptibles de se produire à plus de 50 km des sites.

Si cette incertitude devait être levée, il serait nécessaire :

- d'identifier et de caractériser les failles potentiellement sismogéniques dans le champ proche du barrage. Sur la base de la carte géologique au 1/500 000, il apparaît que les failles critiques susceptibles d'être réactivées dans le champ de contrainte actuel sont :

le système de faille NE-SW de Téboursouk-Tébourba se suivant sur plus d'une centaine de kilomètres depuis la frontière Algéro-Tunisienne jusqu'au Golfe de Tunis. Des indices d'activité récente sur ce système ont été signalés vers son extrémité NE dans la région d'Utique et de Ras Djebel qui a connu plusieurs séismes destructeurs depuis d'antiquité.

Les grandes failles normales de direction NW-SE, pluri-kilométriques contrôlant la sédimentation quaternaire et affectant le remplissage paléogène de différents bassins.

- D'estimer en terme de risque l'incidence d'une éventuelle réactivation sismique sur la fondation de l'ouvrage.

Toutefois, l'ouvrage projeté est modeste ; sa vulnérabilité sismique est limitée. On pourra donc se contenter de l'évaluation actuelle de 0,15 g.

IV - 3 - Géologie du site - Reconnaissances réalisées

La géologie du site est assez homogène. Elle est caractérisée par des formations argilo-silteuses jaunâtres, entrecoupées par des niveaux conglomériques plus ou moins grossiers à pendage subhorizontal, surplombant un substratum marneux. Les sommets sont marqués par une carapace calcaire d'âge quaternaire.

Au niveau du site "Amont" :

- la rive droite est constituée par le relèvement d'un flanc synclinal complexe de terrains crétacés calcaires et calcaire-marneux du mole d'El Attar. Ce flanc est bordé vers l'Est par cuestas d'Eocène calcaire de direction NW-SE et distordus vers le Nord.

Le diapir triasique de Sidi NSIR interrompt la continuité des bancs crétacés qui se redressent et basculent à son contact.

En contrebas, des lits plus sableux à conglomératiques plus ou moins cimentés ou tuffeux apparaissent sporadiquement en couverture subhorizontale.

- En rive gauche, après les vestiges des hautes terrasses silto-argileuses à argilo-sableuses et parfois à plages enrichies en carbonates, passant aux éluvions et dépôts de couverture des pentes, on doit rencontrer les argiles et sables du Pliocène continental qui ennoient l'extension des marnes et marno-calcaires de l'Eocène moyen et dessine un flanc synclinal de direction NE-SW.

Ce flanc s'interrompt au niveau du site, sa continuité vers l'Est est marquée par les dépôts de remplissage de la cuvette de CHAFROU.

Les investigations ont porté sur l'exécution de six sondages carottés avec essais d'eau répartis au niveau de l'emprise du barrage et cinq tarières, au diamètre 250 mm, dans la cuvette pour l'identification des zones d'emprunt.

IV - 3 - 1 - Reconnaissances du site

Les sondages réalisés au niveau du site sont présentés sur le plan I15-APS-06.

IV - 3 - 1 - 1 - Les sondages carottés

- Sondage SC1

Il a été implanté en rive gauche au bord de l'oued. Poussé à 30,00 m de profondeur, il a permis de reconnaître, sous une couverture de silt argileux brunâtre de 90 cm d'épaisseur, une première formation d'argile sableuse, caractérisée par des passages sablo-graveleux plus grossiers en alternances, d'une puissance moyenne de 2,00 m. Elle surplombe, jusqu'à 10,00 de profondeur, un horizon d'argile plus ou moins molle avec insertion de galets. La série sous-jacente s'identifie à un substratum argilo-marneux et a fait l'objet de trois essais d'eau du type LUGEON entre 11,00 et 26,00 m de profondeur dont l'interprétation et le commentaire sont donnés plus loin. Un échantillon intact a été prélevé à 24,00 m et présente peu d'intérêt.

- Sondage SC2

Il a été réalisé sur la rive gauche de l'oued à l'aval de SC1. Il a permis de recouper pratiquement la même série de dépôts alluvionnaires reconnue en SC1. Nous avons, en effet, rencontré, sous une couche de silt argileux de 1,00 m d'épaisseur, un horizon de sable fin argileux, compact d'une puissance moyenne de 2,00 m qui surplombe une formation de marne argileuse et d'argile marneuse, beige à grisâtre, caractérisée par un passage sableux et une insertion de galets dans une matrice argileuse à la base.

Le toit du substratum argilo-marneux se situe à 8,00 m de profondeur.

- Sondage SC3

Implanté au sommet du monticule rive droite, il a été descendu à 20,00 m de profondeur. La structure géologique est relativement simple. L'horizon d'argile molle, reconnu dans le lit de l'oued, disparaît et semble, par conséquent, se limiter logiquement à la partie basse. La coupe lithologique obtenue fait apparaître, sous une couche de silt argilo-sableux, une formation d'argile jaunâtre sableuse caractérisée par l'insertion d'un passage de grès argileux peu cimenté entre 3,80 m et 4,20 m de profondeur. Il surplombe, au-delà de 4,20 m et jusqu'à la fin du sondage, les argiles marneuses. Deux essais d'eau type Lefranc ont été réalisés respectivement au niveau des tranches comprises entre 6,00 et 10,50 m et 6,00 et 20,00 m. Les résultats correspondants sont consignés ci-après. D'autre part, un échantillon intact a été prélevé à 5,50 m de profondeur.

- Sondage SC4

Il a été exécuté en rive droite au niveau de la dépression destinée à recevoir l'évacuateur de crue de surface. Poussé à 15,00 m de profondeur, il a permis de s'assurer de l'homogénéité des formations géologiques du site. Nous avons, en effet, recoupé, sous une couverture de silt graveleux à argileux de 2,20 m d'épaisseur, l'horizon d'argile marneuse compacte identifié par ailleurs au niveau des autres sondages.

Un échantillon intact a été prélevé entre 5,60 m et 6,00 m de profondeur.

Sondage	Profondeur	% d'argile	Activité	Consistance Relative	Indice de Compression
SC1	24 - 24,50 m	34	0,73	0,9	0,30
SC3	5 - 5,50 m	36	0,54	1,16	0,29
SC4	5,50 - 6,00 m	39	0,63	1,13	0,31
SC5	6,60 - 7,00 m	48	0,64	0,96	0,38
	14,50-15,00m	36	0,71	1,12	0,32
SC6	9,50 -10,00 m	42	0,75	1,00	0,35
	13,50 -14,m	37	0,85	1,20	0,38
	24,50 -25 m	39	0,83	1,09	0,42

Malgré une distorsion entre certaines grandeurs déterminées au laboratoire et notamment entre l'identification du matériau et les cisaillements linéaires, nous constatons une homogénéité relativement uniforme des formations reconnues.

Le coefficient d'activité défini par SKEMPTON fait apparaître que nous sommes en présence d'argiles inactives à normales.

D'après les valeurs des indices de consistance relative, le matériau reconnu est assez consistant.

Nous pouvons, sans vouloir anticiper sur la conception de l'ouvrage, considérer que les matériaux d'assise appartiennent à la classe CL2 de la classification USCS et correspondent au toit de la formation argilo-marneuse. La dispersion constatée dans les valeurs de l'angle de frottement interne et de la cohésion au niveau des essais de cisaillement rend difficile le choix des caractéristiques de l'assise pour l'étude de stabilité. Cependant, une analyse globale comparée à d'autres sites de référence permet, en première approximation, de retenir un angle de frottement interne de 20° et une cohésion de 0,3 bar.

Ces valeurs peuvent être vérifiées par les formules de corrélation à partir des essais d'identification. Nous rappelons, à titre de référence, qu'un IP de 25 donne un angle de frottement interne de 22° .

IV - 3 - 1 - 3 - Essais d'eau - Perméabilité

Les essais Lugeon effectués au cours du sondage SC1 aux profondeurs respectives de 11,00 m, 16,00 m et 21,00 m ont été interprétés. Les résultats correspondants sont consignés dans les tableaux ci-joints.

Nous pouvons remarquer que les tranchées testées sont assez imperméables, ce qui ne surprend pas puisqu'elles concernent l'horizon argilo-marneux.

Les essais ont donné des unités Lugeons comprises entre 0 et 0,38 UL.

Il aurait été intéressant de procéder à un essai d'eau dans les tranches superficielles et notamment entre 5 et 10,00 m de profondeur.

Nous joignons également ci-après, le dépouillement des résultats des essais d'eau Lefranc réalisés au cours des sondages SC3, SC4 et SC6. L'interprétation correspondante confirme que les formations géologiques reconnues sont assez étanches.

Nous consignons ci-après les valeurs de l'indice de perméabilité K obtenu :

Sondage	Tranche testée	Valeur de $K(m/s)$	Observations
SC3	6,00 - 10,50 m 6,00 - 20,00 m	nul, pas d'absorption $4,06 \cdot 10^{-8}$	Les plus fortes valeurs de K correspondent à des horizons caractérisés par des insertions d'éléments graveleux
SC4	6,00 - 10,50 m	$9,00 \cdot 10^{-7}$	
SC6	0,00 - 7,00 m 6,00 - 14,00 m	$7,2 \cdot 10^{-7}$ $4,28 \cdot 10^{-7}$	

IV - 3 - 2 - Géologie de la cuvette

Le substratum de la cuvette est constituée par des formations argilo-marneuses Pliocène. Les sols de couverture, composés de colluvions et des produits d'altération silteux-argileux avec de rares inclusions graveleuses, militent en faveur d'une bonne étanchéité de la future retenue. Des lentilles alluvionnaires, localement plus sableuses dans certaines zones du lit de l'oued peuvent être rencontrées; elles seront coupées par la clé d'ancrage de la fondation de l'ouvrage. La cuvette, à fond très plat, est limitée par des berges constituées par des matériaux argileux incluant une composante granulo-sableuse.

Ces berges se raccordent généralement en pente assez douce vers le fond de la cuvette. Il est rare de rencontrer, en dehors du verrou, des talus assez redressés. Il ne semble pas, par conséquent, que des problèmes d'instabilité des berges puissent se poser.

IV - 3 - 3 - Reconnaissances des zones d'emprunt

Cinq tarières ont été réalisées à l'amont, dans l'emprise de la cuvette (voir plan 115-APS-09). Elles ont été implantées d'une manière assez dispersée et ne permettent pas de délimiter valablement les zones utilisables.

Les tarières ont fait l'objet de prélèvements d'échantillons remaniés qui ont subi des essais au laboratoire de l'Administration. Les résultats correspondants sont donnés dans le tableau ci-après :

Tarière	Profondeur en m	Proctor		Granulométrie		L. Atterberg		Class. UMS	Poids spécifique	Cisaillement U.T.	
		W ₅₀	γ _d	> 5mm	< 0,075	LL	IP			C _g (kg/cm ²)	τ
T1	0,50-4,00 m	15,3	1,76	6,0	75,5	38,6	18,0	CI ₂	2,68	0,450	19
T2	0,50-4,00 m	20,0	1,79	0	91,0	50,8	26,6	CH	2,69	0,550	25
T3	0,50-5,00 m	16,5	1,75	0	89,5	45,5	23,2	CI ₂	2,68	0,720	27
T4	0,50-5,00 m	21,0	1,74	0	96,5	57,3	33,4	CH	2,70	0,550	31
T5	0,50-5,00 m	22,2	1,77	0	98,5	59,5	32,5	CH	2,70	0,500	32

Il en résulte les propriétés spécifiques suivantes :

Tarière	Profondeur	% d'argile	Activité	Consistance relative	Indice de compression
T1	0,50 - 4,00 m	43	0,60	1,29	0,257
T2	0,50 - 4,00 m	47	0,66	1,16	0,367
T3	0,50 - 5,00 m	36	0,84	1,15	0,319
T4	0,50 - 5,00 m	63	0,56	1,09	0,425
T5	0,50 - 5,00 m	54	0,53	1,15	0,445

Nous attirons l'attention sur le fait que les échantillons analysés représentent des mélanges obtenus à la tarière sur des profondeurs variant entre 4,00 m et 5,00 m et sont par conséquent, peu représentatifs.

L'exploitation des résultats obtenus peut conduire à une sélection assez sévère : en toute logique, seuls les matériaux des zones T1 et T3 appartenant à la classe C1.2 peuvent être retenus pour la confection du noyau et de la recharge amont de la digue.

Or l'examen de la géologie de surface de la cuvette fait apparaître que les matériaux pour la réalisation du corps du barrage existent en abondance.

ANNEXES – CHAPITRE IV

Esquisse structurale du bassin de la MEDJERDAH

Gr: 1.2.3.2



ESSAIS LUGEON SONDAGE SC1

Prof. nappe 2.36 m

Tranche	de	à	Pression	H ₀ man.	flexible	tube	Débit	perdes ch	P ₀ Pe effective	Lugeon
	m	m	bar	m	m	m	l/min	bars	bar	UL
1	11	16	1	1	10	16	0	0.0	1.3	0.00
	11	16	3	1	10	16	0.4	0.0	3.3	0.24
	11	16	5	1	10	16	0.7	0.0	5.3	0.26
	11	16	7	1	10	16	1.4	0.0	7.3	0.38
	11	16	10	1	10	16	1.7	0.0	10.3	0.53
	11	16	7	1	10	16	0.4	0.0	7.3	0.11
	11	16	5	1	10	16	0.3	0.0	5.3	0.11
	11	16	3	1	10	16	0	0.0	3.3	0.00
	11	16	1	1	10	16	0	0.0	1.3	0.00

Prof. nappe 4.35 m

Tranche	de	à	Pression	H ₀ man.	flexible	tube	Débit	perdes ch	P ₀ Pe effective	Lugeon
	m	m	bar	m	m	m	l/min	bars	bar	UL
2	16	21	1	1	10	26	0	0.0	1.5	0.00
	16	21	3	1	10	26	0.2	0.0	3.5	0.11
	16	21	5	1	10	26	0.4	0.0	5.5	0.14
	16	21	7	1	10	26	0.6	0.0	7.5	0.16
	16	21	10	1	10	26	1.1	0.0	10.5	0.21
	16	21	7	1	10	26	0.3	0.0	7.5	0.08
	16	21	5	1	10	26	0	0.0	5.5	0.00
	16	21	3	1	10	26	0	0.0	3.5	0.00
	16	21	1	1	10	26	0	0.0	1.5	0.00

Prof. nappe 5.6 m

Tranche	de	à	Pression	H ₀ man.	flexible	tube	Débit	perdes ch	P ₀ Pe effective	Lugeon
	m	m	bar	m	m	m	l/min	bars	bar	UL
3	21	26	1	1	10	31	0	0.0	1.7	0.00
	21	26	3	1	10	31	0.2	0.0	3.7	0.11
	21	26	5	1	10	31	0.3	0.0	5.7	0.11
	21	26	7	1	10	31	0.6	0.0	7.7	0.16
	21	26	10	1	10	31	0.9	0.0	10.7	0.15
	21	26	7	1	10	31	0	0.0	7.7	0.00
	21	26	5	1	10	31	0	0.0	5.7	0.00
	21	26	3	1	10	31	0	0.0	3.7	0.00
	21	26	1	1	10	31	0	0.0	1.7	0.00

Essai de perméabilité (niveau descendant)

Profondeur nappe phréatique	H_w (m)	2.3
Niveau d'eau initial au dessus du sol dans le tubage	H_0 (m)	0.6
Diamètre intérieur du tubage	$2R$ (mm)	113
Longueur de la lanterne	L (m)	4.5
Profondeur au milieu de la lanterne	H_l (m)	0.25

ΔH : Profondeur à partir du niveau initial

$$\lambda = (H_0 - \Delta H) / H_0$$

$$H_0 = H_l + H_l \text{ si } H_w > H_l$$

$$H_0 = H_l + H_w \text{ si } H_w < H_l$$



Temps (min)	ΔH (m)	λ
1	0.02	0.963
3	0.03	0.950
5	0.03	0.950
10	0.03	0.950
15	0.03	0.950

Calcul de la perméabilité (K)

Temps t_1	3
Temps t_2	15
λ_1	0.99
λ_2	0.99
H_0	2.9
$H_1 = H_0 \times \lambda_1$	2.871
$H_2 = H_0 \times \lambda_2$	2.871

$$K \text{ (m/s)} = R^2 / (4L(t_2 - t_1)) \times \ln(L/R) \times \ln(H_1/H_2)$$

$$K \text{ (m/s)} : 0.00E+00$$

Essai de perméabilité (niveau descendant)

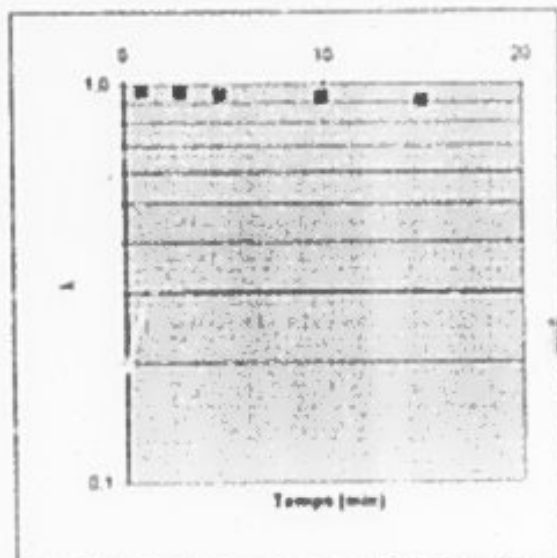
Profondeur nappe phréatique	Hw (m)	16,07
Niveau d'eau initial au-dessus du sol dans le tubage	Ht (m)	0,6
Diamètre intérieur du tubage	2R (mm)	113
Longueur de la lanterne	L (m)	14
Profondeur au milieu de la lanterne	Hl (m)	13

ΔH : Profondeur à partir du niveau initial

$$\lambda = (H_0 - \Delta H) / H_0$$

$$H_0 = Ht + Hl \text{ si } Hw > Hl$$

$$H_0 = Ht + Hw \text{ si } Hw < Hl$$



Temps (min)	ΔH (m)	λ
1	0,72	0,967
3	0,9	0,946
5	1,06	0,906
10	1,22	0,821
15	1,61	0,603

Calcul de la perméabilité (K)

Temps t_1	3
Temps t_2	15
λ_1	0,946
λ_2	0,603
H_0	16,67
$H_1 = H_0 \times \lambda_1$	15,7682
$H_2 = H_0 \times \lambda_2$	15,05301

$$K \text{ (m/s)} = R^2 / (2L(t_2 - t_1)) \times \ln(L/R) \times \ln(H_1/H_2)$$

$$K \text{ (m/s)} : 4,06E-08$$

Essai de perméabilité (niveau descendant)

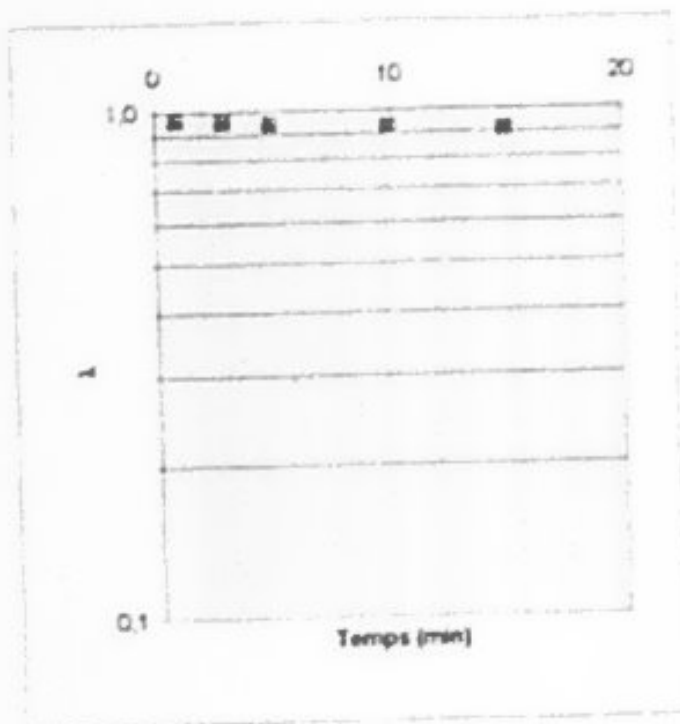
Profondeur nappe phréatique	Hw (m)	3.1
Niveau d'eau initial au-dessus du sol dans le tubage	Ht (m)	0.6
Diamètre intérieur du tubage	2R (mm)	113
Longueur de la lanterne	L (m)	4
Profondeur au milieu de la lanterne	Hi (m)	8

ΔH : Profondeur à partir du niveau initial

$$\lambda = (H_0 - \Delta H) / H_0$$

$$H_0 = H_t + H_i \text{ si } H_w > H_i$$

$$H_0 = H_t + H_w \text{ si } H_w < H_i$$



Temps (min)	ΔH (m)	λ
1	0.53	0.857
3	0.7	0.811
5	0.98	0.735
10	1.24	0.665
15	1.65	0.554

Calcul de la perméabilité (K)

Temps t_1	3
Temps t_2	15
λ_1	0.811
λ_2	0.554
H_0	3.7
$H_1 = H_0 \times \lambda_1$	3.0007
$H_2 = H_0 \times \lambda_2$	2.0498

$$K \text{ (m/s)} = R^2 / 2L(t_2 - t_1) \times \ln(U/R) \times \ln(H_1/H_2)$$

$$K \text{ (m/s)} : 9.00E-07$$

Essai de perméabilité (niveau descendant)

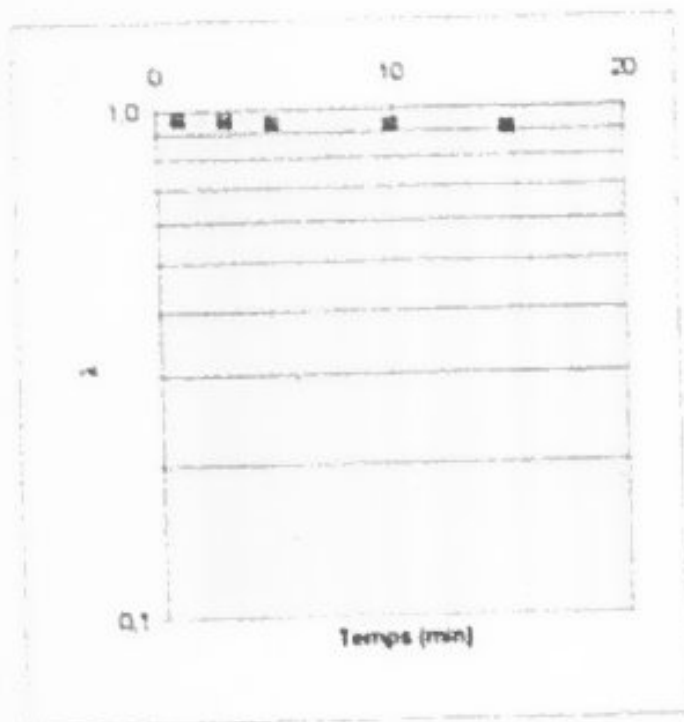
Profondeur nappe phréatique	Hw (m)	3.1
Niveau d'eau initial au-dessus du sol dans le tubage	Ht (m)	0.6
Diamètre intérieur du tubage	2R(mm)	113
Longueur de la lanterne	L (m)	4
Profondeur au milieu de la lanterne	Hl (m)	8

ΔH : Profondeur à partir du niveau initial

$$\lambda = (H_0 - \Delta H) / H_0$$

$$H_0 = H_t + H_l \text{ si } H_w > H_l$$

$$H_0 = H_t + H_w \text{ si } H_w < H_l$$



Temps (min)	ΔH (m)	λ
1	0.53	0.857
3	0.7	0.811
5	0.98	0.735
10	1.24	0.605
15	1.65	0.554

Calcul de la perméabilité (K)

Temps t_1 3

Temps t_2 15

λ_1 0.811

λ_2 0.554

H_0 3.7

$H_1 = H_0 \times \lambda_1$ 3.0007

$H_2 = H_0 \times \lambda_2$ 2.0498

$$K \text{ (m/s)} = R^2 / (2L(t_2 - t_1)) \times \ln(L/R) \times \ln(H_1/H_2)$$

K (m/s) : 9.00E 07

Essai de perméabilité (niveau descendant)

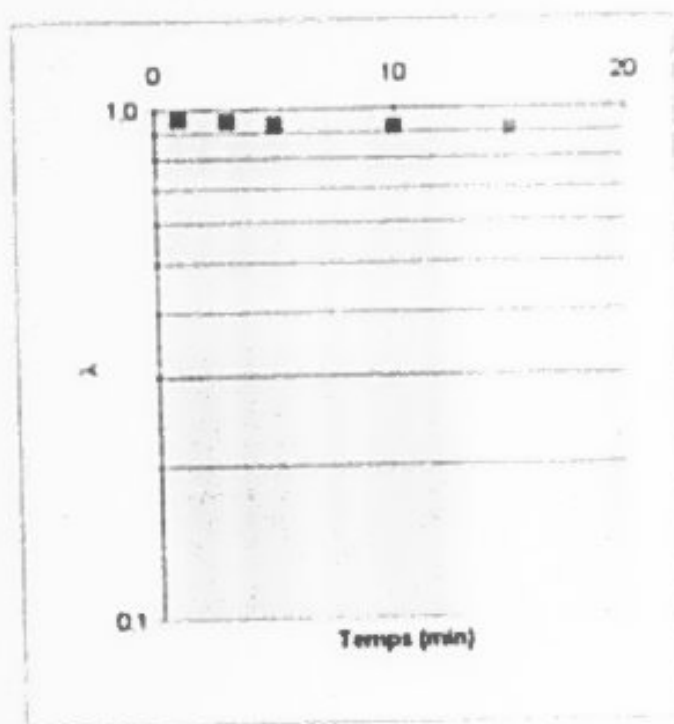
Profondeur nappe phréatique	Hw (m)	3,52
Niveau d'eau initial au-dessus du sol dans le tubage	Hl (m)	0,6
Diamètre intérieur du tubage	2R(mm)	113
Longueur de la lanterne	L (m)	7
Profondeur au milieu de la lanterne	Hl (m)	3,5

ΔH : Profondeur à partir du niveau initial

$$\lambda = (H_0 - \Delta H) / H_0$$

$$H_0 = Hl + Hl \text{ si } Hw > Hl$$

$$H_0 = Hl + Hw \text{ si } Hw < Hl$$



Temps (min)	ΔH (m)	λ
1	0,24	0,942
3	0,68	0,835
5	0,98	0,762
10	1,57	0,619
15	1,98	0,519

Calcul de la perméabilité (K)

Temps t_1 : 3

Temps t_2 : 15

λ_1 : 0,835

λ_2 : 0,519

H_0 : 4,12

$H_1 = H_0 \times \lambda_1$: 3,4402

$H_2 = H_0 \times \lambda_2$: 2,13828

$$K \text{ (m/s)} = R^2 / 2L(t_2 - t_1) \times \ln(L/R) \times \ln(H_1 - H_2)$$

K (m/s) : 7,26E-07

Essai de perméabilité (niveau descendant)

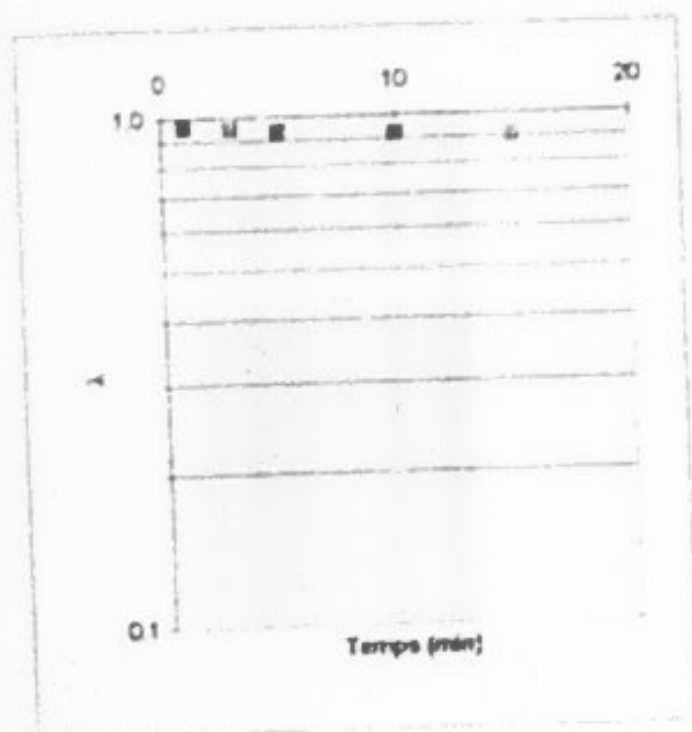
Profondeur nappe phréatique	H_w (m)	4.88
Niveau d'eau initial au-dessus du sol dans le tubage	H_t (m)	0.6
Diamètre intérieur du tubage	$2R$ (mm)	113
Longueur de la lanterne	L (m)	8
Profondeur au milieu de la lanterne	H_l (m)	10

ΔH : Profondeur à partir du niveau initial

$$\lambda = (H_0 - \Delta H) / H_0$$

$$H_0 = H_t + H_l \text{ si } H_w > H_l$$

$$H_0 = H_t + H_w \text{ si } H_w < H_l$$



Temps (min)	ΔH (m)	λ
1	0.27	0.951
3	0.71	0.870
5	0.93	0.830
10	1.51	0.724
15	1.99	0.637

Calcul de la perméabilité (K)

Temps t_1	3
Temps t_2	15
λ_1	0.87
λ_2	0.637
H_0	5.48
$H_1 = H_0 \times \lambda_1$	4.7676
$H_2 = H_0 \times \lambda_2$	3.49076

$$K \text{ (m/s)} = R^2 / 2L(t_2 - t_1) \times \ln(L/R) \times \ln(H_1/H_2)$$

$$K \text{ (m/s)} : 4.28E-07$$

V - AMELIORATION DE LA QUALITE DES EAUX DU NORD

V - AMELIORATION DE LA QUALITE DES EAUX DU NORD

L'un des objectifs recherchés à travers la réalisation d'un barrage sur l'oued CHAFROU consiste à exploiter la retenue en envisageant un transit et un séjour des eaux du Nord, qui alimentent Tunis et le Cap Bon à partir du Canal Medjerda-Cap Bon, dans le but d'améliorer la qualité des eaux et de réduire leur turbidité.

Rappelons que le canal Medjerda-Cap Bon, géré par la Société d'Exploitation du Canal et des Adductions des Eaux du Nord (SECADENORD), capte actuellement à l'amont du barrage El Aroussia, les lâchures stockées du barrage de Sidi Salem auxquelles s'ajouteront les eaux de la future retenue de Barbara. Une station de pompage réalisée à Béjaoua assure l'alimentation à travers le canal des différents usagers (SONEDE et CRDA). Un deuxième circuit alimente également le canal à l'aval de la station de Béjaoua à partir des conduites en provenance des retenues de Sejnane et Joumine. La retenue de Sejnane recevra dans un proche avenir, les eaux du barrage Sidi El Barrek en cours de construction. Un schéma du système de transfert Medjerda est présenté en annexe 1 à ce chapitre.

L'interconnexion canal - barrage Chafrou est envisageable à l'amont de la station de pompage Béjaoua moyennant la réalisation d'un ouvrage d'adduction (conduite probablement) d'une longueur d'environ 15 km. La dénivellation qui existe imposera un pompage pour le transfert des eaux du canal vers la future retenue sur l'oued Chafrou. La restitution des eaux au canal, à l'aval, sera assurée gravitairement.

V - 1 - Volume de la retenue :

L'opération de stockage transitoire des eaux du canal Medjerda - Cap Bon dans le barrage sur l'oued Chafrou ne peut être efficace que dans la mesure où le bassin versant du barrage correspondant présente une faible superficie donc un apport propre faible, pour une retenue importante offrant une capacité supérieure à plusieurs fois la valeur des apports annuels et garantissant un temps de séjour important.

Or, comme nous avons pu le constater précédemment, la capacité limitée de la retenue est un handicap réel. Avec un volume de l'ordre de 7 Mm³, la retenue permet, dans les conditions actuelles de gestion du canal et sans tenir compte des apports propres de l'oued, de stocker environ 10 jours d'apports au canal, lorsque la demande est maximale : en moyenne 500 000 m³/jour en juillet et août (voir en annexe 2 les données de gestion du canal pour les mois de juillet et août 1997).

V - 2 - Salinité :

L'annexe 3 présente les données de qualité des eaux du canal Medjerda - Cap Bon pour les mois de juillet et août 1997. On constate que la salinité moyenne à la station de Béjaoua est comprise entre 1,5 et 1,7 g/l.

Nous avons pu remarquer que les eaux de l'oued CHAFROU sont assez chargées en résidu sec. On note la présence d'une *Sebkha* en rive gauche qui draine les apports de l'affluent le plus important *Oued El Malah*, difficilement neutralisables. La salinité peut atteindre, par endroit, 5 g/l et pénalise déjà l'utilisation du barrage pour d'autres fins (irrigation notamment).

Il en résulte que le site retenu ne peut pas permettre une amélioration des qualités des eaux du Nord.

V - 3 - Turbidité

Le problème correspondant a été évoqué par les responsables de la SECADENORD mais ne semble pas représenter un objectif prioritaire.

Compte tenu des apports propres de l'oued CHAFROU, les volumes à transiter ne permettent pas d'envisager des séjours suffisants dans la retenue pour assurer une décantation efficace. Les résultats espérés ne seraient pas à l'échelle des coûts d'investissement correspondants.

V - 4 - Proposition alternative

Dans son étude de variantes du schéma hydraulique du Plan Directeur des Eaux du Nord, le Bureau d'Etudes Coyne et Bellier a recherché à la fois une alternative au barrage de Sidi Salem et des sites potentiels pour l'amélioration des qualités des eaux du Nord.

Coyne et Bellier a identifié plusieurs sites dans les environs de Tunis permettant, à un prix raisonnable, la création d'une retenue de l'ordre de $20 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ avec une superficie de bassin versant faible et des apports limités. Nous reprenons ci-dessous l'inventaire correspondant.

Nous attirons l'attention sur le fait que cette étude et par conséquent l'estimation de l'indice de coût date de 1972.

Site N°	BV en km²	DIGEST							Rapport V/V¹	Indice de coût L du m³ de retenue (1)	Formation Géologique (2)
		RETENUE		Coût R.N. en m	Hauteur en m	Long. en crête en m	Surf d'emp. S² en 10³ m²	Volume V¹ en 10⁶ m³			
		Surface en km²	Volume V en 10⁶ m³								
1	15,7	2,4	17,0	80	24,0	860	85	0,8	21,2	0,077	P¹
1bis	12,5	2,9	21,0	90	24,0	900	90	0,85	24,7	0,083	P¹
2	22,0	3,5	28,0	80	27,0	960	115	1,2	28,1	0,084	P¹
3	3,5	1,2	17,0	90	45,0	900	100	1,75	9,7	0,162	P¹
3bis	2,4	1,1	17,5	110	50,0	680	110	2,25	7,8	0,191	P¹
4	2,6	1,15	12,5	100	35,0	1180	110	1,25	10,0	0,188	P¹
5	7,5	2,4	28,5	90	18,0	740	95	1,35	21,1	0,080	P¹
5a	7,5	1,25	10,0	78	26,0	460	45	0,50	20,0	0,095	P¹
6	1,9	1,0	13,0	120	42,0	770	110	1,55	8,4	0,201	P¹
7	6,4	1,0	8,0	80	27,0	950	75	0,75	10,7	0,187	P¹
8	6,1	2,1	21,5	100	13,0	1270	105	1,20	19,6	0,095	P¹
8a	6,1	1,1	10,0	92,5	25,0	660	70	0,60	16,7	0,120	P¹

(1) $I = (105 + V) \cdot V^{-1} \cdot 105 \cdot V^{-1}$ est proportionnel au coût de la digue, et I est à peu près proportionnel au coût du m³ de retenue, le coût des ouvrages annexes étant faible.

(2) Formation géologique d'après la carte au 1:200 000ème : P¹ - Pléistocène continental (grès à Hippurites, argiles à Helix) etc. - Niveau moyen méditerranéen - argiles jaunes à gros grains, rochers, etc. - Crayon de Normandie, etc. - Argiles et Calcaires compacts.

Ces sites ont fait l'objet d'un plan sur fond de carte à l'échelle 1:50 000^{ème} dont un extrait est joint en annexe 4.

Nous pouvons notamment remarquer que certains de ces sites se situent assez près du barrage El Aroussia, point de départ du Canal Medjerdah-Cap Bori.

Ces sites ont été jugés intéressants d'après une étude sur carte d'Etat Major. Au plan géologique, ils se situent dans le Pliocène continental caractérisé par l'alternance de couches subhorizontales, visibles par endroits, constituées d'une gamme étendue de matériaux : depuis les matériaux nettement sableux plus ou moins cimentés jusqu'aux argiles plastiques.

Les verrous se présentent sous forme de V symétrique à pentes douces. Par ailleurs, il ne semble pas que des bassins versants aussi petits puissent présenter le danger d'un apport en sel.

Nous proposons de poursuivre les études du barrage CHAFROU indépendamment de la gestion des eaux du Nord et de reprendre sur la base de l'étude de Coyne et Bellier la recherche d'un site approprié à l'objectif d'amélioration des eaux de la SECADENORD. La sélection d'un site devra faire l'objet :

- d'une étude hydrologique,
- d'un levé topographique,
- d'une étude géologique de surface, complétée par des travaux de reconnaissances simples.

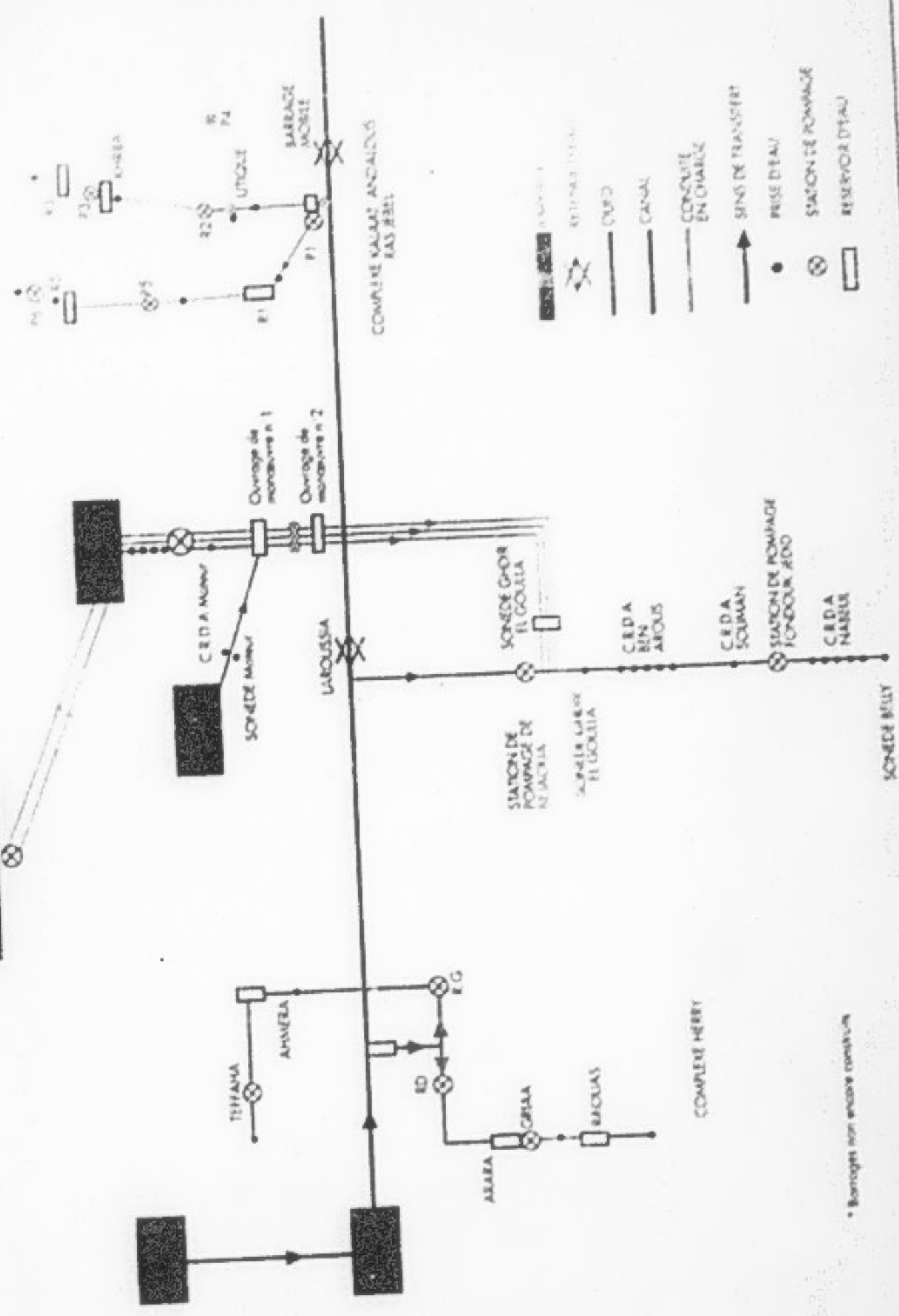
Les sites reconnus se prêtent bien a priori à des variantes digues en terre avec de petits ouvrages annexes en béton compte tenu du fait que les bassins versants sont petits.

L'étude correspondante ne fait pas partie des prestations définies par les termes de référence.

ANNEXES - CHAPITRE V

OUVRAGES MIS A LA DISPOSITION DE LA SECADENORD POUR EXPLOITATION

ANNEXE I



* Barrages non encore construits

AGENCE D'EXPLOITATION DU CANAL
ET DES ADDUCTIONS DES EAUX DU NORD

SUIVI DES VOLUMES POMPES, TRANSITES ET FOURNIS

MOIS : juillet 97

DATE	CANAL M.C.B.		JOURMINE-SEJNE		HERRY			KAALAT			SONEDE			CHDA NABEUL	
	S.P.B.	S.P.F.J.	QUININ	SEJNE	ENHAURE	R.D.	R.G.	TEFFAIA	GHAIA	PO	TUNIS	BELLY	ELZERTE	SOLIMAN	ST BELLY
01/07/1997	454 896	322 020		95 620	75 924	30 748	46 750	21 600	8 545	111 254	144 790	188 900	28 500	53 675	57 024
02/07/1997	475 092	336 240		95 780	69 426	27 594	43 808	16 900	6 363	94 940	145 890	190 100	32 520	53 675	57 024
03/07/1997	519 372	358 740		94 760	77 292	29 564	32 972	22 300	7 421	42 954	172 580	199 800	33 440	53 765	59 400
04/07/1997	565 272	335 520		94 240	63 612	26 937	53 561	15 000	7 138	125 161	177 920	193 900	35 430	47 460	57 024
05/07/1997	475 632	351 600		95 440	77 292	35 609	44 118	17 250	11 590	100 138	175 750	185 300	31 450	53 675	51 084
06/07/1997	561 660	331 200		94 660	72 504	33 638	42 260	18 650	12 717	95 131	235 020	184 000	28 530	52 545	58 212
07/07/1997	466 020	324 000		94 350	62 928	27 725	38 700	17 400	8 625	50 704	174 700	186 800	31 580	53 675	49 896
08/07/1997	490 128	322 020		94 180	67 012	30 485	40 401	18 100	10 195	125 132	173 380	187 500	32 580	53 675	49 896
09/07/1997	456 840	324 360		93 700	72 162	32 981	43 034	18 500	10 781	83 268	172 700	189 400	32 640	58 195	53 460
10/07/1997	551 124	348 120		93 640	73 872	33 113	43 808	19 350	9 275	70 925	175 260	194 800	32 710	54 965	54 648
11/07/1997	464 076	316 440		94 160	74 898	37 055	41 022	17 500	10 847	27 605	171 580	175 500	32 170	57 630	51 084
12/07/1997	503 388	308 520		94 440	71 820	36 135	38 545	14 300	9 469	126 636	175 500	186 500	32 080	58 195	46 532
13/07/1997	551 556	321 360		94 860	65 664	31 142	39 164	13 850	10 132	42 855	250 110	197 500	33 180	60 465	53 460
14/07/1997	448 092	316 440		95 480	72 504	32 456	42 880	15 200	11 425	102 669	175 450	204 500	34 470	32 205	51 084
15/07/1997	491 508	332 280		96 460	74 214	33 770	43 654	18 370	11 796	193 234	162 180	212 200	41 430	53 675	55 836
16/07/1997	531 252	348 120		97 030	81 738	39 683	43 499	16 880	15 302	130 922	172 600	209 800	37 600	23 165	58 212
17/07/1997	502 848	348 120		96 150	69 084	34 295	39 629	15 250	12 000	73 160	174 030	197 900	40 600	40 680	58 212
18/07/1997	431 460	362 880		96 230	77 292	36 135	44 892	18 600	12 395	69 638	174 170	197 700	39 550	54 805	57 024
19/07/1997	474 444	378 720	84 510	29 340	75 240	37 055	43 499	15 300	14 611	103 518	123 480	203 900	35 500	67 890	54 648
20/07/1997	550 908	347 400	8 690	109 710	76 608	39 814	40 867	14 300	20 096	243 630	247 970	192 000	36 800	71 190	58 212
21/07/1997	591 300	341 460		125 730	75 240	40 340	39 010	15 500	21 325	97 348	176 400	206 000	39 720	40 080	48 708
22/07/1997	448 848	379 440		126 440	78 660	42 179	37 601	15 000	21 307	97 348	165 760	184 600	33 730	51 980	58 212
23/07/1997	530 712	347 940		127 220	70 452	34 427	35 759	15 100	15 086	64 338	174 600	199 100	43 290	23 165	62 964
24/07/1997	492 480	357 360		130 980	68 742	35 872	33 592	15 500	17 000	151 826	176 610	210 100	42 970	54 240	64 152
25/07/1997	553 068	363 240		129 460	61 218	36 792	24 923	12 700	20 341	97 348	182 260	203 300	35 300	57 630	55 836
26/07/1997	496 260	320 400		126 180	61 560	37 186	26 935	9 700	18 577	66 603	172 800	208 800	39 560	57 065	35 640
27/07/1997	484 812	357 120		123 310	61 560	30 353	33 282	12 450	8 735	38 218	251 010	188 100	36 500	59 325	57 024
28/07/1997	488 484	332 280		122 990	59 508	30 222	30 805	9 500	12 382	62 111	173 230	199 300	38 450	31 640	58 212
29/07/1997	435 348	358 200		125 350	67 032	37 318	28 638	9 000	20 327	35 196	175 520	206 100	34 720	34 465	58 212
30/07/1997	502 740	374 040		125 430	67 374	37 449	30 031	9 300	17 310	125 956	178 020	210 500	38 270	36 160	60 588
31/07/1997	542 484	356 400		123 190	69 426	39 814	30 031	9 750	18 658	168 679	177 180	199 100	44 460	51 415	59 400
TOTAL	15 532 344	10 621 860	93 200	3 236 710	2 191 878	1 067 887	1 197 672	477 500	411 678	3 018 445	5 578 450	6 093 000	1 112 730	1 532 280	1 710 720

SUIVI DES VOLUMES POMPES, TRANSITES ET FOURNIS

MOIS: août 97

DATE	CANAL M.C.B.		JOURNÉE-SENESE		HERRY			KAALAT			SONEDE			CRDA NABEUL	
	S.P.B.	S.P.F.J.	JOURNÉE	SENESE	EXHAURE	R.D.	R.G.	TEFFAHA	GRIJAT	PO	TUNIS	BELLY	BIZERTE	SOLIMAN	ST.BELLY
01/08/1997	522 612	352 440		122 120	70 110	40 471	30 031	9 800	22 232	83 754	183 960	175 300	38 000	51 980	62 964
02/08/1997	506 844	317 160		122 760	61 902	36 398	28 174	11 100	17 805	171 179	183 600	203 400	37 770	58 195	58 212
03/08/1997	505 224	362 700		122 350	67 032	40 208	27 080	8 050	21 341	264 552	259 200	199 400	37 770	54 940	64 152
04/08/1997	502 632	355 500		122 920	58 824	36 135	24 458	7 050	17 387	111 254	188 640	200 000	41 340	57 630	52 272
05/08/1997	478 440	359 640		124 070	54 036	31 667	24 768	8 850	15 341	60 531	185 400	205 700	40 390	50 850	57 024
06/08/1997	484 920	373 140		124 640	57 114	31 273	28 174	8 150	14 581	125 161	183 240	205 300	42 530	57 630	53 460
07/08/1997	538 596	338 760		125 310	11 286	6 833	7 276	2 217	1 883	148 689	185 040	202 400	39 910	55 370	49 896
08/08/1997	473 580	353 160		125 120						125 161	185 760	214 000	41 540	57 065	48 708
09/08/1997	472 608	338 760		124 680						110 419	184 680	217 200	41 590	57 065	41 580
10/08/1997	446 688	357 120		127 960						166 882	259 200	218 600	43 120	57 630	51 084
11/08/1997	517 428	362 850		123 270	33 174	15 505	17 183	3 933	4 556	36 053	185 400	216 000	40 770	55 370	47 520
12/08/1997	482 436	365 220		123 800	47 880	24 966	23 994	6 900	11 103	38 960	186 840	207 700	38 850	55 935	51 084
13/08/1997	457 920	345 960		124 400	41 382	23 652	20 279	6 500	9 227	95 068	187 560	209 000	37 900	52 545	55 836
14/08/1997	543 456	342 000		122 500	21 204	13 271	7 740	2 961	7 270	131 175	184 320	200 400	37 580	57 630	52 272
15/08/1997	483 192	333 180		123 610	31 806	17 870	11 146	2 108	8 841	125 161	158 400	205 700	38 860	57 630	51 084
16/08/1997	456 840	351 180		121 620	38 304	22 732	18 112	3 151	8 122	143 545	155 520	205 000	40 360	57 630	54 240
17/08/1997	460 512	331 200		122 430	36 252	21 681	17 492	4 230	7 248	224 569	164 160	208 100	35 000	54 240	54 648
18/08/1997	430 596	350 280		123 510	27 360	17 082	13 932	4 400	7 203	112 645	155 160	200 700	42 700	53 675	43 956
19/08/1997	459 972	280 800		122 020	27 018	16 425	14 861	5 000	6 765	114 904	188 640	206 700	36 200	57 065	34 452
20/08/1997	378 756	298 620		123 200	30 438	19 316	15 016	5 400	10 137	86 213	197 640	203 800	40 020	55 370	33 264
21/08/1997	409 644	314 460		123 780	41 046	24 178	16 409	5 700	16 515	125 851	199 080	206 800	36 010	57 630	32 264
22/08/1997	455 868	331 020		124 940	31 464	22 075	12 384	3 000	15 057	110 419	197 820	188 900	39 270	55 370	39 204
23/08/1997	401 652	270 000		125 750	10 260	10 775	3 870	1 091	5 995	101 007	198 720	187 900	40 440	57 630	32 076
24/08/1997	362 124	275 760		124 000						208 498	216 000	189 500	38 270	59 190	38 016
25/08/1997	382 536	292 860		125 240						98 059	199 440	189 100	37 710	54 805	27 544
26/08/1997	399 276	261 180		124 380						83 441	189 000	189 700	42 900	48 025	33 264
27/08/1997	329 616	245 520		125 220							199 080	196 600	45 900	46 895	22 572
28/08/1997	303 804	194 040		125 680						62 528	199 080	206 400	39 700	48 025	15 444
29/08/1997	332 532	233 640		126 350	28 044	20 893	4 644	2 300	11 415	55 210	199 440	189 300	34 820	47 460	15 444
30/08/1997	293 328	192 060		127 160	16 074	11 432	1 858	1 380	6 750	62 581	191 160	187 800	37 750	52 545	10 692
31/08/1997	339 012	205 920		125 880						67 150	216 000	176 000	34 660	57 065	14 256
TOTAL	13 612 644	9 686 160	0	3 850 670	842 004	501 839	368 888	113 271	246 774	3 450 619	5 967 189	6 212 400	1 219 630	1 700 085	1 298 484

SOCIÉTÉ D'EXPLOITATION DU CANAL
ET DES ADDUCTIONS DES EAUX DU NORD

MOIS : juillet 97

ETAT JOURNALIER DE LA QUALITÉ DE L'EAU

DATE	TIR	SAL. V.E.			SAL. V.B.			SAL. BEJAOUA			SAL. F. JEDID			S. HERRY 4 HED	S. KANDALOUS	
		MIN	MAX	MOY	MIN	MAX	MOY	MIN	MAX	MOY	MIN	MAX	MOY		3H	21H
01/07/1997	18.11	1.40	1.50	1.40	1.35	1.41	1.39	1.50	1.50	1.50	0.85	1.50	1.34	1.60	1.69	1.7
02/07/1997	16	1.40	1.40	1.40	1.35	1.41	1.39	1.40	1.50	1.46	1.00	1.40	1.36	1.50	1.68	1.67
03/07/1997	16.98	1.40	1.40	1.40	1.30	1.40	1.36	1.40	1.45	1.42	1.00	1.45	1.36	1.50	1.65	1.75
04/07/1997	17.97	1.40	1.45	1.41	1.35	1.40	1.39	1.40	1.50	1.49	1.40	1.40	1.40	1.50	2.4	2.1
05/07/1997	15.39	1.40	1.45	1.43	1.35	1.42	1.39	1.40	1.50	1.45	1.40	1.40	1.40	1.50	1.85	1.75
06/07/1997	16.09	1.40	1.50	1.42	1.35	1.40	1.39	1.40	1.45	1.41	0.90	1.40	1.37	1.50	1.69	1.84
07/07/1997	15.13	1.50	1.50	1.50	1.35	1.45	1.40	1.50	1.50	1.50	1.40	1.40	1.40	1.50	1.79	2.06
08/07/1997	13.94	1.50	1.50	1.50	1.35	1.45	1.39	1.50	1.50	1.50	1.40	1.40	1.40	1.70	1.69	1.91
09/07/1997	14.3	1.50	1.50	1.50	1.35	1.45	1.39	1.50	1.50	1.50	1.40	1.40	1.40	1.50	1.78	1.78
10/07/1997	14.43	1.50	1.50	1.50	1.35	1.45	1.40	1.50	1.50	1.50	1.40	1.40	1.40	1.50	1.7	1.91
11/07/1997	12.32	1.50	1.50	1.50	1.35	1.45	1.43	1.50	1.50	1.50	0.90	1.40	1.37	1.60	1.93	1.97
12/07/1997	18.11	1.50	1.50	1.50	1.40	1.45	1.43	1.50	1.50	1.50	0.90	1.40	1.33	1.50	1.84	2.04
13/07/1997	22.3	1.50	1.50	1.50	1.40	1.45	1.43	1.50	1.50	1.50	1.40	1.40	1.40	1.50	1.96	2.04
14/07/1997	19.5	1.50	1.50	1.50	1.38	1.45	1.41	1.50	1.50	1.50	1.40	1.50	1.42	1.50	1.99	2.36
15/07/1997	21.59	1.50	1.50	1.50	1.35	1.45	1.40	1.50	1.50	1.50	1.40	1.50	1.44	1.50	1.56	1.56
16/07/1997	24.45	1.50	1.50	1.50	1.35	1.40	1.39	1.50	1.50	1.50	1.40	1.50	1.45	1.50	1.71	1.71
17/07/1997	19.78	1.50	1.50	1.50	1.35	1.47	1.45	1.50	1.50	1.50	1.40	1.50	1.42	1.40	1.78	1.63
18/07/1997	21.1	1.50	1.50	1.50	1.45	1.45	1.45	1.50	1.50	1.50	1.40	1.50	1.42	1.40	1.87	1.82
19/07/1997	20.34	1.40	1.50	1.46	1.45	1.47	1.45	1.50	1.50	1.50	1.40	1.50	1.41	1.50	2.14	2.14
20/07/1997	20.15	1.40	1.45	1.43	1.40	1.50	1.45	1.50	1.50	1.50	1.40	1.50	1.42	1.50	1.82	1.49
21/07/1997	19.45	1.45	1.45	1.45	1.40	1.45	1.40	1.50	1.50	1.50	1.40	1.50	1.40	1.50	1.87	1.72
22/07/1997	16.18	1.50	1.50	1.50	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.60	1.64	1.69
23/07/1997	16.9	1.50	1.50	1.50	1.40	1.40	1.40	1.50	1.50	1.50	1.40	1.40	1.40	1.60	1.72	1.78
24/07/1997	16.65	1.50	1.50	1.50	1.40	1.40	1.40	1.50	1.50	1.50	1.40	1.40	1.40	1.50	1.96	2.1
25/07/1997	16.4	1.45	1.45	1.45	1.40	1.45	1.45	1.50	1.55	1.51	1.40	1.40	1.40	1.60	2	1.94
26/07/1997	16.2	1.40	1.50	1.46	1.40	1.45	1.45	1.50	1.52	1.51	1.40	1.40	1.40	1.50	1.82	1.84
27/07/1997	16.2	1.40	1.45	1.43	1.40	1.45	1.45	1.50	1.55	1.50	1.40	1.40	1.40	1.50	1.96	1.81
28/07/1997	16.32	1.40	1.50	1.44	1.40	1.45	1.45	1.45	1.60	1.53	1.40	1.40	1.40	1.70	2.09	1.83
29/07/1997		1.50	1.50	1.50	1.40	1.45	1.45	1.55	1.65	1.59	0.90	1.40	1.40	1.50	2.63	2.65
30/07/1997	21.09	1.50	1.50	1.50	1.50	1.40	1.45	1.60	1.60	1.60	1.40	1.40	1.40	1.50	2.7	2.45
31/07/1997	21.67	1.50	1.50	1.50	1.40	1.45	1.45	1.60	1.60	1.60	1.40	1.40	1.40	1.60	2.4	2.03
MOYENNE	17.83	1.46	1.48	1.47	1.38	1.44	1.41	1.49	1.52	1.50	1.29	1.43	1.40	1.53	1.91	1.91

SUIVI DES VOLUMES POMPES, TRANSITES ET FOURNIS

DATE	CANAL MICH		JOURNÉE SEINE		HERBY				KAMAL			SONEDE		CHDA NABEUL	
	S.P.F.	S.P.F.	JOURNÉE	SEINE	EXHAURE	R.D.	R.C.	TEFFAHIA	GRIAAI	PO	TUNIS	BELLY	BIZERTE	SOLIMAN	ST BELLY
01/08/1997	522 612	352 440		122 120	70 110	40 471	30 031	9 800	22 232	83 754	183 960	175 300	38 000	51 980	62 964
02/08/1997	506 844	317 160		122 760	61 902	36 398	28 173	11 100	17 803	171 179	183 660	203 400	32 770	58 193	58 212
03/08/1997	505 224	362 700		122 350	67 032	40 208	27 020	8 050	21 341	204 552	259 200	199 400	37 770	54 940	64 152
04/08/1997	502 632	355 500		122 920	58 824	36 135	24 458	7 050	17 387	111 254	188 640	209 000	41 340	57 630	52 272
05/08/1997	478 440	359 640		124 070	54 036	31 667	24 768	8 850	15 341	60 531	185 400	205 700	40 390	59 830	57 924
06/08/1997	484 920	373 140		124 640	57 114	31 273	28 174	8 150	14 581	125 161	183 240	205 300	42 530	57 630	53 460
07/08/1997	538 596	338 760		125 310	11 286	6 833	7 276	2 217	1 883	148 689	185 040	202 400	39 910	55 370	49 896
08/08/1997	473 580	353 160		125 120						125 161	185 760	214 000	41 540	57 065	48 708
09/08/1997	472 608	338 760		124 680						110 419	184 680	217 200	41 590	57 065	41 580
10/08/1997	446 688	357 120		127 960						166 882	259 200	218 600	43 120	57 630	51 084
11/08/1997	517 428	362 880		123 270	33 174	15 505	17 183	3 933	4 556	36 053	185 400	216 000	40 770	55 370	47 520
12/08/1997	482 636	365 220		123 800	47 880	24 966	23 994	6 900	11 103	38 960	186 840	207 700	38 850	55 935	51 084
13/08/1997	457 920	345 960		124 400	41 382	23 652	20 270	6 500	9 227	95 068	187 560	209 000	37 900	52 545	55 836
14/08/1997	543 456	342 000		122 500	21 204	13 271	7 740	2 961	7 270	131 175	184 320	200 400	37 580	57 630	52 272
15/08/1997	483 192	333 180		123 610	31 806	17 870	11 146	2 108	8 841	125 161	158 400	205 700	38 860	57 630	51 084
16/08/1997	456 840	351 180		121 620	38 304	22 732	18 112	3 151	8 122	143 545	155 520	205 000	40 360	57 630	54 240
17/08/1997	460 512	331 200		122 430	36 252	21 681	17 492	4 230	7 248	224 569	164 160	208 100	35 090	54 240	54 648
18/08/1997	430 596	350 280		123 510	27 360	17 082	13 932	4 400	7 203	112 645	155 160	200 700	42 700	53 675	43 956
19/08/1997	459 972	280 800		122 020	27 018	16 425	14 861	5 000	6 765	114 904	188 640	206 700	36 200	57 065	34 452
20/08/1997	378 756	298 620		123 200	30 438	19 316	15 016	5 400	10 137	86 213	197 640	203 800	40 020	55 370	33 264
21/08/1997	409 644	314 460		123 780	41 040	24 178	16 409	5 700	16 515	125 851	199 080	206 800	36 010	57 630	32 264
22/08/1997	455 868	331 020		124 940	31 464	22 075	12 384	3 000	15 057	110 419	197 820	188 900	39 270	55 370	39 204
23/08/1997	401 652	270 080		125 780	10 260	10 775	3 870	1 091	5 995	101 007	198 720	187 900	40 440	57 630	32 076
24/08/1997	362 124	275 760		124 000						208 498	216 000	189 500	38 270	59 190	38 016
25/08/1997	382 536	292 860		125 240						98 059	199 440	189 100	37 710	54 805	27 544
26/08/1997	399 276	261 180		124 380						83 441	189 000	189 700	42 960	48 025	33 264
27/08/1997	329 616	245 520		125 220							199 080	196 600	45 900	46 895	22 572
28/08/1997	303 804	194 040		125 680						63 528	199 080	206 400	39 700	48 025	15 444
29/08/1997	332 532	233 640		126 350	28 044	20 893	4 644	2 300	11 415	55 210	199 440	189 300	34 820	67 460	15 444
30/08/1997	293 328	192 060		127 160	16 074	11 432	1 858	1 380	6 750	62 581	191 160	187 800	37 750	52 545	50 692
31/08/1997	339 012	295 920		125 880						67 150	216 000	176 000	34 660	57 065	14 256
TOTAL	13 612 644	9 686 160	0	3 850 670	842 004	594 839	368 885	113 271	246 774	3 450 619	5 967 189	6 212 400	1 219 630	1 700 085	1 298 484

MOIS juillet 97

ETAT JOURNALIER DE LA QUALITE DE L'EAU

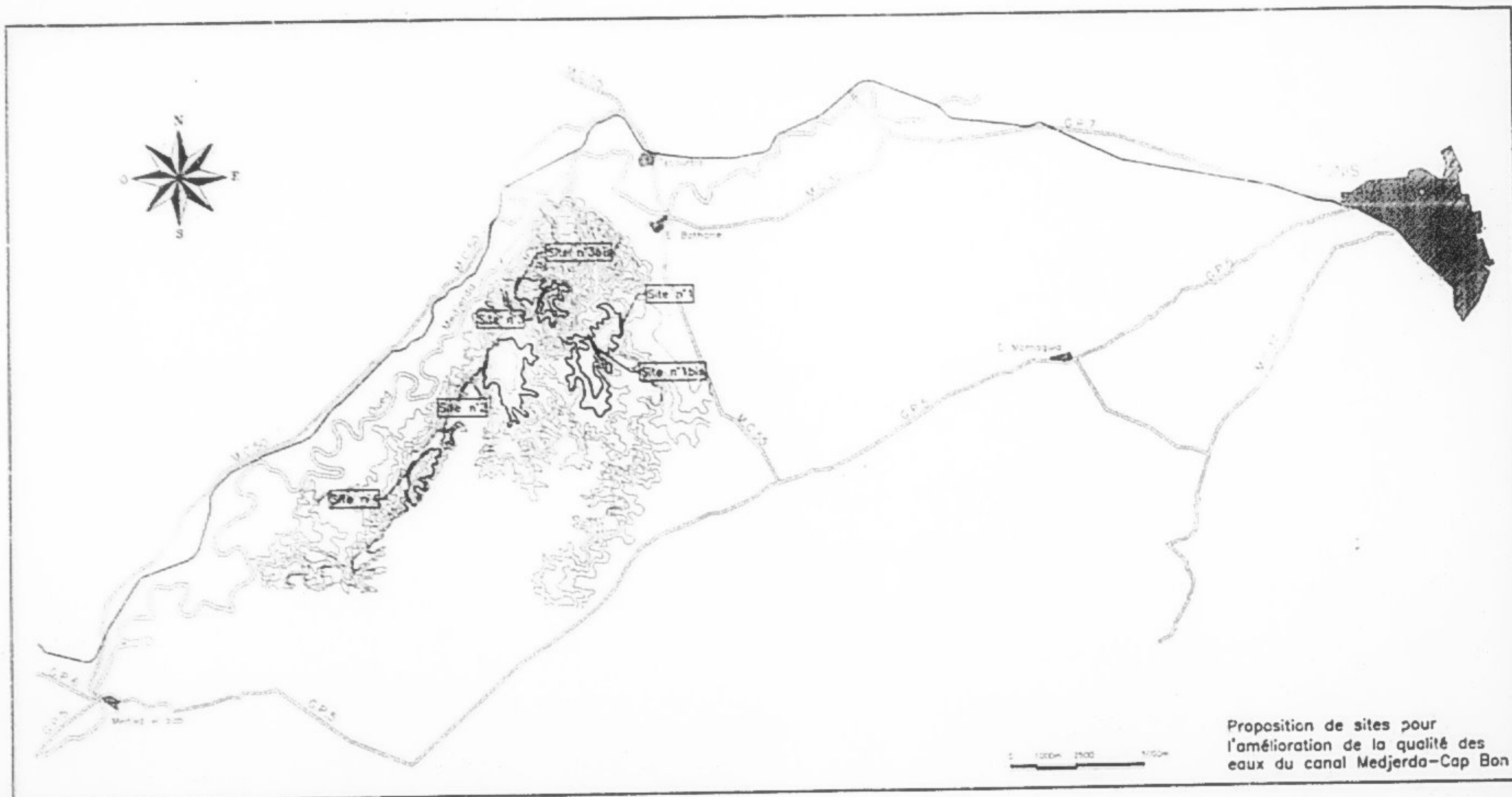
SOCIETE D'EXPLOITATION DU CANAL
ET DES ADDUCTIONS DES EAUX DU NORD

DATE	TUR	SAL. V.E.			SAL. V.R.			SAL. BEJAOUA			SAL. F. JEDID			S. HERRY 4 HES	S. KANDALOUS	
		MIN	MAX	MOY	MIN	MAX	MOY	MIN	MAX	MOY	MIN	MAX	MOY		BH	21H
01/07/1997	18.1	1.40	1.40	1.40	1.35	1.41	1.39	1.50	1.50	1.50	0.85	1.50	1.34	1.60	1.69	1.7
02/07/1997	16	1.40	1.40	1.40	1.35	1.41	1.39	1.40	1.50	1.46	1.00	1.40	1.36	1.50	1.68	1.67
03/07/1997	16.98	1.40	1.40	1.40	1.30	1.40	1.36	1.40	1.45	1.42	1.00	1.45	1.36	1.50	1.65	1.75
04/07/1997	17.97	1.40	1.45	1.41	1.35	1.40	1.39	1.40	1.50	1.49	1.40	1.40	1.40	1.50	2.4	2.1
05/07/1997	15.39	1.40	1.45	1.43	1.35	1.42	1.39	1.40	1.50	1.45	1.50	1.40	1.40	1.50	1.85	1.75
06/07/1997	16.09	1.40	1.50	1.42	1.35	1.40	1.39	1.40	1.45	1.41	0.90	1.40	1.37	1.50	1.69	1.84
07/07/1997	15.13	1.50	1.50	1.50	1.35	1.45	1.40	1.50	1.50	1.50	1.40	1.40	1.40	1.50	1.79	2.06
08/07/1997	13.94	1.50	1.50	1.50	1.35	1.45	1.39	1.50	1.50	1.50	1.40	1.40	1.40	1.70	1.69	1.91
09/07/1997	14.3	1.50	1.50	1.50	1.35	1.45	1.39	1.50	1.50	1.50	1.40	1.40	1.40	1.50	1.78	1.78
10/07/1997	14.43	1.50	1.50	1.50	1.35	1.45	1.40	1.50	1.50	1.50	0.90	1.40	1.40	1.50	1.7	1.91
11/07/1997	12.32	1.50	1.50	1.50	1.35	1.45	1.43	1.50	1.50	1.50	0.90	1.40	1.37	1.60	1.93	1.97
12/07/1997	18.11	1.50	1.50	1.50	1.40	1.45	1.43	1.50	1.50	1.50	0.90	1.40	1.33	1.50	1.84	2.04
13/07/1997	22.3	1.50	1.50	1.50	1.40	1.45	1.43	1.50	1.50	1.50	1.40	1.40	1.40	1.50	1.96	2.04
14/07/1997	19.5	1.50	1.50	1.50	1.38	1.45	1.41	1.50	1.50	1.50	1.40	1.50	1.42	1.50	1.99	2.36
15/07/1997	21.59	1.50	1.50	1.50	1.35	1.45	1.40	1.50	1.50	1.50	1.40	1.50	1.44	1.50	1.56	1.56
16/07/1997	24.45	1.50	1.50	1.50	1.35	1.40	1.39	1.50	1.50	1.50	1.40	1.50	1.45	1.50	1.71	1.71
17/07/1997	19.78	1.50	1.50	1.50	1.35	1.47	1.45	1.50	1.50	1.50	1.40	1.50	1.42	1.40	1.78	1.63
18/07/1997	21.1	1.50	1.50	1.50	1.45	1.45	1.45	1.50	1.50	1.50	1.40	1.50	1.42	1.40	1.87	1.82
19/07/1997	20.34	1.40	1.50	1.46	1.45	1.47	1.45	1.50	1.50	1.50	1.40	1.50	1.41	1.50	2.14	2.14
20/07/1997	20.15	1.40	1.45	1.43	1.40	1.50	1.45	1.50	1.50	1.50	1.40	1.50	1.42	1.50	1.82	1.49
21/07/1997	19.45	1.45	1.45	1.45	1.40	1.45	1.40	1.50	1.50	1.49	1.40	1.50	1.46	1.60	1.64	1.69
22/07/1997	16.18	1.50	1.50	1.50	1.40	1.40	1.40	1.50	1.50	1.50	1.40	1.40	1.40	1.60	1.72	1.78
23/07/1997	16.9	1.50	1.50	1.50	1.40	1.40	1.40	1.50	1.50	1.50	1.40	1.40	1.40	1.50	1.96	2.1
24/07/1997	16.65	1.50	1.50	1.50	1.40	1.40	1.40	1.50	1.50	1.50	1.40	1.40	1.40	1.60	2	1.94
25/07/1997	16.4	1.45	1.45	1.45	1.40	1.45	1.45	1.50	1.55	1.51	1.40	1.40	1.40	1.50	1.82	1.84
26/07/1997	16.2	1.40	1.50	1.46	1.40	1.45	1.45	1.50	1.52	1.51	1.40	1.40	1.40	1.50	1.96	1.81
27/07/1997	16.2	1.40	1.45	1.43	1.40	1.45	1.41	1.50	1.55	1.50	1.40	1.40	1.40	1.50	2.09	1.88
28/07/1997	16.32	1.40	1.50	1.44	1.40	1.45	1.45	1.45	1.60	1.53	1.40	1.40	1.40	1.70	2.63	2.65
29/07/1997		1.50	1.50	1.50	1.40	1.45	1.45	1.55	1.65	1.59	0.90	1.40	1.40	1.50	2.7	2.45
30/07/1997	21.09	1.50	1.50	1.50	1.40	1.40	1.45	1.60	1.60	1.60	1.40	1.40	1.40	1.60	2.4	2.03
31/07/1997	21.67	1.50	1.50	1.50	1.40	1.45	1.45	1.60	1.60	1.60	1.40	1.40	1.40	1.53	1.91	1.91
MOYENNE	17.83	1.46	1.48	1.47	1.38	1.44	1.41	1.49	1.52	1.50	1.29	1.43	1.40	1.53	1.91	1.91

ETAT JOURNALIER DE LA QUALITE DE L'EAU

MOIS: août 97

DATE	TIME	SAL. A			SAL. B			SAL. C			SAL. D			SAL. E			SAL. F			SAL. G			SAL. H			S. HARRY			S. KANDALOUS																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
		MIN	MAX	MOY	MIN	MAX	MOY	MIN	MAX	MOY	MIN	MAX	MOY	MIN	MAX	MOY	MIN	MAX	MOY	MIN	MAX	MOY	MIN	MAX	MOY	MIN	MAX	MOY	MIN	MAX	MOY																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
01/08/1997	22.82	1.50	1.50	1.50	1.45	1.45	1.45	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.30	1.45	1.40	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60



VI - DESCRIPTION DES OUVRAGES

CHAPITRE VI - LES OUVRAGES

VI - 1 - Variante I . Barrage en remblai dur déversant

VI - 1 - 1 - Caractéristiques de l'aménagement

Nous pouvons résumer comme suit les principaux résultats des études précédentes :

- L'apport moyen inter-annuel de l'oued CHAFROU est de 7 Mm³
- La cote de retenue normale qui correspond au stockage de cet apport a été fixée à 49NGT. Elle découle des considérations suivantes :
 - la crue millénaire présente un débit de 1667 m³/s. Son amortissement dans la retenue et son évacuation pour un barrage déversant sur toute sa longueur s'effectue sous une cote des plus hautes eaux de 51 NGT, correspondant à un débit maximal sortant de 1364 m³/s.
 - les constructions existantes dans la cuvette échappent aux inondations par temps de crue
 - la route MC37 risque d'être noyée de quelques dizaines de centimètres lors d'une crue millénaire sur un tronçon qui peut être surélevé.
- Les investigations préliminaires et les essais de laboratoire effectués font apparaître, au niveau du site, des formations sédimentaires caractérisées par un dépôt alluvionnaire, en couverture, surplombant un horizon argilo-marneux assez compact et étanche. Les caractéristiques mécaniques correspondantes s'approprient à la réalisation d'une digue ou d'un barrage en remblai dur.

Les zones d'emprunt et les carrières existent dans la région pour la confection des ouvrages à réaliser.

VI - 1 - 2 - Le barrage symétrique en remblai dur

Nous rappelons que le remblai dur symétrique à masque amont désigné par *RDSM* est une évolution du barrage en BCR. Il a été introduit il y a une dizaine d'années et se présente sous forme d'un profil intermédiaire entre le barrage poids et le barrage en terre, utilisant un matériau intermédiaire entre le béton et la terre. L'étanchéité est assurée par un masque d'étanchéité amont. Le remblai dur n'est autre qu'un BCR dans lequel on a relâché les spécifications sur le matériau et sur la mise en œuvre, de façon à définir un matériau rustique et économique adapter à la forme symétrique et à la hauteur limitée du barrage. Il s'adapte parfaitement aux bas niveaux des contraintes présents dans le barrage symétrique. Aucune résistance à la traction n'est requise, même dans l'hypothèse d'un fort séisme. Les contraintes de cisaillement sont faibles et non critiques. La résistance à la compression simple est la seule spécification imposée au remblai dur. Aucun traitement de surface n'est nécessaire même dans le cas de levées *froides*.

Ce type d'ouvrage est bien adapté au site de CHAFROU - il permet de projeter un ouvrage « en béton », avec les avantages associés pour l'évacuation des crues, sur une fondation meuble.

L'agregat peut être une alluvion tout-venant ou un rocher de qualité médiocre avec le minimum de criblage car de larges bandes granulométriques sont tolérées.

La ségrégation, qui peut se produire en certaines zones du remblai, n'affecte pas la qualité du massif compte tenu des faibles valeurs de résistance globale exigées. Un faible dosage en ciment est la caractéristique essentielle du remblai dur. Diverses études (ACI 1988), (Bacara, 1991) ont établi qu'il est possible d'obtenir 5 MPa de résistance avec un dosage en ciment d'environ 60 à 80 kg/m³. Un faible dosage ne produit qu'un faible dégagement de chaleur d'hydratation rendant sans objet la présence de joint de contraction.

Le masque amont est un constituant essentiel du RDSM. Le principe est identique à celui mis en œuvre dans les barrages en enrochements à masque amont. Il est posé après achèvement du remblai dur ; c'est à dire après la fissuration éventuelle du massif.

VI - 1 - 3 - Spécificité de la variante barrage déversant symétrique proposée

Cette variante est basée sur la réalisation d'un seuil déversant sur la plus grande partie de sa longueur.

L'axe du barrage est implanté perpendiculairement au tronçon de l'oued à l'aval de façon à faciliter l'écoulement vers l'aval. Le seuil est calé à la cote de retenue normale 49 NGT. Sa longueur déversante est de 220 m.

Les PHE pour un débit sortant de 1364 m³/s s'établissent à la cote 51 NGT. La lame d'eau est égale à 2m. Le débit spécifique est égal à 6,2 m³/s/ml.

Caractéristiques du barrage

- profil symétrique en BCR rustique (remblai dur - 75 kg/m³ de ciment)
- fruit amont et aval : 1H/1V
- largeur en crête 3 m
- fouilles de 3 m sous le terrain naturel pour la partie ancrage à l'amont et décapage général de 1m sous le reste de l'emprise du barrage
- l'ancrage amont constitue une parafouille amont d'étanchéité, remblayé en béton.
- masque amont en béton armé ferrailé (e = 0,30 m) - sous masque en béton poreux avec drainage par des demi-buses (e = 0,30 m)
- talus aval à marches préfabriquées ou coulées en place.

Le fruit correspond à un coefficient de sécurité au glissement de 1,5 en retenant un angle de frottement de 22° sur la fondation ($\tan \phi = 0,4$). Les contraintes normales sous l'ouvrage sont des compression très modérées.

Bassin de dissipation

La conception générale est la suivante :

- en partie centrale (90 m) où le barrage a sa plus grande hauteur (11 m environ sur terrain naturel), le bassin est dimensionné comme un bassin à ressaut classique. Son fond est calé à la

- cote 36,50 NGT, soit environ 2 m sous le terrain naturel. Sa longueur est 25 m. Le bassin est revêtu par 1,50 m de BCR, dosé à 150 kg de ciment par m³.
- sur la rive gauche (95 m) et sur la rive droite (35 m): le bassin de réception est conçu comme un canal latéral alimenté par le seuil. Sa largeur est variable de 5 m à son extrémité rive gauche à 25 m. Il est calé 3 m sous le terrain naturel. Sa pente est égale à celle du terrain naturel ; il est revêtu d'une épaisseur de 1,50 m de BCR.

L'écoulement dans les deux chenaux latéraux sur les deux rives est torrentiel. Le fond du chenal comporte des marches comme le parement du barrage, dans le but de dissiper l'énergie de l'écoulement.

Le dimensionnement final du déversoir devra être fait sur modèle physique.

Sur les deux rives, la protection en BCR remonte jusqu'au niveau du terrain naturel. Elle délimite un chenal allant vers le lit mineur, constitué par le parement aval du barrage et le talus de fouille remontant vers le terrain naturel.

Le BCR pour la réalisation du tapis aval est dosé à 150 kg/m³ alors que le remblai dur est dosé à 75 kg/m³.

En vallée le tapis de réception a 25 m de longueur et se prolonge également jusqu'à la remontée vers le terrain naturel. Au-delà, on prévoit une protection complémentaire en gros enrochements sur 25 m de longueur.

VI - 1 - 4 - Matériaux pour le remblai dur et le BCR

L'arête rocheuse parallèle à la rive droite de l'oued à l'amont de l'axe et jusqu'au village du Mergueb, constituée par des bancs intercalés de calcaires, calcaires marneux et marnes, peut constituer un gîte pour le prélèvement de matériaux graveleux "Tout venant" pour des "Remblais Durs" ou éventuellement pour des enrochements après sélection des éléments les plus durs.

Au Nord-Est de la route et à environ 1 km du village d'El Mergueb, un gisement a été largement exploité par les routiers comme tout venant riche en blocs, galets calcaires et éléments marno-calcaires en plaquettes avec parfois une consistance tuffeuse pour la confection de la route.

A signaler aussi la présence d'une ancienne carrière, à l'arrêt depuis longtemps, ouverte dans les calcaires lités et calcaires marneux du crétacé au pied des collines d'El Hmaim vers la rive droite.

Quelques prélèvements et essais seront nécessaires pour juger de l'utilisation de ces matériaux comme enrochement ou agrégat pour béton après concassage.

VI - 1 - 5 - Les ouvrages hydrauliques annexes

Un barrage déversant en remblai dur permet de minimiser les ouvrages de dérivation provisoire. En effet, les conséquences d'une submersion du chantier sont mineures car le barrage peut déverser sans risque en cours de construction et d'autre part, la construction de la digue est possible hors période de hautes eaux hivernales du fait de la rapidité de construction d'un ouvrage en BCR ou en remblai dur.

Les ouvrages de prise seront, dans ce cas, combinés avec ceux de la vidange de fond qui permettent de vider la retenue. Le soutirage contrôlé aura pour but :

- de prélever le débit nécessaire à l'irrigation en fonction de la demande éventuelle à l'aval
- d'assurer si besoin est, une alimentation complémentaire des nappes phréatiques
- d'effectuer des chasses pour évacuer les sédiments et dépôts de fond au voisinage de l'ouvrage de prise
- de permettre en cas d'incident une vidange rapide de la retenue.

VI - 1 - 5 - 1 - La galerie

Elle sera implantée en rive gauche sur la terrasse parallèle au lit mineur de l'oued. La fondation correspondante sera descendue en dessous des remblais, dans la formation d'argile de couverture. Cet ouvrage sera composé d'une conduite frettée béton ou à âme en tôle d'un diamètre intérieur de 800 mm posé sur un lit de béton ou enrobé soigneusement dans la masse de fondation du remblai dur. La section courante est de 0,5 m².

Compte tenu des faibles débits destinés à l'utilisation aval de la retenue, ce sont les conditions de vidange qui gouvernent son dimensionnement. Qu'il s'agisse de chasses ou d'une vidange en cas d'incident, on doit admettre que l'opération sera ou risque d'être menée à pleine ouverture de la vanne de contrôle.

Il n'est pas nécessaire, en cas d'incident, de vider la totalité de la retenue, une vidange de trop grande amplitude étant d'ailleurs déconseillée. Il suffit de soulager rapidement l'ouvrage : une baisse de 50 % du niveau réduit de plus de 75 % les charges. La courbe hauteur-volume montre une forte concentration de la retenue entre les cotes 45 et 49 NGT.

L'évacuation est relativement lente. Il faut pratiquement 300 heures pour vidanger 5 Mm³ concentrés sur les trois mètres supérieurs de la retenue normale.

La conduite envisagée est prévue pour fonctionner sous pression. Cependant, une appréciation des risques d'obstruction par des dépôts solides de la vidange de fond qui restent à craindre, doit faire l'objet d'une étude plus fine dans le cadre de l'APD. Si ces risques existent, il serait opportun d'avoir recours à une conduite d'un diamètre de 1000 mm minimum qui fonctionnera à surface libre. Dans ce cas, la conduite doit être bien aérée pour éviter la création de phénomène de pulsation.

VI - 1 - 5 - 2 - Prise d'eau

Il a été convenu de normaliser la conception de la tour pour les petits barrages ; ce qui correspond à la grande majorité des cas. La retenue devant être exploitée sur base annuelle, nous nous inspirons de cette normalisation, par souci d'économie, pour définir les caractéristiques de

la prise. Le principe de base est d'envisager un ouvrage noyé dont la cote supérieure serait calée à 44,80 NGT et surmonté d'un système de grille. Une vidange de fond grillagée à l'amont, dans l'alignement de la conduite doit être actionnée souvent pour dégager les dépôts solides du voisinage. Dans cette solution un ouvrage aval abritera une vanne du type papillon à l'extrémité de la conduite et un piquage en Tc de branchement de ϕ 300 mm avec une vanne de garde en tête pour l'irrigation. Cet ouvrage est dimensionné pour faciliter la manipulation des vannes avec des ouvertures à panneaux amovibles aménagés au plafond et permettant la manipulation des vannes pour fins d'entretien et de remplacement. La chambre comportera trois fenêtres d'éclairage et de ventilation ainsi qu'un puisard pour collecter les eaux.

Dans le cas d'une conduite à écoulement libre, la vanne se situe à l'amont. La sécurité impose l'installation d'une tour de prise qui permet d'effectuer les commandes de la vanne. Il s'agit, alors, d'un ouvrage coûteux qui impose, en plus, la réalisation d'une passerelle d'accès dont la justification n'est pas démontrée.

VI - 2 - Variante II - Digue en terre

VI - 2 - 1 - Caractéristiques générales

L'axe du barrage pour cette variante est implanté au niveau du verrou le plus étroit. Nous rappelons que les pentes correspondantes sont relativement douces et notamment en rive gauche. Le sol de fondation est composé, comme nous l'avons évoqué précédemment, d'une couverture alluvionnaire surplombant un horizon argilo-marneux. Un décapage général de 0,50m à 1,00 m environ permettra de s'affranchir de la couche de surface. Au-delà nous prévoyons une clé d'ancrage descendue également à 1,00 m dans le premier horizon argileux.

Pour permettre une comparaison objective entre la variante digue en terre et un barrage en remblai dur, nous maintiendrons les mêmes caractéristiques d'aménagement et en particulier une cote de retenue normale à 49 NGT qui correspond pratiquement à une capacité voisine du module annuel moyen.

VI - 2 - 2 - Ouvrages hydrauliques

Nous devons considérer, pour le dimensionnement, dans le cas de la variante digue en terre, la crue décennale. Celle-ci présente, par application de la formule LEVRAT, un débit entrant maximal de 2312 m³/s.

Une étude de laminage de cette crue en utilisant le logiciel RESERVOIR₈₄, a donné un débit sortant maximal de 1599 m³/s et une cote des plus hautes eaux de 52,30 NGT. Nous devons attirer l'attention sur le fait que nous ne disposons pas de relevé topographique au-delà de la cote 50 NGT. Le logiciel a procédé à une extrapolation. Une vérification de l'amortissement de la crue devra se faire, dans le cadre de l'APD, sur la base d'un levé topographique précis. Nous pensons que la cote 52,30 constitue une enveloppe supérieure qui ne sera pas atteinte.

L'étude du laminage précitée a pris en compte une longueur déversante de l'évacuateur de crues de 135 m ; ce qui représente une exception dans le cas d'espèce et conduit à un évacuateur de surface disproportionné par rapport à la digue et très coûteux.

Nous rappelons, par ailleurs, qu'une cote des Plus Hautes Eaux à 52,30 provoque des inondations importantes au niveau des infrastructures et des constructions existantes dans la cuvette, qu'il convient soit de protéger soit de déplacer. Leur importance nous semble, a priori, compromettre cette variante. Néanmoins, sans prétendre procéder à une étude d'APS exhaustive de cette solution, nous donnons, cependant, les grandes lignes du projet correspondant à titre de comparaison avec la variante barrage déversant.

Pour limiter la cote de PHE, nous nous proposons de retenir la conception suivante :

- un évacuateur principal pour évacuer les crues courantes, du type en puits et tulipe,
- et un évacuateur de secours latéral, pour les crues exceptionnelles.

L'évacuateur en puits et tulipe combiné avec la prise d'eau permettra de s'affranchir des crues fréquentes jusqu'à la crue quinquennale. Pour les crues exceptionnelles nous maintenons l'évacuateur de surface latéral d'une longueur déversante de 135 m tel qu'il est envisagé dans la solution de base.

Dans ce cas, l'étude du laminage de la crue décennale conduit aux résultats suivants (les courbes de laminage obtenues sont présentées en annexe) :

- débit entrant	: 2313 m ³ /s
- débit sortant	: 1581 m ³ /s
- cote maximale	: 51,67 NGT

Cette variante présente ainsi l'avantage de limiter les risques d'inondation des routes et des habitations situées dans la cuvette.

Cote de la crête de la digue:

Dans ce cas l'étude d'amortissement de la crue maximale définie précédemment conduit à une épaisseur de lame écoulée sur l'évacuateur de crue de 2,70 m environ et par voie de conséquence à une cote des Plus Hautes Eaux à 51,70 NGT.

Par ailleurs, la hauteur de la digue doit tenir compte, au-delà de la cote des plus hautes eaux, de la revanche hydraulique. Cette revanche de protection contre le batillage des vagues permet d'éviter la submersion de la digue. Elle constituera, par ailleurs, une tranche supplémentaire d'amortissement des crues exceptionnelles.

La hauteur H des vagues peut être calculée par la formule empirique de STEVENSON :

$$H = 0,76 + 0,3 \sqrt{L} - 0,26 \sqrt[4]{L}$$

où :

L = longueur de la retenue en km = 6 km environ

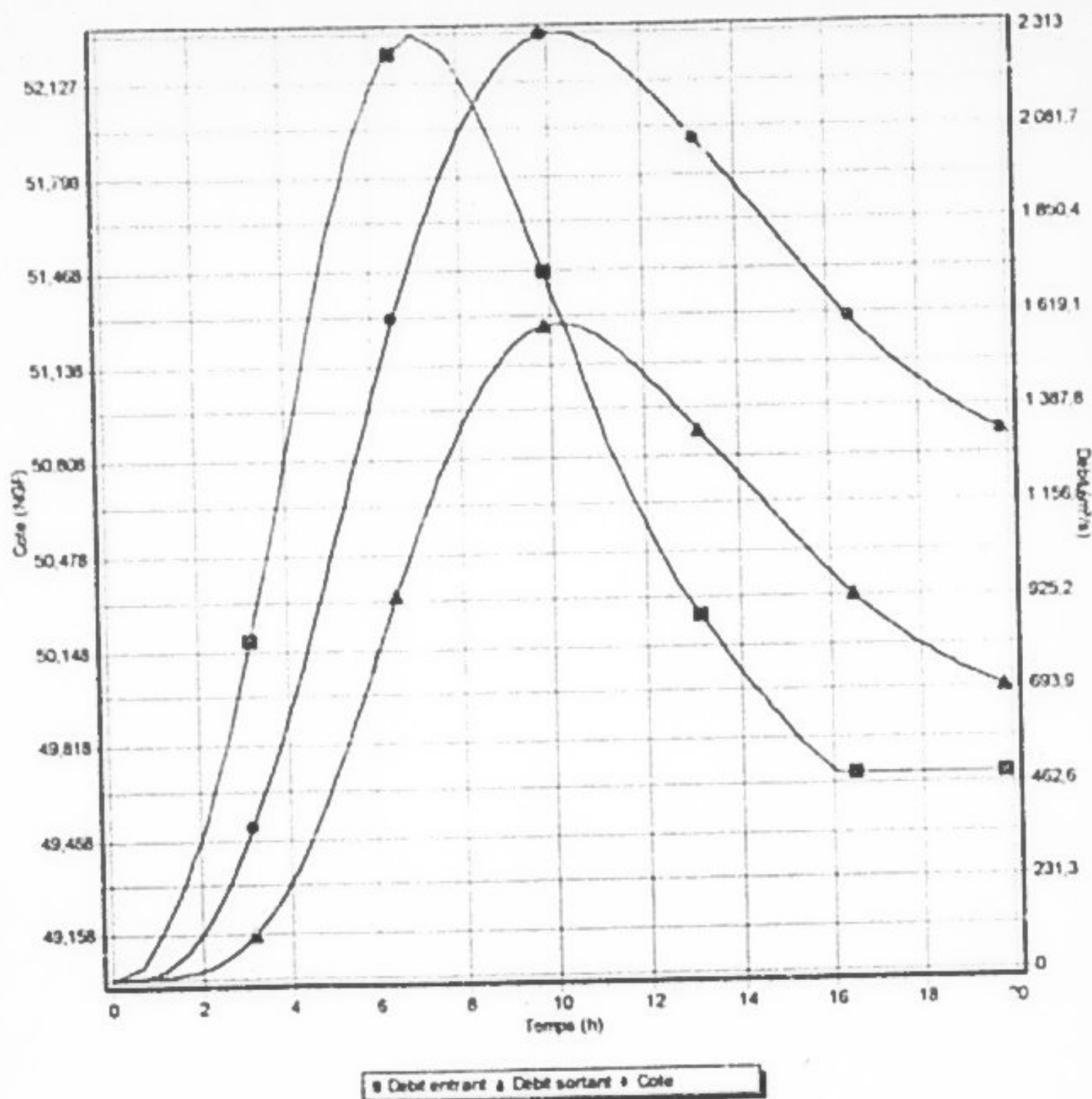
H = hauteur des vagues en m

L'application de cette formule à notre cas conduit à : $H = 1,09$ m

Pour les hauteurs de vagues comprises entre 0,5 et 1,00 m la vitesse de propagation des vagues en m/s est donnée par la formule :

Oued Chafrou

Laminage crue décennelle

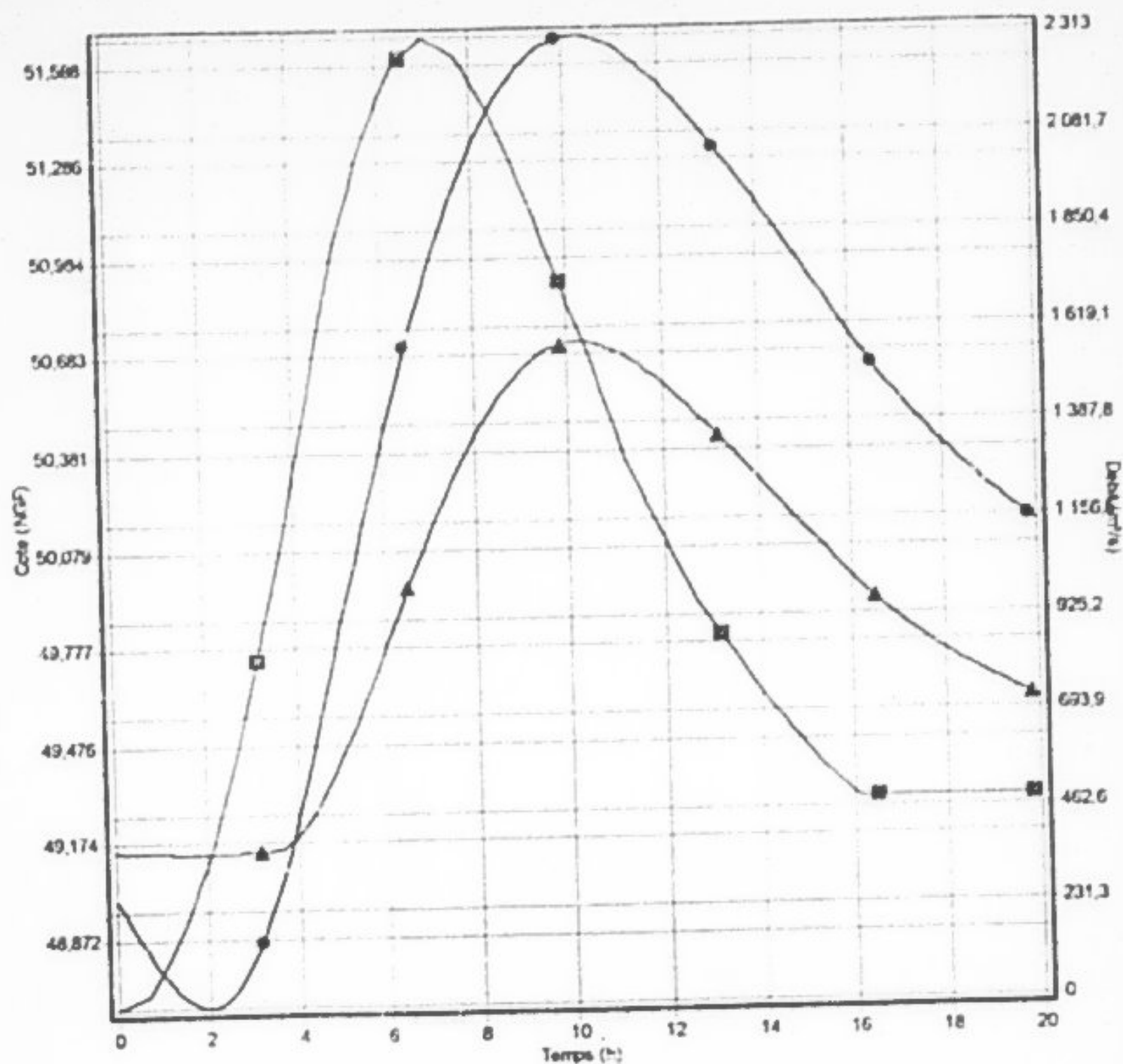


Débit entrant maximal : 2313 m³/s
 Débit sortant maximal : 1599.3 m³/s
 Cote maximale : 52.3 NGF



Oued Chafrou

Laminage crue décennelle



■ Débit entrant • Débit sortant • Cote

Débit entrant maximal : 2313 m³/s
 Débit sortant maximal : 1581.7 m³/s
 Cote maximale : 51.67 NGF



$$V = 1,5 + 0,67 \cdot H = 2,23 \text{ m/s}$$

La hauteur H_2 de la revanche sera alors :

$$H_2 = H + (V^2 / 2g) = 1,34 \text{ m}$$

En résumé, la hauteur hors sol de la digue est la somme de trois termes :

- la hauteur de la digue correspondant à la cote de retenue normale
- la hauteur d'eau maximale sur le seuil du déversoir
- la revanche qui, dans la pratique, n'est jamais inférieure à 1 m

Il en résulte que la crête de la digue doit se situer à la cote 53,00 NGT qui correspond pratiquement au sommet du dôme de la rive droite.

Par ailleurs et conformément aux recommandations du PNUD/OPE, la largeur en crête de la digue ne doit pas être inférieure à 3 m pour les digues de hauteur inférieure à 10 m. La valeur de 3 m a été établie après avoir considéré différents facteurs tels que les caractéristiques du site et de l'ouvrage, les matériaux, les contraintes de mise en œuvre ainsi que les exigences minimales pour la circulation et l'entretien. Dans notre cas et pour des hauteurs de digues supérieures à 10 m le PNUD recommande de prendre pour largeur de crête le tiers de la hauteur ; à savoir 6 m.

On pourrait retenir une largeur en crête de 5 m.

VI - 2 - 3 - Pentes des talus de la digue

Nous avons développé dans le chapitre relatif à la géologie et la géotechnique les caractéristiques des matériaux à utiliser dans la variante digue. Nous rappelons, à ce titre, qu'au plan mécanique, les matériaux disponibles sur le site possèdent des propriétés de la classe CL2. Il en découle une conception zonée pour la digue (voir plans de la variante).

La pente des talus découle, par conséquent, des propriétés mécaniques des matériaux composant le remblai et la fondation de l'ouvrage.

Un talus est stable lorsque les forces qui tendent à produire un mouvement sont inférieures aux forces passives qui sont essentiellement des forces de résistance au cisaillement. On définit un coefficient de sécurité F qui est le rapport de ces forces. Ce coefficient de sécurité F de la digue dont on a défini les caractéristiques dépend de la forme de la masse des terres autrement dit des pentes des talus. Aussi, pour déterminer la pente du talus, on se fixe des pentes qui paraissent optimales et on vérifie que la digue présente une sécurité suffisante. En général, les pentes adoptées doivent être telles que le coefficient de sécurité F est supérieur ou égal à 1,4. Nous avons procédé à cette vérification par application du logiciel GEO-SLOPE.

Nous rappelons que la stabilité d'un remblai est déterminée par sa capacité à résister, le long des surfaces de glissement potentielles, aux effets de cisaillement dérivant de l'application des surcharges (poussée de l'eau et forces sismiques) et des charges permanentes dépendant du poids mort du remblai et des pentes des talus.

Notre recherche s'est appliquée également aux fondations puisque celles-ci sont constituées par des matériaux meubles et de caractéristiques pratiquement équivalentes aux zones d'emprunt.

Le calcul est effectué, pour le talus amont, en conditions de vidange rapide et, pour le talus aval, en conditions de saturation avec l'eau au niveau des plus hautes eaux.

Le séisme est pris en considération car les phénomènes correspondants peuvent provoquer des dégâts de différentes natures : suppression de la revanche, tassement du couronnement, rupture du parement, débordement au-dessus du déversoir.

Indépendamment des calculs, des améliorations de la stabilité de l'ouvrage peuvent être adoptées, au cas où la variante correspondante est retenue, par une série de mesures découlant de l'expérience.

En dernier ressort, le choix final des pentes s'est effectué sur la base de l'expérience et validé à l'aide des analyses de stabilité précitées. La pente du talus amont est de 3,5 H/1V et celle du talus aval 3 H/1V.

VI - 2 - 4 - Enrochement de protection des talus amont et aval

Le talus amont doit être protégé contre l'action érosive des vagues générées par les vents soufflant sur la retenue sur toute la zone de marnage. Un perré homogène d'enrochements sélectionnés a été retenu pour protéger la totalité de la face amont du barrage, compte tenu du mode d'exploitation de la retenue.

La détermination de la masse et du diamètre de l'enrochement de protection a été menée d'après la méthode de Taylor.

Les résultats sont les suivants :

	Masse (kg)	Diamètre (mm)
Minimale	= 2	100
Moyenne	= 8	160
Maximale	= 32	255

L'épaisseur de la couche d'enrochement sera de 0,5 m.

Le tapis d'enrochements est posé sur une couche de transition de 0,30 m d'épaisseur.

Pierre concassée

Pour faciliter l'entretien du barrage une couche de tout-venant granulaire compacté de 0,2 m d'épaisseur recouvre la crête.

Tout-venant granulaire

Pour protéger le talus aval contre l'action érosive des eaux pluviales une couche de tout-venant granulaire d'épaisseur 0,3 m sera placée sur le talus aval.

VI - 2 - 5 - Contrôle des infiltrations

La zone de la fondation et celle de la cuvette sont constituées par des argiles consolidées et un substratum marneux. Ces formations sont pratiquement imperméables. Ces argiles sont recouvertes par des alluvions. Afin de diminuer les gradients d'infiltrations à travers les fondations du barrage une tranchée parafouille étanche sera exécutée, comme annoncé précédemment.

L'estimation des débits d'infiltration à travers le barrage et dans sa fondation permettra de déterminer les dimensions du tapis drainant. Dans notre cas, la perméabilité du remblai a été estimée à 10^{-6} cm/s. Le débit d'infiltration à travers le barrage est négligeable.

A ce stade des études, une épaisseur du drain horizontal de 1m a été adoptée.

VI - 2 - 6 - Ouvrage d'évacuation de crue : déversoir d'exception

L'évacuateur de la variante digue en terre est dimensionné pour la crue de période de retour 10.000 ans : $Q = 2300 \text{ m}^3/\text{s}$

La solution proposée est un déversoir latéral logé dans la dépression rive droite d'une longueur de seuil déversant de 135 m calée à la cote 49 NGT de forme voisine d'un bec de canard. Une auge convergente d'une soixantaine de mètres de long environ, longeant latéralement le déversoir, collecte les eaux. Cette auge est prolongée par un canal à ciel ouvert qui débouche sur un bassin de dissipation à définir en fonction d'un complément de levé topographique de l'aval intégrant sur une distance confortable la restitution à l'oued. L'écoulement est contrôlé par un seuil normal situé entre l'auge et le coursier. Ce seuil de contrôle se situe à la cote 47 NGT.

Après le franchissement du seuil, un calcul de courbe de remous devra être effectué dans le cas où la solution digue retient l'attention (peu probable) moyennant les compléments de levé topographique précités.

La conception classique serait un ouvrage en béton, dont le coût serait considérable. Nous proposons un revêtement en gabions bitumés, comme envisagé au barrage sur l'oued El H'Ma, en cours de construction.

VI - 2 - 7 - Dérivation provisoire, ouvrage unifié

La crue de chantier déterminée par la formule de LEVRAT est de $312 \text{ m}^3/\text{s}$ qu'il faut évacuer par la dérivation provisoire pour éviter toute submersion en cours de chantier. La section utile de la galerie, dans ce cas, serait de 32 m^2 environ. Cette galerie est composée d'un ouvrage à trois compartiments de 3 m de hauteur libre et de 3,50 m de largeur libre.

Après avoir servi de dérivation provisoire pendant les travaux, la conduite sous remblai et les ouvrages amont (une tour avec un déversoir en corolle de diamètre 5,00m) et aval (bassin d'amortissement) qui la complètent, forment l'organe principal du contrôle des eaux.

La tour, fondée au pied amont des remblais, au niveau de l'axe du batardeau, est un ouvrage complexe comportant une prise d'eau et un seuil libre.

L'ensemble permet :

- le déversement libre de la tranche de retenue située au dessus de la RN (49 NGT),
- la vidange complète de la retenue,
- des prises d'eau d'irrigation à deux niveaux différents.

La protection de la digue contre les crues catastrophiques ne pouvant être assurée par ce seul ouvrage, un ouvrage d'évacuation (déversoir latéral en rive droite) entre en fonctionnement en cas de crue exceptionnelle.

VII - METRES - COÛTS DES VARIANTES - PLANNING

VII- Mètres, prix des ouvrages et planning

VII.1 Mètres

Les mètres présentes ci-après sont établis sur la base de

- la topographie au 1/1 000 du site
- les hypothèses relatives aux conditions de fondation (épaisseur du recouvrement alluvionnaire, profondeur de fouilles, traitement de fondations), qui sont représentées sur les plans d'APS
- la géométrie des ouvrages telle que définie par les plans d'APS

VII.1.1 Variante Remblai Dur

Designation	Unité	Quantité
* Remblai :		
Fouilles	m ³	6 600
Corps du barrage	m ³	17 600
Béton poreux parement amont	m ³	960
Masque amont	m ³	960
Seuil	m ³	440
Parafouille amont	m ³	2 340
Section non-déversante	m ³	480
Parement aval éléments préfabriqués	m ³	300
* Bassin de dissipation :		
Fouilles	m ³	16 900
BCR	m ³	8 940
Enrochements	m ³	3 000
* Ouvrages de DP / Prise d'eau :		
Fouilles	m ³	930
Béton	m ³	570
BCR	m ³	105
Enrochements	m ³	50
* Equipements Hydromécaniques :	ens	1
* Conduite :	m	74

VII.1.2 Variante Digue en Terre :

Désignation	Unité	Quantité
* Digue		
Fouilles	m ³	10 000
Remblai :		
- Argile (recharge amont)	m ³	90 000
- Remblai (recharge aval)	m ³	50 000
- Filtre	m ³	9 000
- Transition	m ³	3 000
- Enrochements	m ³	5 500
- Tout-venant	m ³	2 550
* Ouvrage unifié		
Fouilles	m ³	3 500
Béton	m ³	14 500
Equipements	ens	1
* Evacuateur		
Fouilles	m ³	74 000
Béton	m ³	1 900
Gabions	m ³	7 500
Enrochements	m ³	6 000

VII.2 COUT DE L'AMENAGEMENT

VII.2.1 Prix d'ordre

VII.2.1.1 Barrage

Les prix unitaires choisis pour le calcul du coût de l'aménagement proviennent des bordereaux des prix des Entreprises retenues pour la construction des barrages relativement récents et ceux utilisés par l'Administration pour les estimations des barrages collinaires.

Ces prix qui nous ont été fournis par l'Administration aux fins de l'estimation du coût du barrage sur l'oued Chafrou, sont les suivants :

Désignation	U	R'Mel	El H'ma	Barrages Collinaires	Prix Unitaires
EXCAVATIONS					
Terrain meuble	m ³	2,350	2,380		2,500
Terrain ripable	m ³	3,400	3,757		4,000
Rocher					
Etroite	m ³				
Large	m ³	5,400			6,000
Prédécoupage	m ²	18,900			18,000
Béton projeté	m ²				
REMBLAIS					

Noyau	m ³	0,600	3,126	4 000	4,000
Enrochements	m ³		10,300	12 000	10,000
FILTRES, DRAINS, TRANSITIONS				25 000	
Filtre	m ³	11,830	12,208		13,000
Drain	m ³	20,183	15,320		20,000
Transition	m ³	12,700	15,849		14,000
Riprap	m ³	12,200	11,291		14,000
Géotextile	m ²	7,250			17,000
INJECTIONS, DRAINAGE					
Contact consolidation	m ²				
Voile profond	m ²				
Drainage	m ²				
BETON					
Béton 2751 g/m ³	m ³	82,550	96,360	100 000	100,000
Coffrage	m ²	21,620	16,573		20,000
Armatures	kg	1,100	1,260		1,500
Maçonnerie	m ³	75,100		85 000	75,000
Fournitures métalliques	kg	3,250			3,500

Le prix de béton pour BCR est déterminé à partir de données françaises (comparaison du prix du béton classique et du béton pour BCR), et des propositions des entreprises à l'Appel d'Offres lancé par l'ONAS pour la réalisation d'un seuil en BCR (Oued Mellaha à Bizerte). Le prix du remblai dur est également déterminé à partir de données françaises interprétées et ramenées aux conditions locales. Il est fixé à 80 DT/m³.

Pour le calcul du coût des ouvrages en béton, trois prix de béton sont adoptés :

- béton poreux : compte tenu du dosage en ciment plus faible, le prix est fixé à 100 DT/m³.
- béton armé : ce prix inclus les armatures (75 kg/m³) et les coffrages. Il est fixé à 280 DT/m³.
- béton non armé : ce prix comprend uniquement les coffrages. Il est fixé à 150 DT/m³.

VII.2.1.2 Ouvrages hydrauliques

Le prix des vannes de fond est déterminé à partir du calcul du poids de ces vannes (article "Estimating Gate Weights", P.C. Erbiste, Water Power & Dam Construction, Mai 1984).

Le prix d'ordre de ces vannes est fixé à 8 DT/kg.

VII.2.2 Coût de l'aménagement

Le coût de l'aménagement est exprimé en dinars tunisiens, aux prix actuels.

Des pourcentages forfaitaires sont exprimés avant le calcul du coût total des ouvrages. Ces pourcentages prennent en compte :

- le coût du dispositif d'auscultation du barrage (1%),
- un aléa correspondant aux éléments d'ouvrages non comptabilisés par les mètres (5%)
- un aléa correspondant aux incertitudes sur le projet, pris égal à 10% du total Génie-Civil (injections, drainage...) Un autre terme est pris en compte pour l'ensemble des commandes des vannes (contrôle des commandes, vérins, circuit hydraulique, centrales hydrauliques), forfaitairement pris égal à 10% des vannes.

Ces deux points sont rassemblés dans la ligne aléa : 10% du prix génie-civil + vannes.

Variante Remblai dur				
Désignation	Unité	Quantité	P.U. DT	Prix Total DT
* Remblai :				
Fouilles	m ³	6 600	2,500	16 500,000
Corps du barrage	m ³	17 600	80,000	1 408 000,000
Béton poreux parement amont	m ³	960	100,000	96 000,000
Masque amont	m ³	960	280,000	268 800,000
Seuil	m ³	440	280,000	123 200,000
Parafouille amont	m ³	2 340	150,000	351 000,000
Section non-déversante	m ³	480	150,000	72 000,000
Parement aval éléments préfabriqués	m ³	300	280,000	84 000,000
* Bassin de dissipation :				
Fouilles	m ³	16 900	2,500	42 250,000
BCR	m ³	8 940	80,000	715 200,000
Enrochements	m ³	3 000	12,000	36 000,000
* Ouvrages de DP / Prise d'eau :				
Fouilles	m ³	930	2,500	2 325,000
Béton	m ³	570	280,000	159 600,000
BCR	m ³	105	80,000	8 400,000
Enrochements	m ³	50	12,000	600,000
* Equipements Hydromécaniques :	ens.	1	5 000,000	5 000,000
* Conduite :	m	74	300,000	22 200,000
Auscultation (1% GC)				33 838,750
Non mètres (5% GC)				169 193,750
Aléas (10% GC + vannes)				338 887,500
TOTAL VARIANTE REMBLAI DUR				3 952 995,000
			Soit 4 000 000 DT	

Variante Digue en terre				
Désignation	Unité	Quantité	P.U. DT	Prix Total DT
* Digue				
Fouilles	m ³	10 000	2,500	25 000,000
Remblai :				
- Argile (recharge amont)	m ³	90 000	4,000	360 000,000
- Remblai (recharge aval)	m ³	50 000	4,000	200 000,000
- Filtre	m ³	9 000	13,000	117 000,000
- Transition	m ³	3 000	14,000	42 000,000
- Enrochements	m ³	5 500	10,000	55 000,000
- Tout-venant	m ³	2 550	14,000	35 000,000
* Ouvrage unifié				
Fouilles	m ³	3 500	2,500	8 750,000
Béton	m ³	14 500	280,000	4 060 000,000
Equipements	ens.	1	300 000,000	300 000,000
* Evacuateur				
Fouilles	m ³	74 000	2,500	185 000,000
Béton	m ³	1 900	280,000	532 000,000
Gabions	m ³	7 500	50,000	375 000,000
Enrochements	m ³	6 000	12,000	72 000,000
Auscultation (1% GC)				60 667,500
Non mètres (5% GC)				303 337,500
Aléas (10% GC + vannes)				638 675,000
TOTAL VARIANTE DIGUE EN TERRE				7 067 430,000
			Soit 7 100 000 DT	

VII.2.3 Coût au mètre cube d'eau

Le tableau suivant exprime le coût de chacune des variantes, rapporté au mètre cube d'eau stocké.

Variante	Coût de l'aménagement	Volume stocké	Coût au m ³ stocké
	MDT	hm ³	DT/m ³
RDSM	4	7	0,600
TERRE	7,1	7	1,000

La variante remblai dur symétrique est donc la plus intéressante du point de vue coût, l'écart entre les deux variantes étant de 3 MDT. La variante Digue en terre est pénalisée par le prix des ouvrages d'évacuation des crues (évacuateur de surface et ouvrage unifié) qui constituent environ 78 % du coût total.

VII.3. Planning des travaux

VII.3.1. Variante RDSM

Le planning de réalisation des travaux de la variante RDSM est présenté en page suivante.

Après la phase d'installation, pendant la période d'étiage, les premiers éléments de la vidange de fond sont réalisés : cette vidange participera partiellement à la dérivation des eaux en cours de chantier étant entendu qu'une submersion du chantier en période de crue est admise.

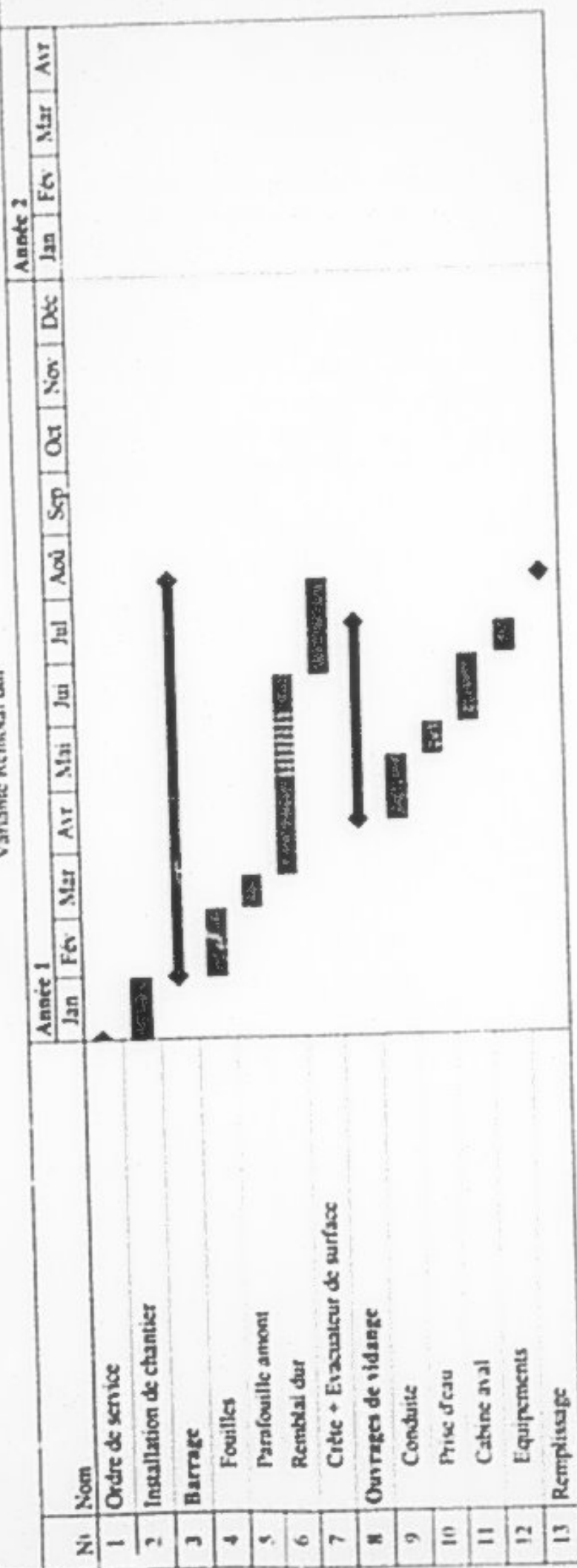
L'exécution de la vidange de fond - dérivation provisoire demande 4 mois de travaux.

La construction du barrage est ensuite effectuée. Elle commence par les fouilles, avant d'entamer les remblais.

La mise en oeuvre des remblais durs compactés au rouleau démarre après les travaux de traitement des fondations (béton enrichi, BCR etc...). Le corps du barrage est construit en 6,5 mois.

La variante remblai dur permet de construire l'ouvrage en 9 mois en évitant la période de hautes eaux. Elle permet ainsi de s'affranchir largement des contraintes de dérivation des eaux pendant les travaux.

Planning des travaux - Qued Chafrou
Variante Remblai dur



Critique Non critique Avancement Jalon Résumé Reporté

VII.3.2 Variante Digue en terre

Le planning de réalisation des travaux de la variante digue en terre est présenté en page suivante.

Après la phase d'installation, pendant la période d'étiage, les travaux de la dérivation provisoire sont réalisés : fouilles du chenal. Les galeries de dérivation provisoire sont construites. En parallèle, les fouilles du batardeau sont exécutées. Le batardeau amont est ensuite réalisé. L'exécution de la dérivation provisoire demande 5,5 mois de travaux.

La construction du barrage est ensuite effectuée à l'abri du batardeau. Elle commence par les fouilles, en particulier celles de la tranchée d'ancrage, avant d'entamer les remblais.

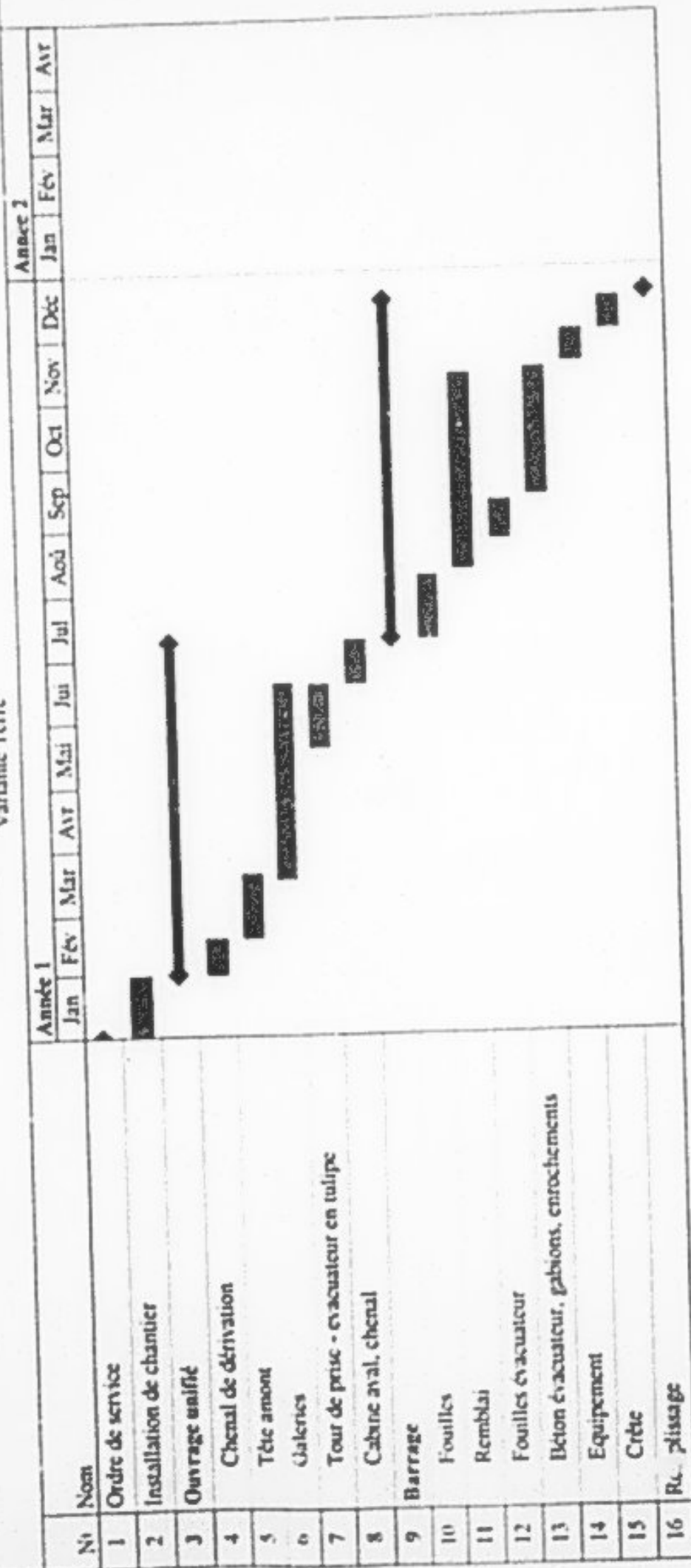
La mise en œuvre des remblais démarre après les travaux de traitement des fondations. Le corps du barrage est construit en 6 mois environ.

En parallèle, l'évacuateur de crues est construit (fouilles et béton). L'évacuateur de fond est ensuite équipé (vannes, etc...).

La mise en eau de la retenue pourrait avoir lieu environ 1 an après le début des travaux.

Planning des travaux - Oued Chafrou

Variantes Terre



APS Oued Chafrou

Critique
Non critique

Avancement
Jalon

Résumé
Reporté

ISL Paris - SIAA Tunis

VIII - ETUDES ET RECONNAISSANCES COMPLEMENTAIRES

VIII - ETUDES ET RECONNAISSANCES COMPLEMENTAIRES

RECONNAISSANCES COMPLEMENTAIRES

Ce chapitre présente les reconnaissances complémentaires qu'il nous paraît utile de réaliser lors des phases ultérieures du projet.

Topographie

Pour la présente étude, nous avons utilisé le levé topographique de la cuvette au 1/5000^{ème} et du site au 1/1000 réalisés par l'Administration. Au niveau des études d'Avant Projet Détaillé du barrage les données topographiques devront être affinées.

Il nous paraît nécessaire de compléter le levé au sol au 1/1000^{ème} du site par des extensions, notamment vers l'aval et partiellement vers l'amont. Nous recommandons également d'établir un profil selon l'axe du barrage et selon l'axe de l'évacuateur de crue pour la variante digue en terre.

Pour la topographie de la cuvette, il serait souhaitable de disposer des courbes de niveau au dessus de la cote 50 NGT.

Géologie et géotechnique du site

Les reconnaissances préliminaires effectuées dans le cadre de l'APS donnent une idée relativement précise des formations rencontrées tant au niveau de leur nature qu'à leur niveau de leur perméabilité. Le choix donné à la réalisation d'un barrage en remblai dur impose, en outre, la connaissance des caractéristiques mécaniques des terrains d'assise et les risques d'érosion des sols en place à l'aval immédiat de l'ouvrage.

En conséquence, une campagne complémentaire devra être prévue. Elle sera basée en particulier, sur l'exécution de sondages pressiométriques dans l'axe du barrage et au niveau des ouvrages de prise et de restitution et quelques sondages carottés, peu profonds, à l'aval immédiat du barrage.

Matériaux d'emprunt

Nous rappelons que les investigations lors de l'étude d'APS ont été limitées à quelques carrières. Les principaux objectifs des reconnaissances complémentaires porteront sur :

- l'extension des investigations à l'intérieur de toute la cuvette,
- l'évaluation des quantités d'alluvions gravo-sableuses disponibles pour le barrage et la détermination des conditions d'utilisation et de mise en place.

Par ailleurs, à l'occasion des études d'Avant Projet Détaillé, il est recommandé de procéder à une caractérisation des matériaux obtenus en vue de leur utilisation pour le remblai dur et le BCR. Le mode de confection du remblai dur et du BCR et leurs performances pourront être précisés, en plus des essais classiques, par une étude de reconstitution des emprunts et la réalisation d'une planche d'essai.

Des essais de sautage et essais mécaniques devront être effectués au niveau des carrières identifiées en complément des analyses des alluvions d'oued en vue de leur utilisation possible pour les enrochements et les agrégats à béton.

JUSTIFICATION DES OUVRAGES

Les points suivants sont ceux pour lesquels les études d'APD devront apporter des justifications précises, appuyées sur des données complètes. Les résultats de ces études conduiront éventuellement à modifier certains points importants du projet :

1. La prise en compte des résultats d'une campagne de reconnaissances complémentaire permettra de déterminer au mieux:
 - les fruits amont et aval de l'ouvrage,
 - l'implantation des ouvrages.
2. Etude sur modèle physique du barrage et de ses annexes. Pour la crête déversante, ces modèles permettront de définir la géométrie des ouvrages (seuil, déversoir, bassin de dissipation) et de préciser les conditions à l'aval.
3. Pour la variante digue en terre, avec ouvrage unifié, l'évacuateur de crues d'exception pourrait être redimensionné en prenant en compte la crue millénaire, à condition de déterminer la hauteur de la revanche par rapport à la crue décamillénaire. Une étude de risques devra être élaborée.
La conception suivante pourrait également être envisagée pour cet ouvrage :
 - les crues de période de retour inférieures à 100 ans ne doivent pas générer de désordres dans la structure,
 - les crues de période de retour supérieures peuvent conduire à des dégâts, limités à l'évacuateur de crues, en aucun cas ces dégâts ne doivent pouvoir s'étendre au barrage ("dégâts maîtrisables")

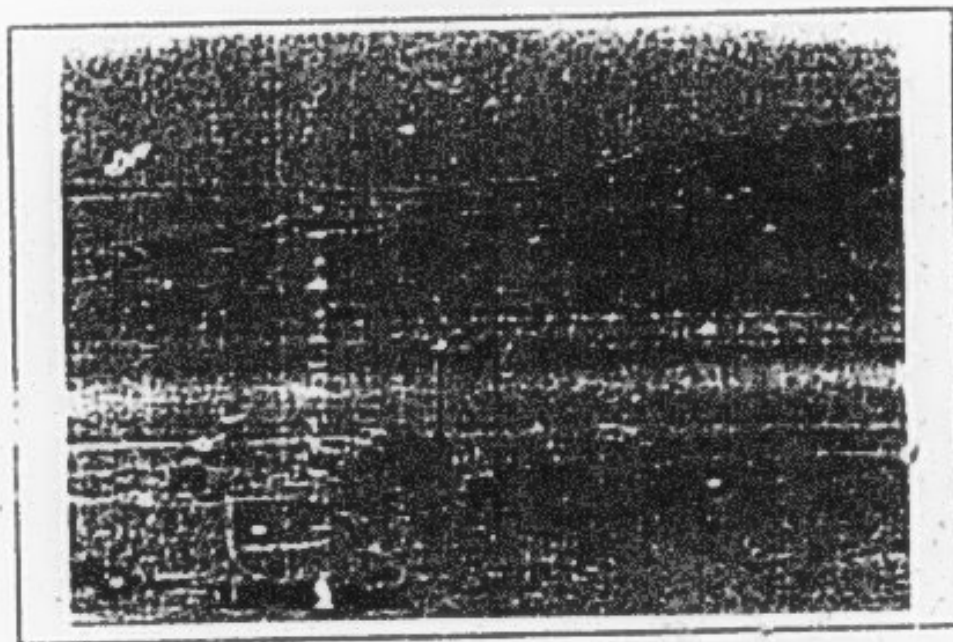
REPUBLIQUE TUNISIENNE

MINISTERE DE L'AGRICULTURE

**DIRECTION DE LA PLANIFICATION DES EAUX ET DES
ETUDES HYDRAULIQUES**

ETUDE D'AVANT PROJET SOMMAIRE (A.P.S.)

D'UN BARRAGE SUR L'OUED CHAFROU



CAHIER DE PLANS

Septembre 1999



Société d'Ingénierie AIBAS & Associés
8 Rue de l'Artisanat - Z.I. Ariana Aéroport
1080 TUNIS Cedex



ISL Bureau d'ingénierie conseil
72 Bd Mgr Donald
75019 PARIS

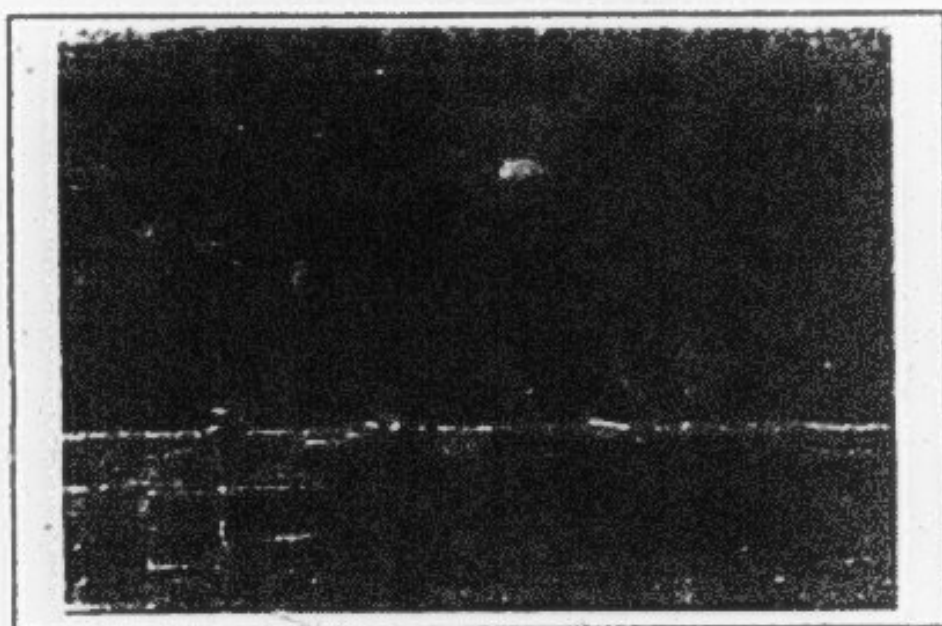
REPUBLIQUE TUNISIENNE

MINISTERE DE L'AGRICULTURE

**DIRECTION DE LA PLANIFICATION DES EAUX ET DES
ETUDES HYDRAULIQUES**

ETUDE D'AVANT PROJET SOMMAIRE (A.P.S.)

D'UN BARRAGE SUR L'OUED CHAFROU



CAHIER DE PLANS

Septembre 1999



Société d'Ingénierie ABBAS & Associés
8 Rue de l'Artisanat - Z.I. Ariana Aéroport
1060 TUNIS Cedex



ISL Bureau d'Ingénierie conseil
75 Bd Maréchal
75019 PARIS

- LISTE DES PLANS -

- 115-APS-01 : PLAN DE SITUATION
- 115-APS-02 : PLAN DU BASSIN VERSANT
- 115-APS-03 : VUE EN PLAN DE LA CUVETTE
- 115-APS-04 : GEOLOGIE DU BASSIN VERSANT
- 115-APS-05 : GEOLOGIE DE LA CUVETTE
- 115-APS-06 : GEOLOGIE DU SITE
- 115-APS-07 : COUPES GEOLOGIQUES
- 115-APS-08 : SONDAGES
- 115-APS-09 : ZONES D'EMPRUNT
- 115-APS-10 : VARIANTE TERRE / VUE EN PLAN
- 115-APS-11 : VARIANTE TERRE / COUPE TYPE DE LA DIGUE
- 115-APS-12 : VARIANTE TERRE / EVACUATEUR DE CRUE
- 115-APS-13 : VARIANTE TERRE / OUVRAGE UNIFIE
- 115-APS-14 : VARIANTE REMBLAI DUR / VUE EN PLAN
- 115-APS-15 : VARIANTE REMBLAI DUR / COUPES A-A ET B-B:
DETAILS
- 115-APS-16 : VARIANTE REMBLAI DUR / COUPE AU NIVEAU DE
LA CONDUITE
- 115-APS-17 : VARIANTE REMBLAI DUR / OUVRAGES : VUES EN
PLAN ET COUPES
- 115-APS-18 : VARIANTE REMBLAI DUR / ELEVATIONS



SUITE EN

F

3



ONAGRI
TUNISIE

MICROFICHE N°

10438

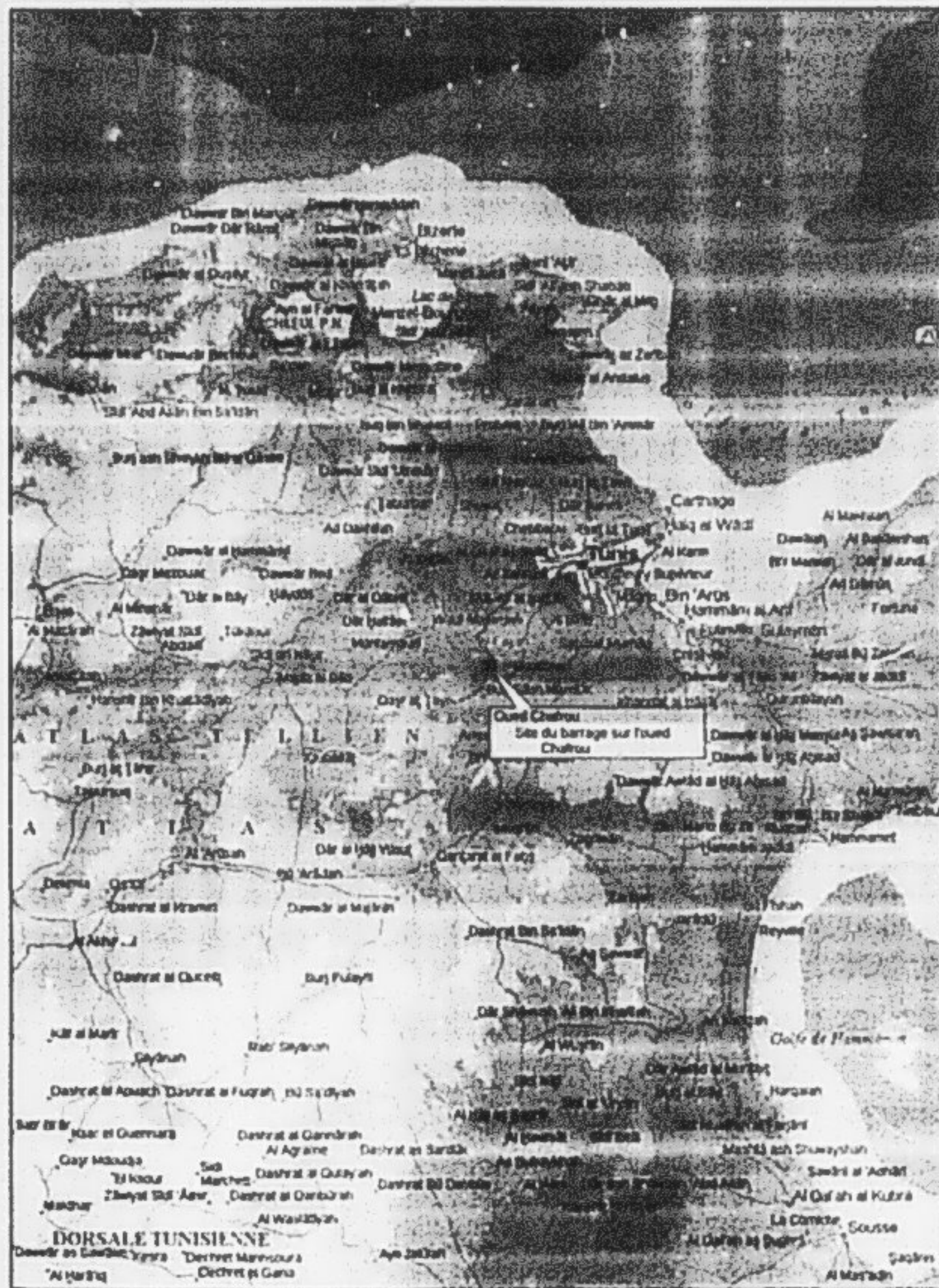
REPUBLIQUE TUNISIENNE
MINISTERE DE L'AGRICULTURE

الجمهورية التونسية
وزارة الفلاحة

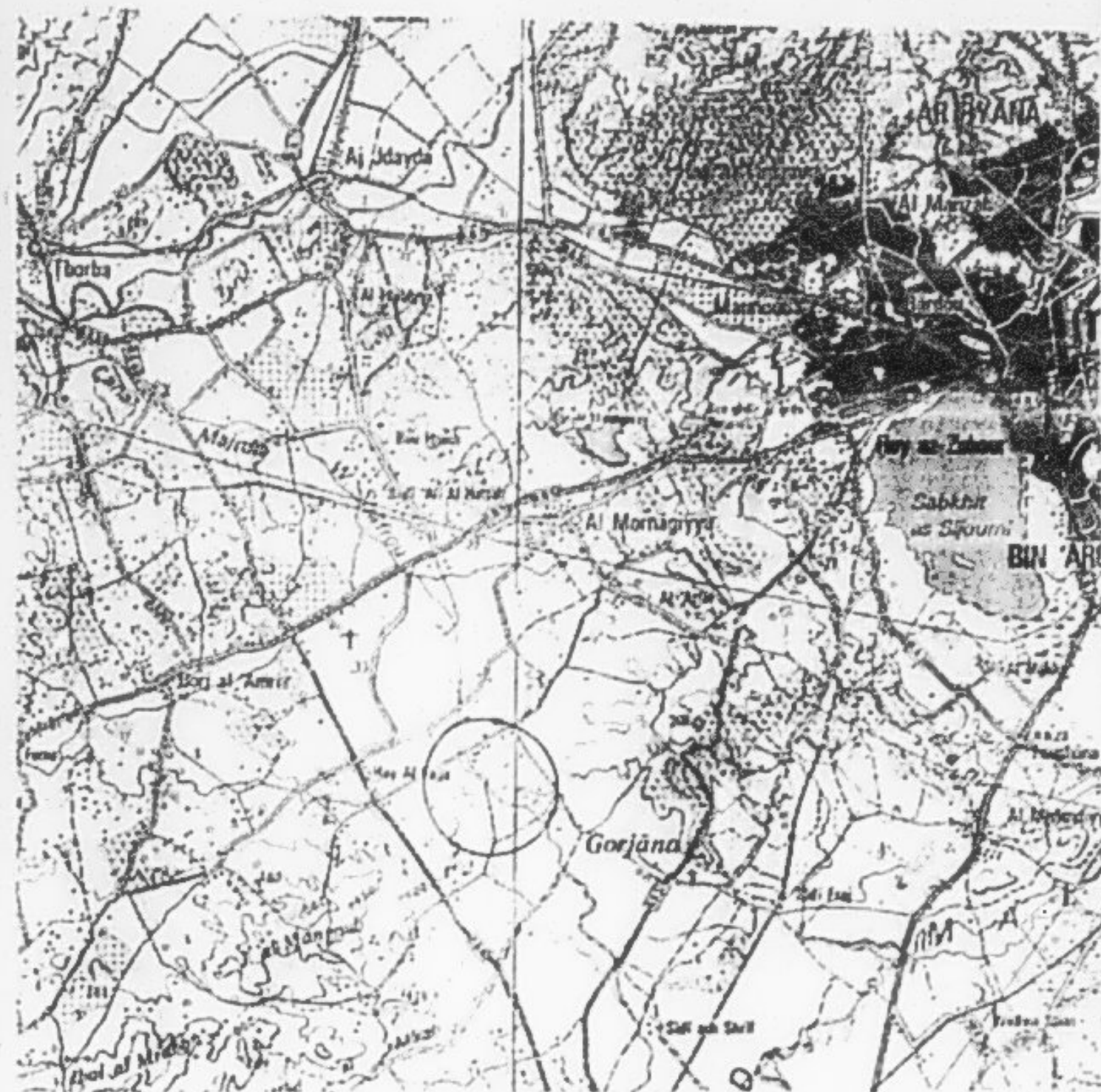
Observatoire National de l'Agriculture
30, Rue Alain Savary - 1002 Tunis

المركز الوطني للفلاحة
30، شارع الأسفيري - 1002 تونس

F 3



Oued Chafrou
Tunisie



REPUBLIQUE TUNISIENNE
MINISTRE DE L'AGRICULTURE
Direction Générale ETH

BARRAGE SUR OUED CHAFROU

AVANT PROJET SOMMAIRE

PLAN DE SITUATION

Donc 27/05/79

Edi 1-

Donné par : F.B.S

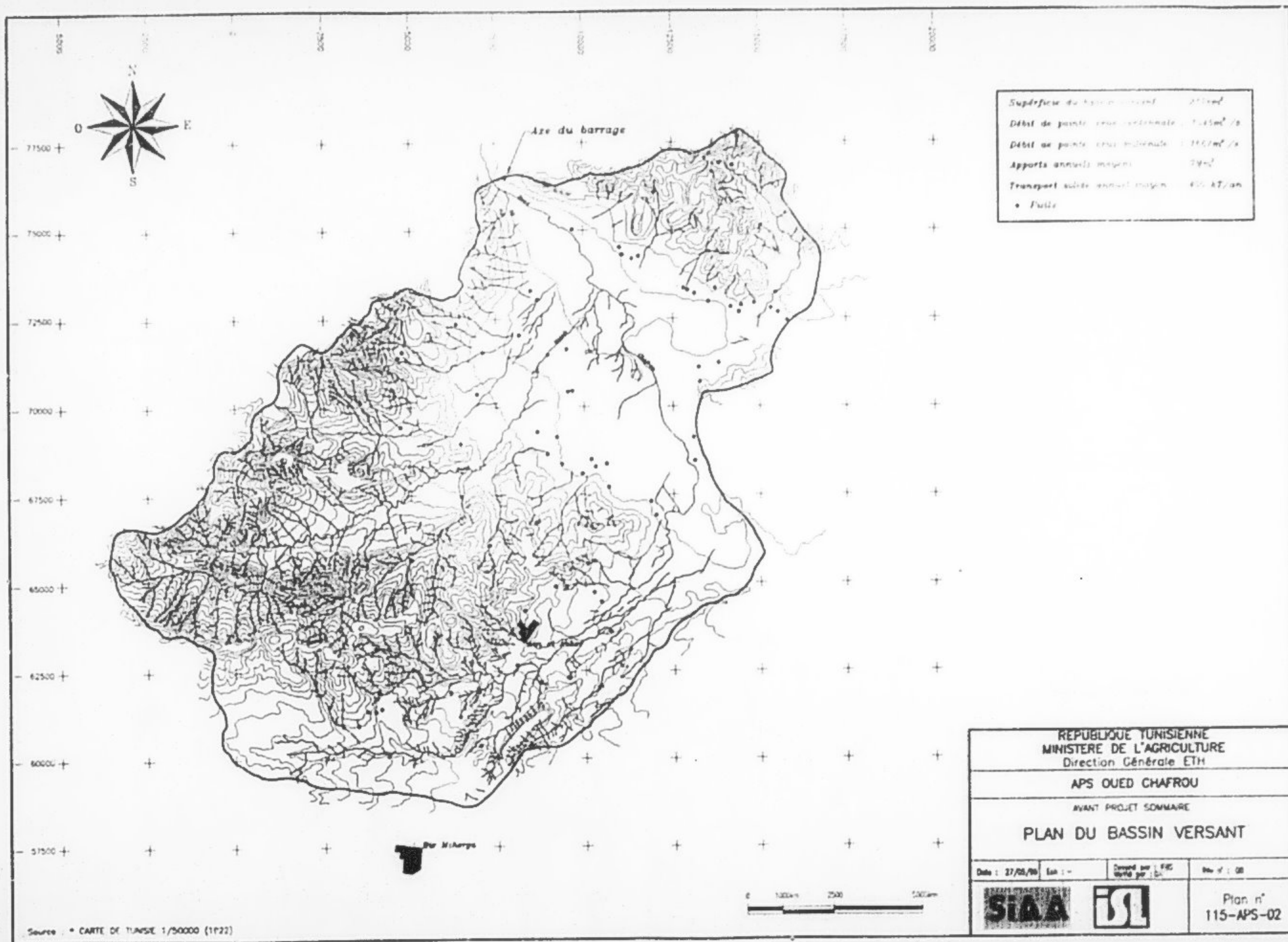
Version : 1.0

Revisé : 01

SiAA

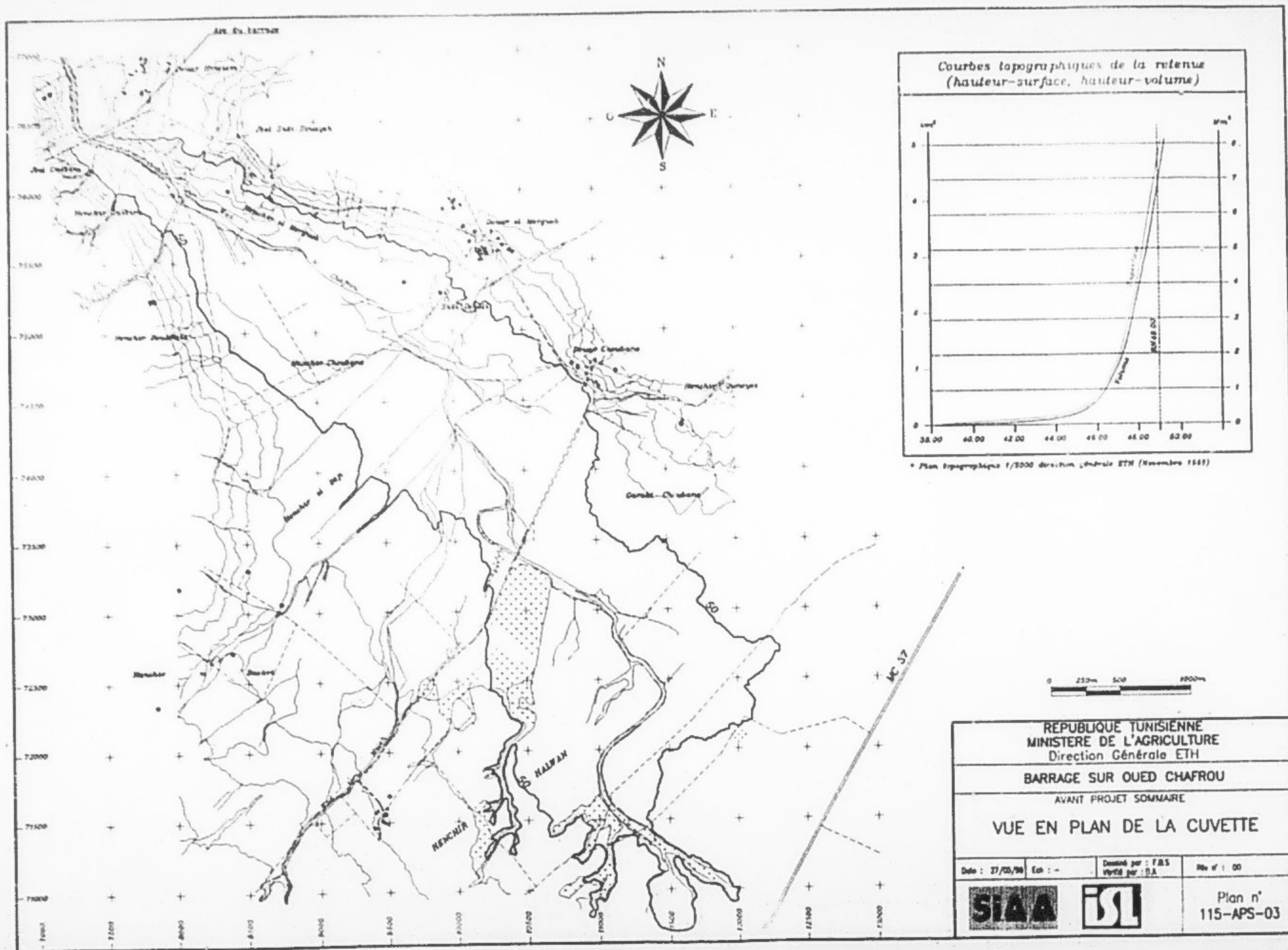
ISL

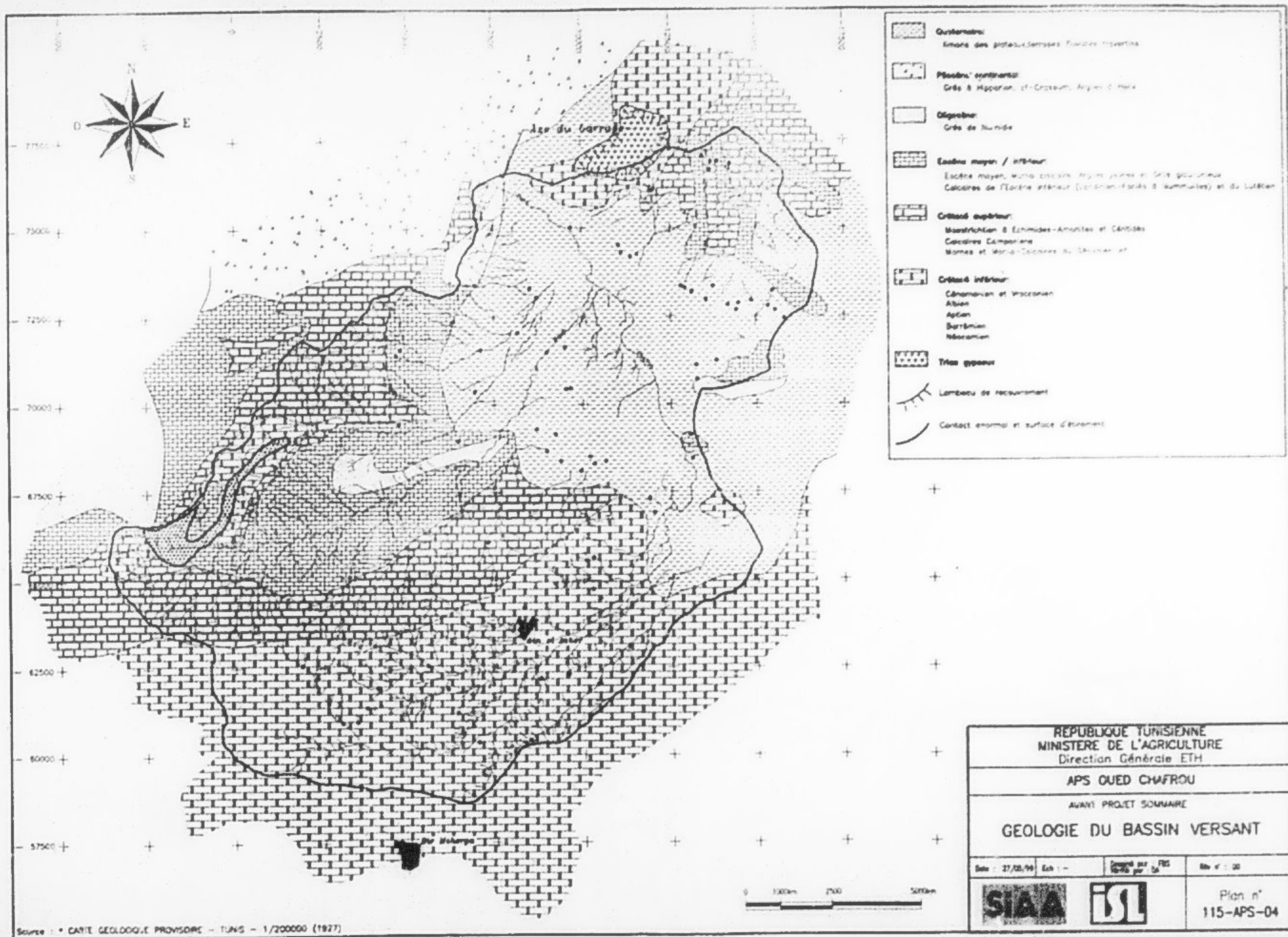
Plan n°
115-APS-01



Superficie du bassin versant	211 km ²
Débit de pointe crue instantanée	1.45 m ³ /s
Débit au point crue maximale	11.0 m ³ /s
Apports annuels moyens	79 m ³
Transport solide annuel moyen	400 kt/an
• Puits	

RÉPUBLIQUE TUNISIENNE MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE Direction Générale ETH		
APS OUED CHAFROU		
AVANT PROJET SOMMAIRE		
PLAN DU BASSIN VERSANT		
Date : 27/05/90	Éch : -	Demandé par : FNE Validé par : [Signature]
SIAA [Logo]		No. d' : 08 Plan n° 115-APS-02

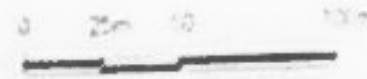




REPUBLIQUE TUNISIENNE MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE Direction Générale ETH		
APS OUED CHAFROU		
AVAL PROJET SOMMAIRE		
GEOLOGIE DU BASSIN VERSANT		
Date: 27/05/99	Ech: 1/	Revisé par: FRS
SIAA		ISL
Plan n° 115-APS-04		

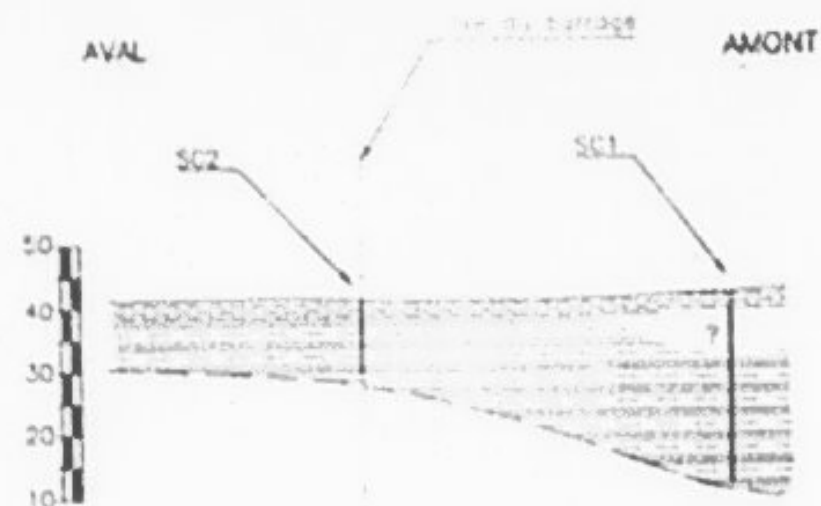


-  Alluvions actuelles
-  Alluvions récentes argileuses
-  Grès et encroûtement carbonatés
-  Hautes terrasses et éboulis de pente: Silt argileux-argile siliceuse.
-  S plus sableux intercalés



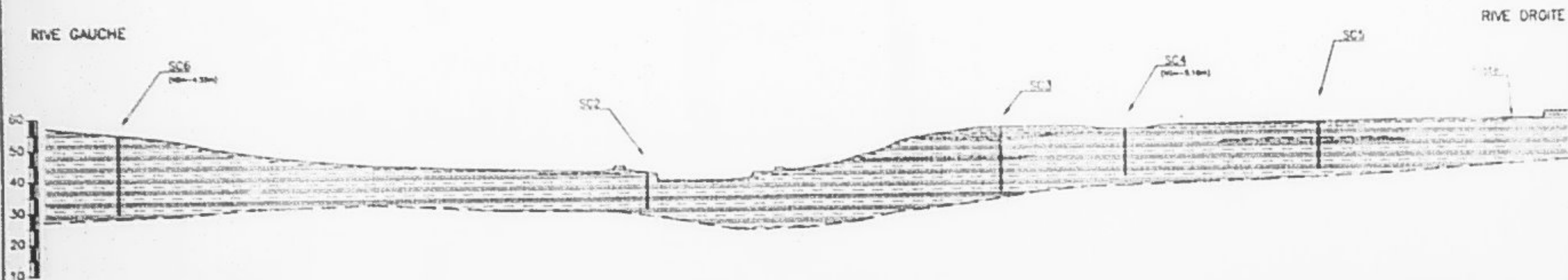
REPUBLIQUE TUNISIENNE MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE Direction Générale ETI		
BARRAGE SUR OUED CHAFROU		
AVANT PROJET SOMMAIRE		
GEOLOGIE DU SITE		
Date : 27/05/94	Int : -	Revisé par : F.A.S. Vérifié par : D.A.
 		Plan n° 115-APS-05

COUPE B-B



-  Sols de couverture composés de terre végétale, silt argileux et d'argiles sableuses.
-  Lits sableux.
-  Croûte tuffeuse.
-  Argile marneuse et marnes fraîches, assez compactes présentant des passages plus ou moins granuleux légèrement oxydés. Les formations reconnues sont assez imperméables.

COUPE A-A



Sondage	Cote NGT
SC1	42.02
SC2	41.66
SC3	55.20
SC4	53.07
SC5	54.57
SC6	54.58

0 5m 25 50m

REPUBLIQUE TUNISIENNE
MINISTRE DE L'AGRICULTURE
Direction Générale ETH

BARRAGE SUR OUED CHAFROU
AVANT PROJET SOMMAIRE

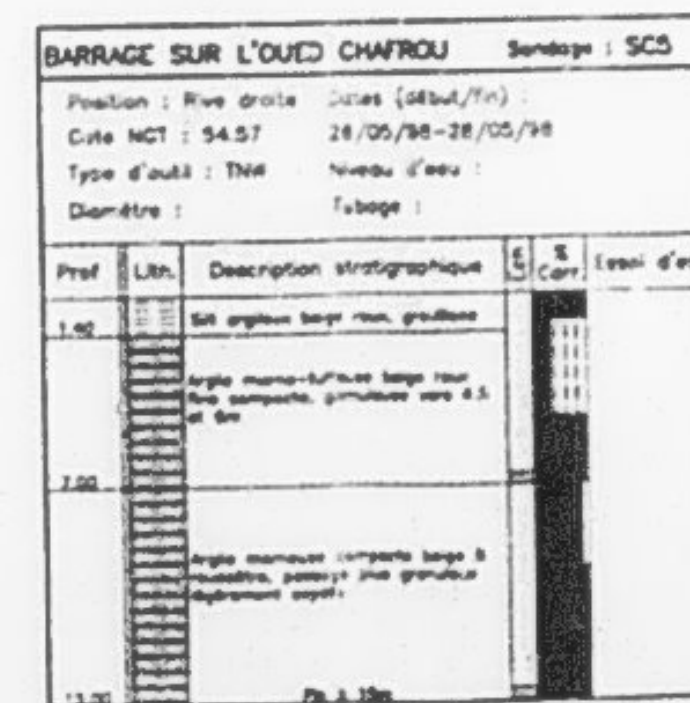
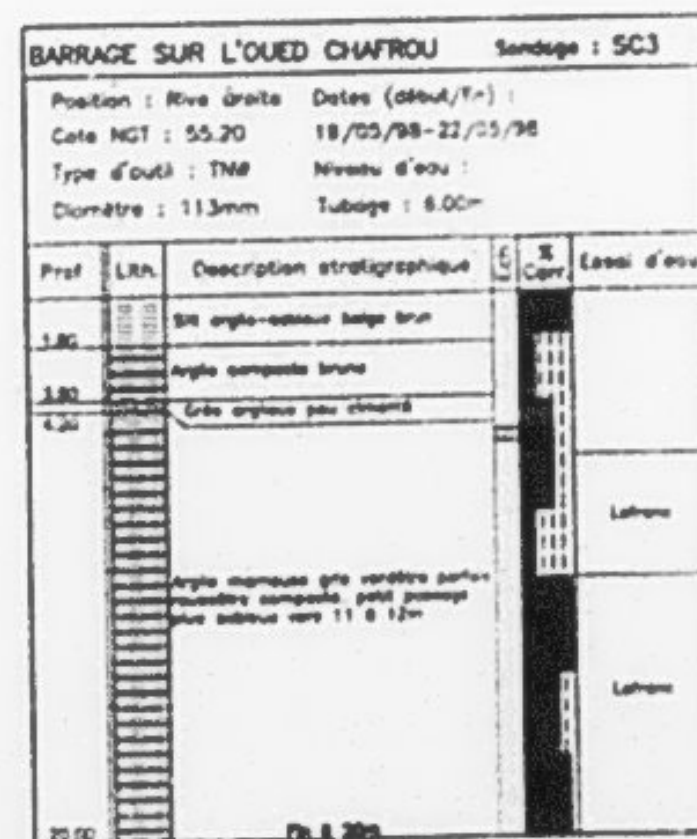
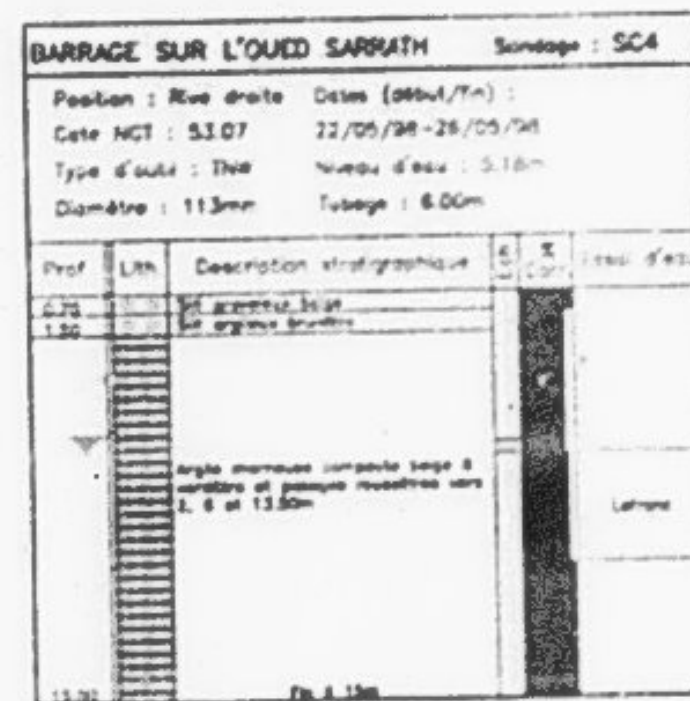
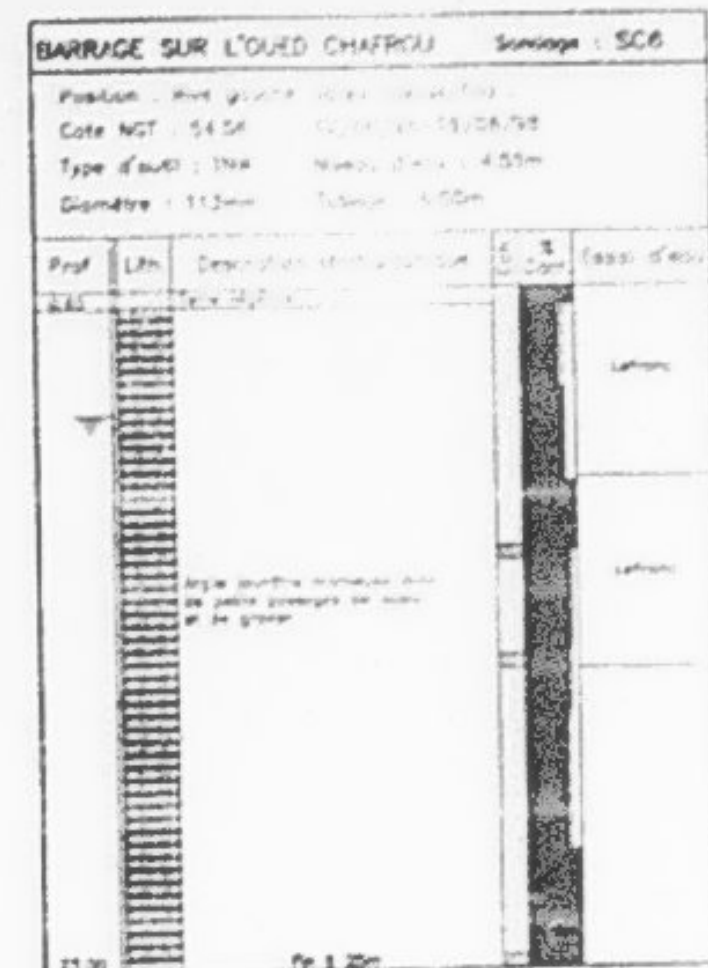
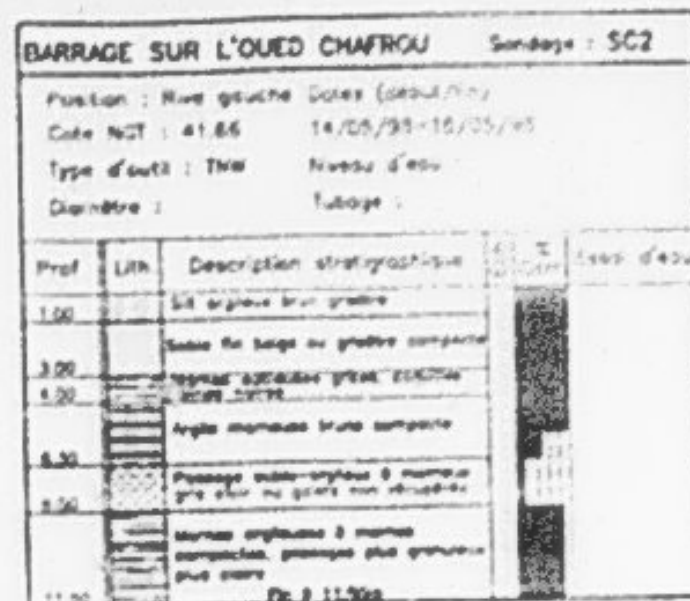
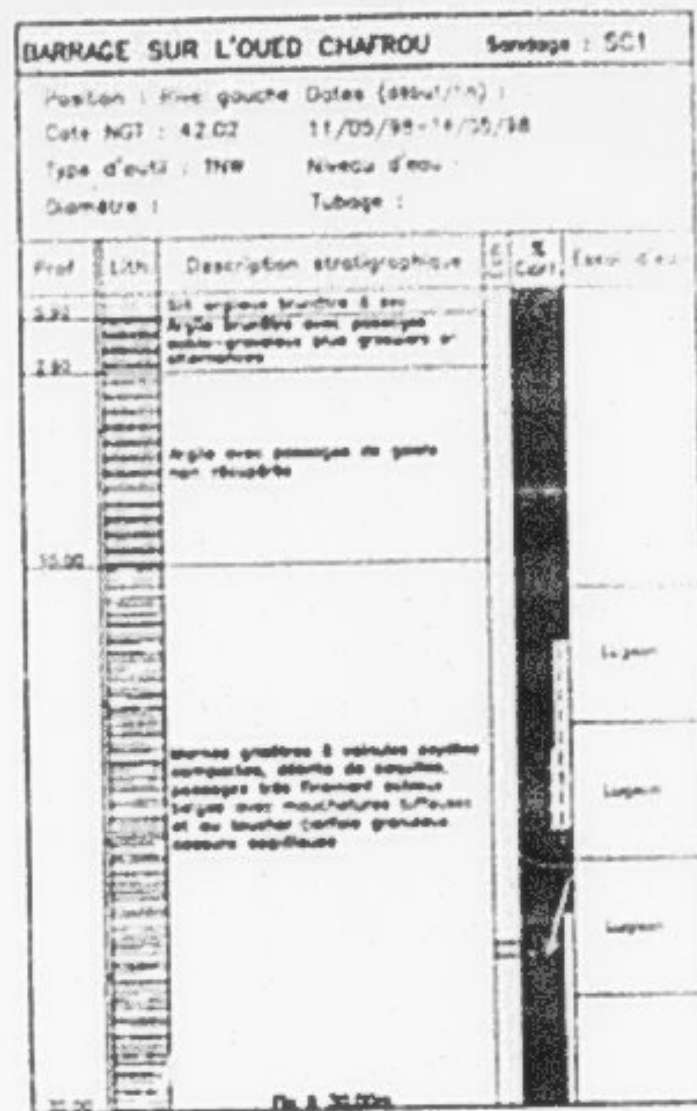
COUPES GEOLOGIQUES

Date : 27/03/99 Ech : - Dessiné par : FBS
Vérifié par : DA N° : 00

SIAA

ISL

Plan n°
115-APS-07



REPUBLIQUE TUNISIENNE
MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE
Direction Générale ETH

BARRAGE SUR OUED CHAFROU

AVANT PROJET SOMMAIRE

SONDAGES

Date : 27/05/98 Lith : - Dessiné par : F.B.S. Validé par : S.A. N° : 13

SIAA **ISL** Plan n° 115-APS-08

Oued CHAFROU - Analyse granulométrique (Echantillons remaniés)

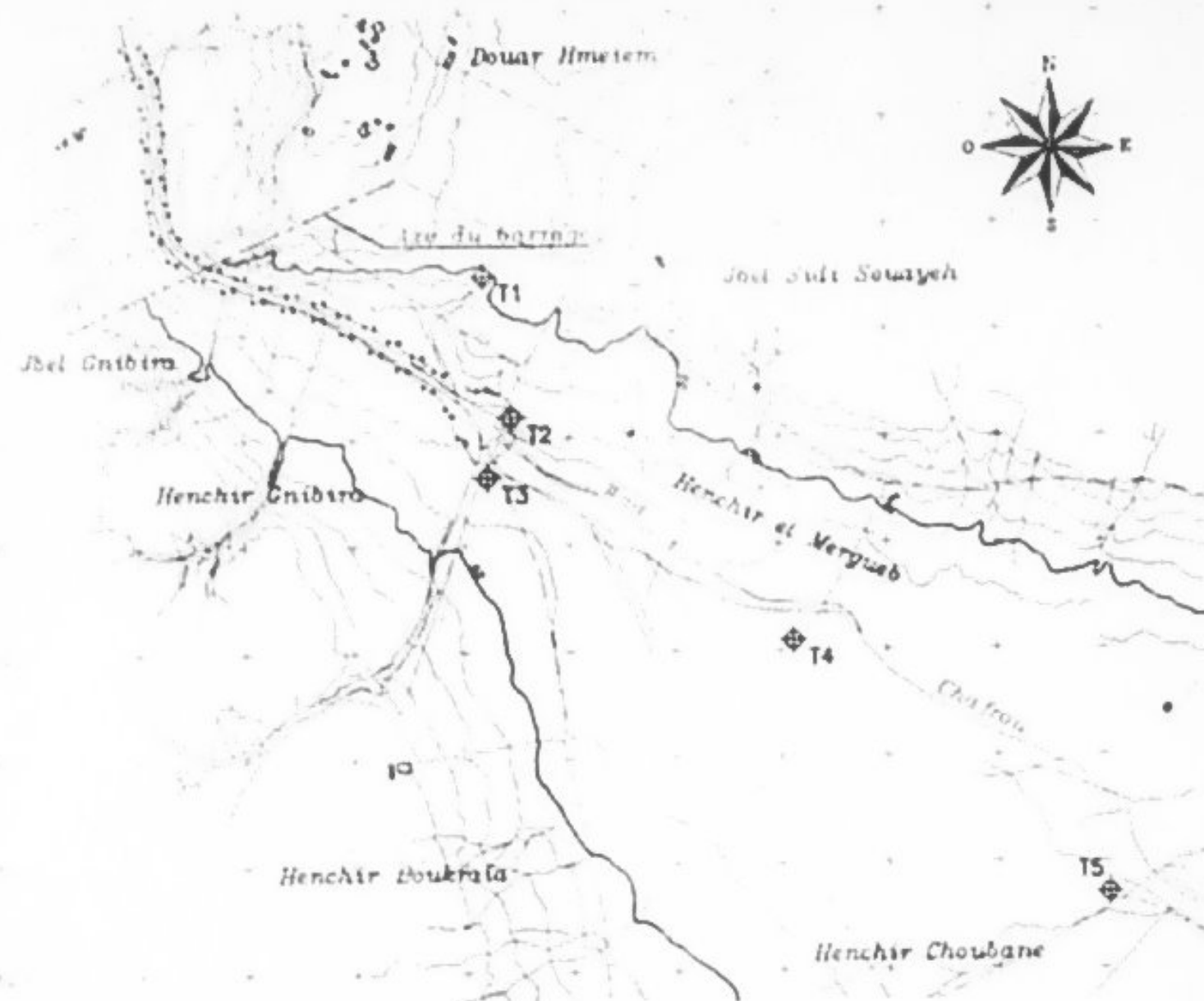
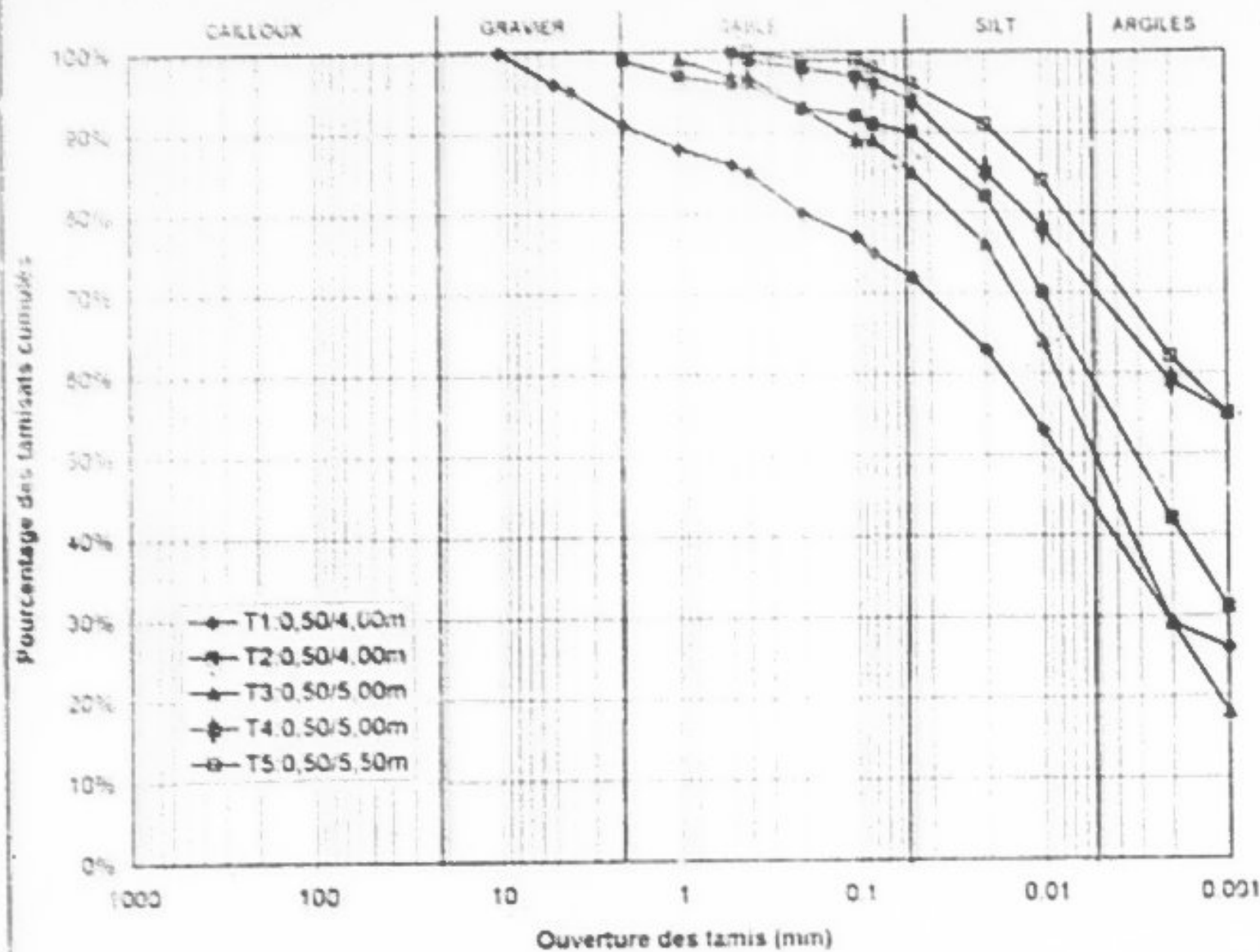
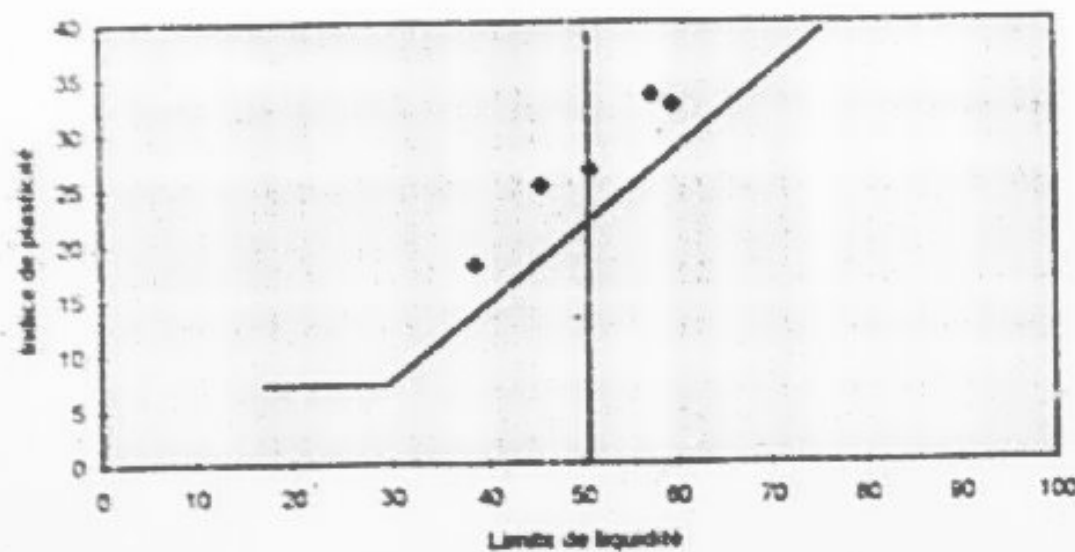
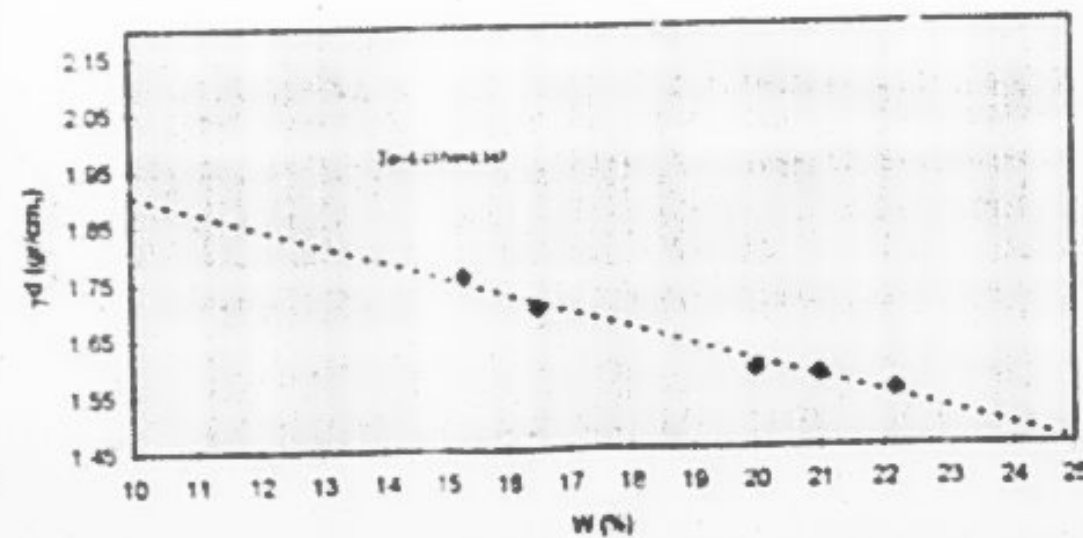


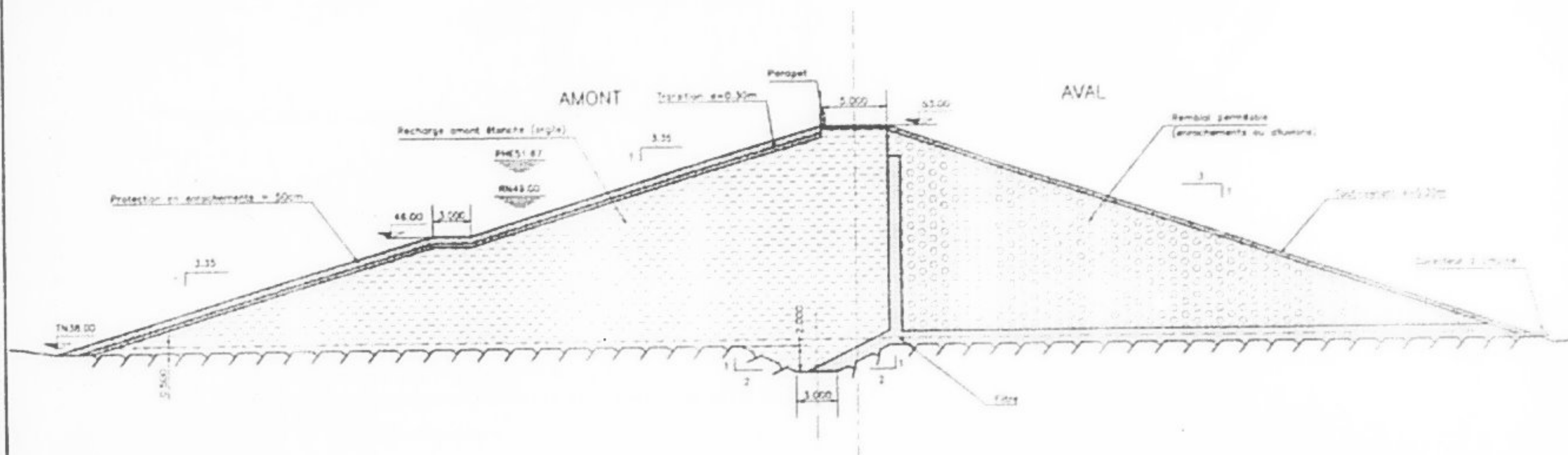
Diagramme de plasticité



Relation entre teneur en eau et poids spécifique à l'optimum Procter



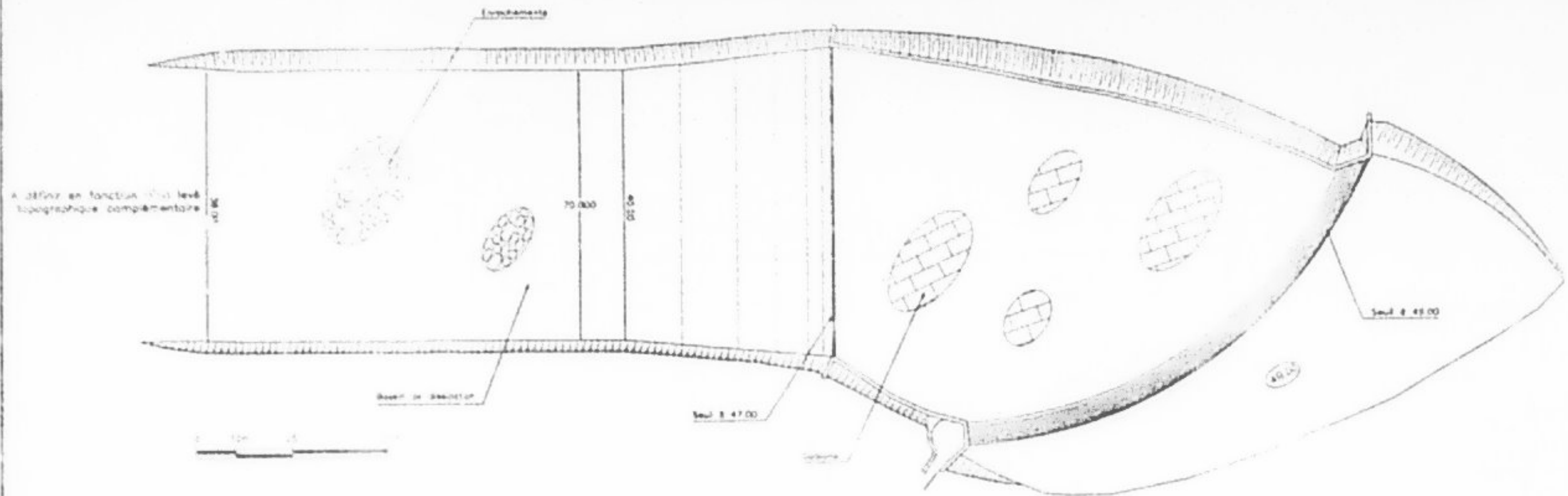
REPUBLIQUE TUNISIENNE MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE Direction Générale ETH			
BARRAGE SUR OUED CHAFROU AVANT PROJET SOMMAIRE			
ZONES D'EMPRUNT			
Date : 27/04/94	Ech : -	Dessiné par : F.B.S. Vérifié par : D.A.	Éch. n° : 00
SIAA		ISL	Plan n° 115-APS-09



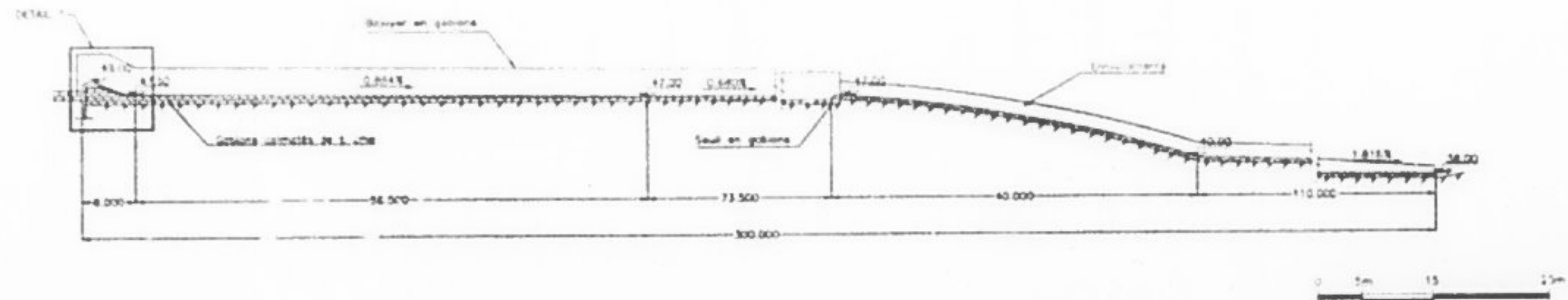
0 2.5m 5 10m

REPUBLIQUE TUNISIENNE			
MINISTRE DE L'AGRICULTURE			
Direction Générale ETH			
BARRAGE SUR OUED CHAFROU			
AVANT PROJET SOMMAIRE			
VARIANTE TERRE			
COUPE TYPE DE LA DIGUE			
Date : 14/08/79	Ech : -	Approuvé par : F.B.T.	Revisé par : S.A.
SIAA		ISL	
		Plan n° 115-APS-11	

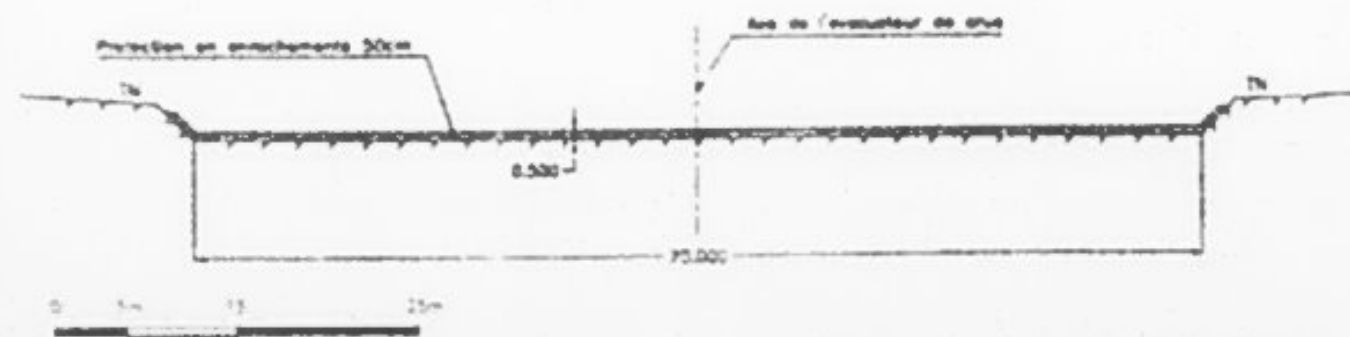
VUE EN PLAN



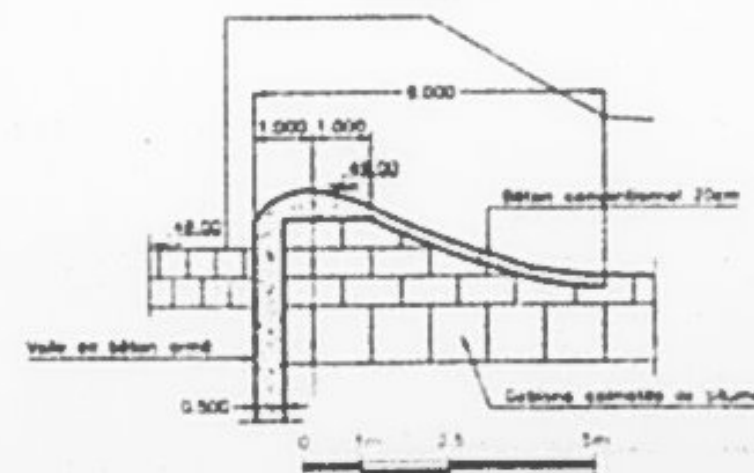
PROFIL EN LONG



COUPE TYPE DE L'EVACUATEUR



DETAIL 1



REPUBLIQUE TUNISIENNE
MINISTRE DE L'AGRICULTURE
Direction Générale ETH

BARRAGE SUR OUED CHAFROU

AVANT PROJET SOMMAIRE

VARIANTE TERRE
EVACUATEUR DE CRUE

Date : 14/06/99

Ech. 1"

Destiné par : F.B.S.

Vérifié par : D.A.

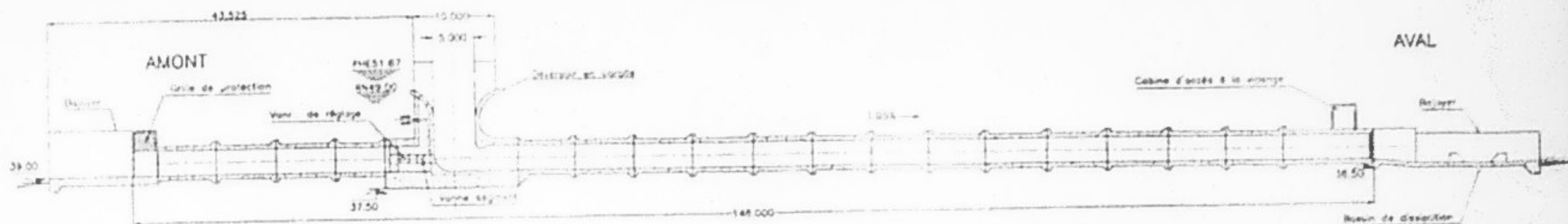
Re. n° : 00

SIAA

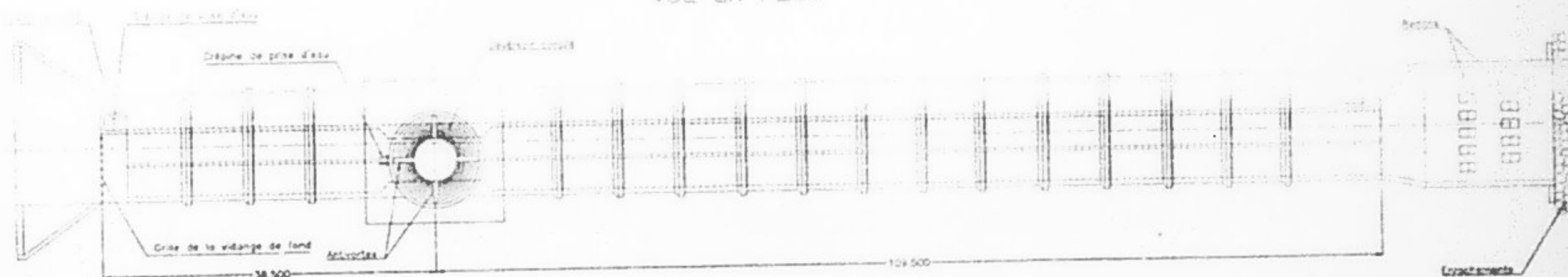
ISL

Plan n°
115-APS-12

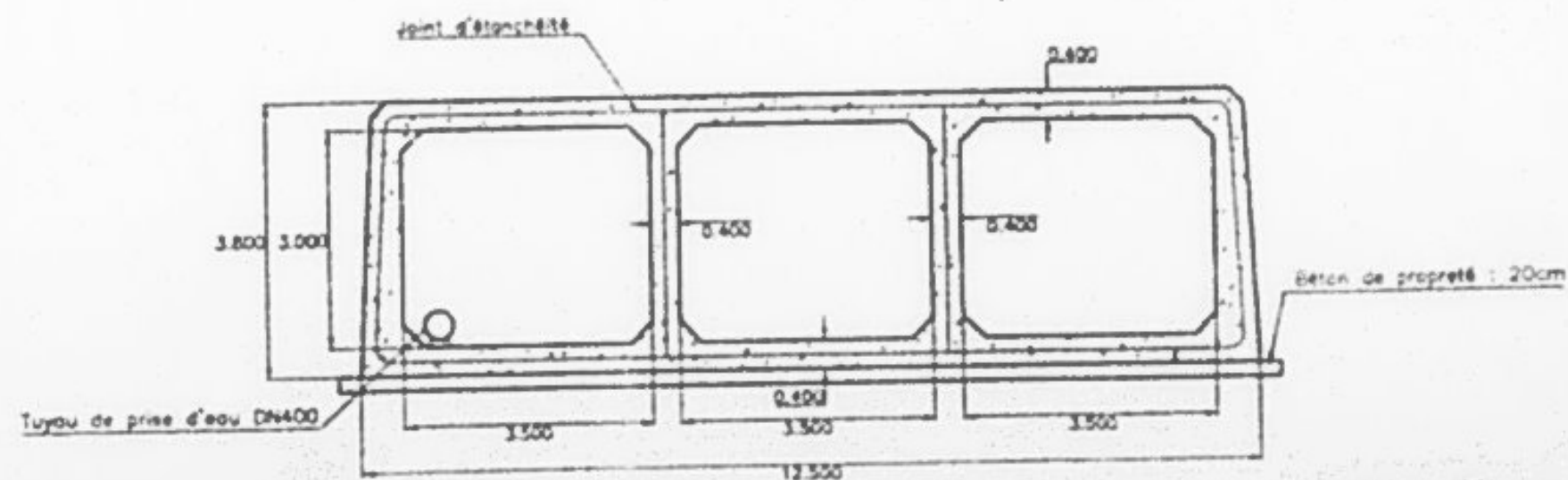
COUPE LONGITUDINALE



VUE EN PLAN



COUPE TYPE DE L'OUVRAGE UNIFIE



REPUBLIQUE TUNISIENNE
MINISTERE DE L'AGRICULTURE
Direction Générale ETH

BARRAGE SUR OUED CHAFROU

AVANT PROJET SOMMAIRE
VARIANTE TERRE
OUVRAGE UNIFIE

Date : 14/08/99

Ech : -

Dessiné par : F.B.S.

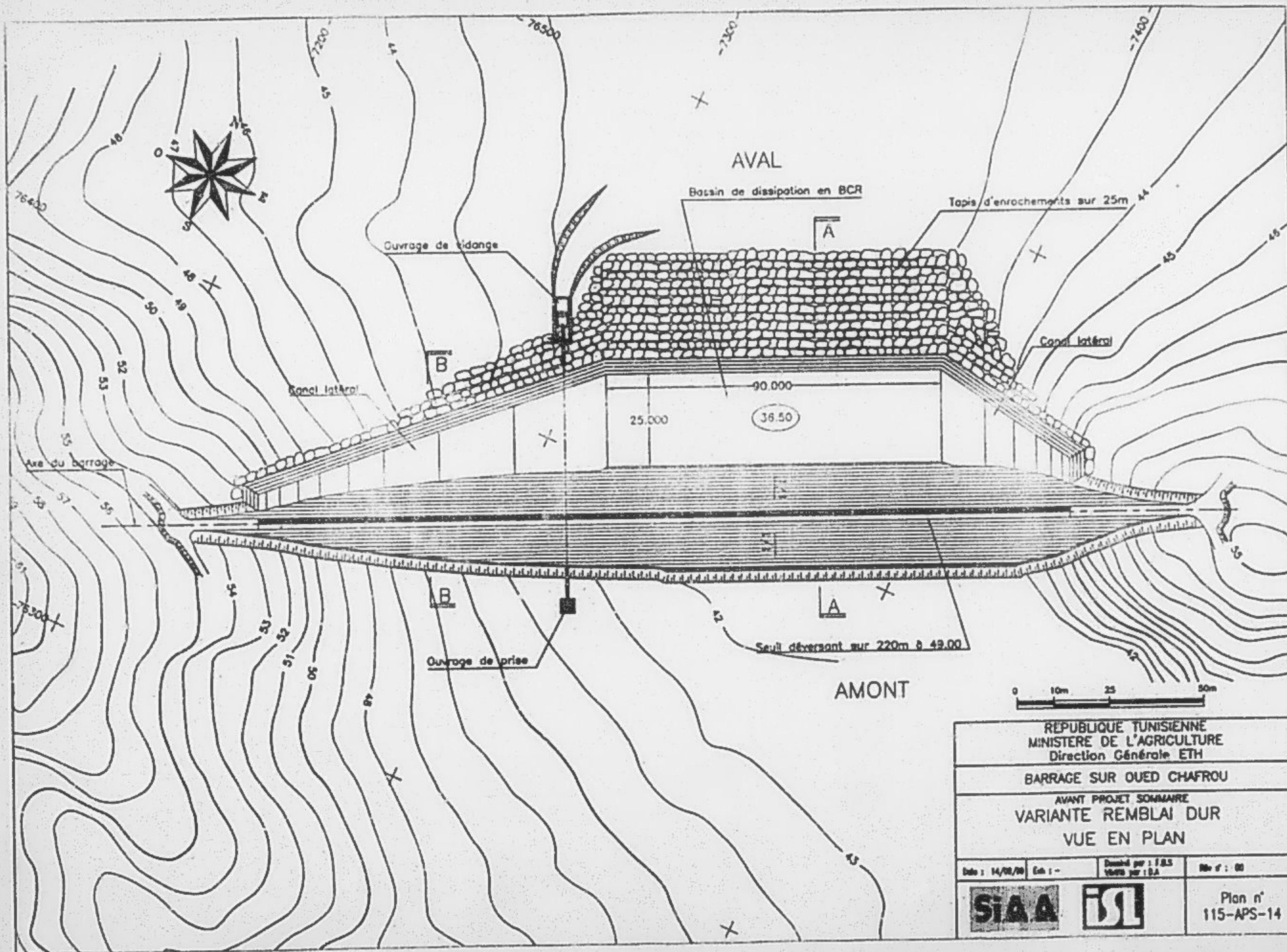
Approuvé par : D.A.

Rev n° : 00

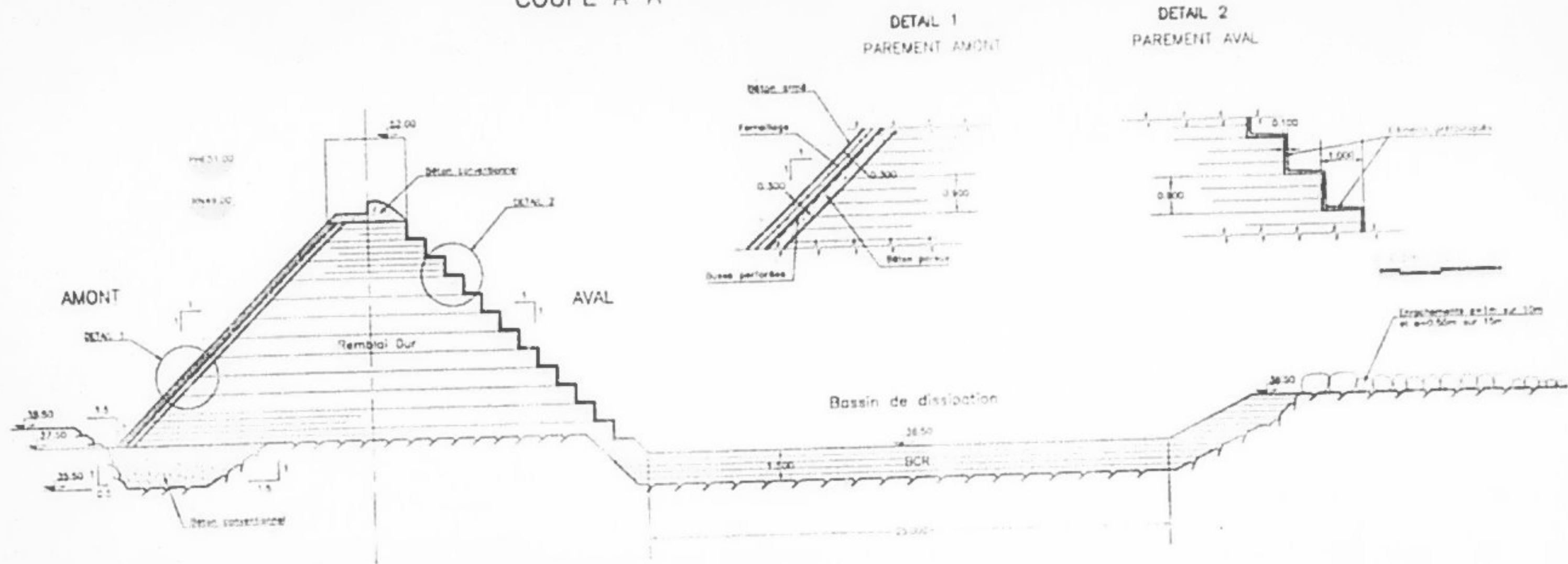
SIAA

ISL

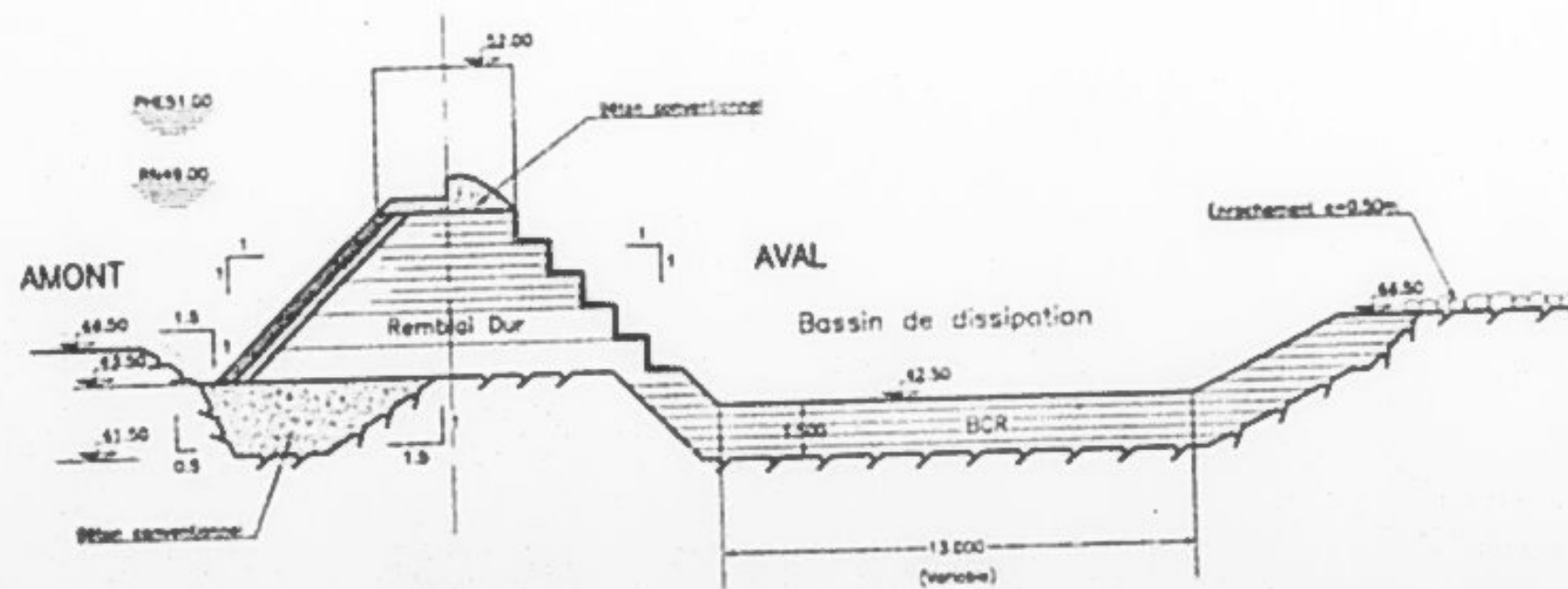
Plan n°
115-APS-13



COUPE A-A



COUPE B-B



REPUBLIQUE TUNISIENNE
MINISTRE DE L'AGRICULTURE
Direction Générale ETH

BARRAGE SUR OUED CHAFROU

AVANT PROJET SOMMAIRE
VARIANTE REMBLAI DUR
COUPES A-A et B-B / DETAILS

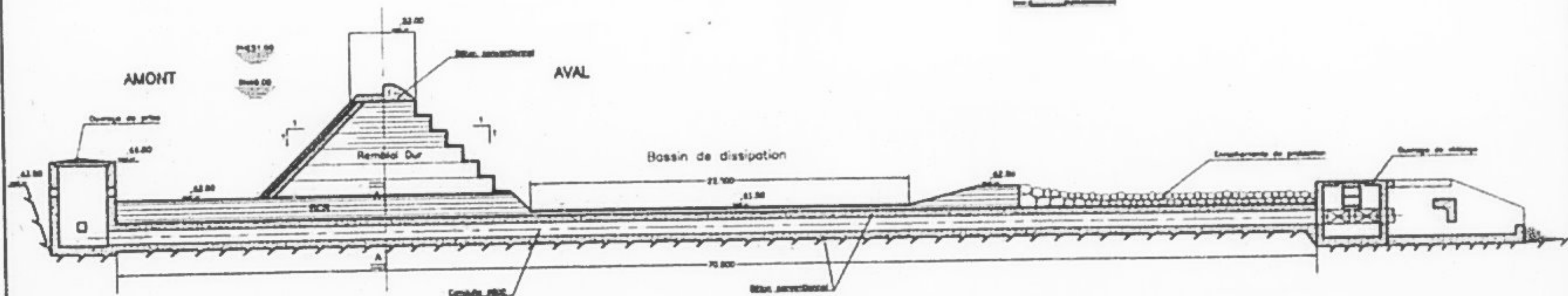
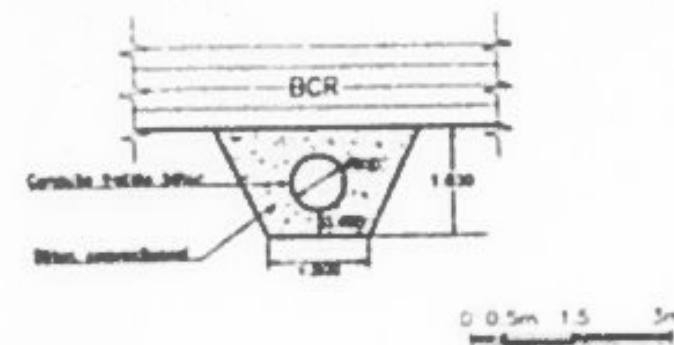
Date : 14/08/99	Ich : -	Checked per : F.B.S verified per : D.A	Rev n° : 00
-----------------	---------	---	-------------

SIAA



Plan n°
115-APS-15

COUPE A-A



REPUBLIQUE TUNISIENNE
MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE
Direction Générale ETH

BARRAGE SUR OUED CHAFROU

AVANT PROJET SOMMAIRE
VARIANTE REMBLAI DUR
COUPE AU NIVEAU DE LA CONDUITE

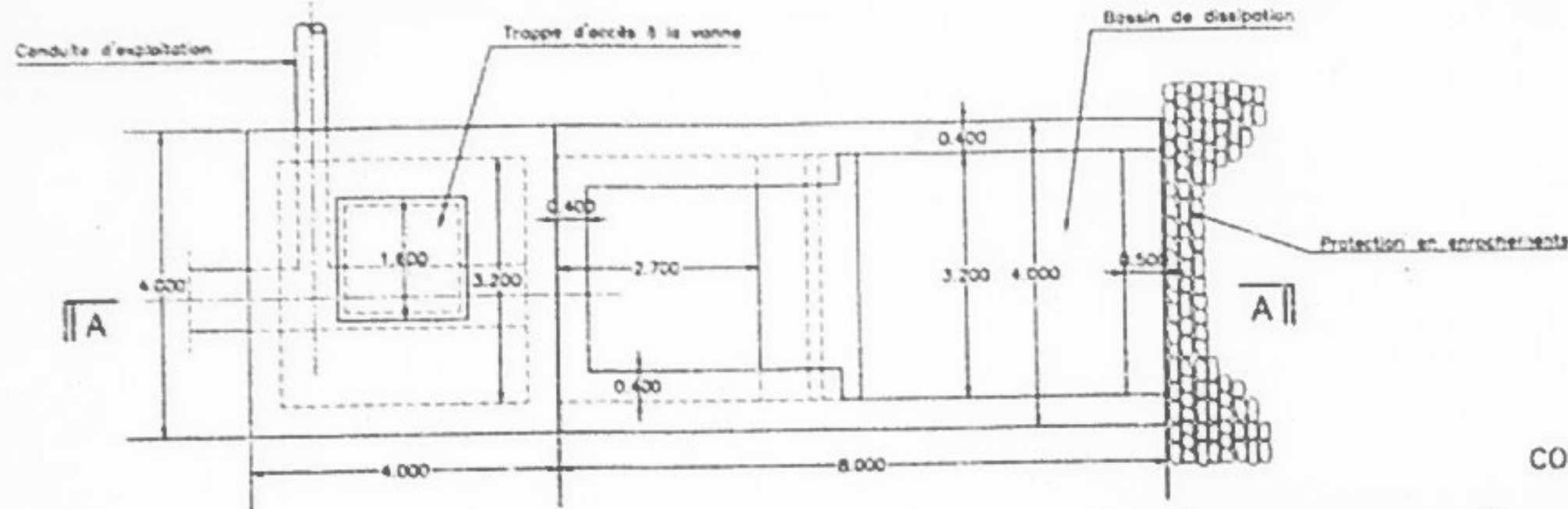
Date : 14/08/79 Ech : - Commandé par : F.B.S. Vérifié par : S.A. No. d' : 00



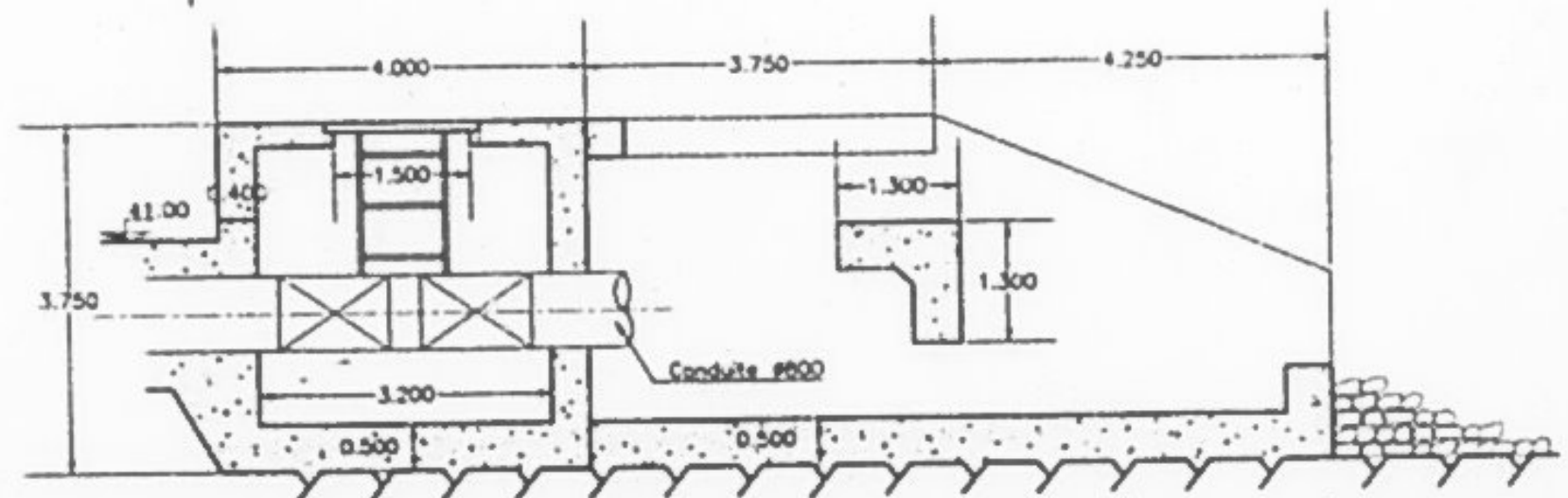
Plan n°
115-APS-16

OUVRAGE DE VIDANGE

VUE EN PLAN

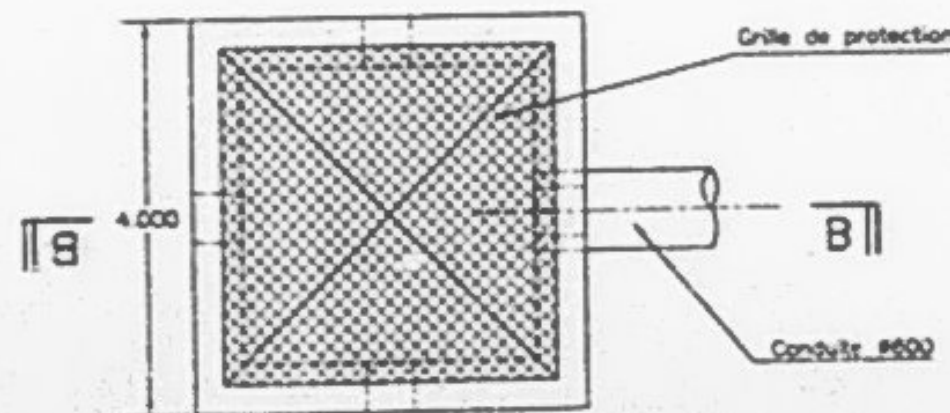


COUPE A-A

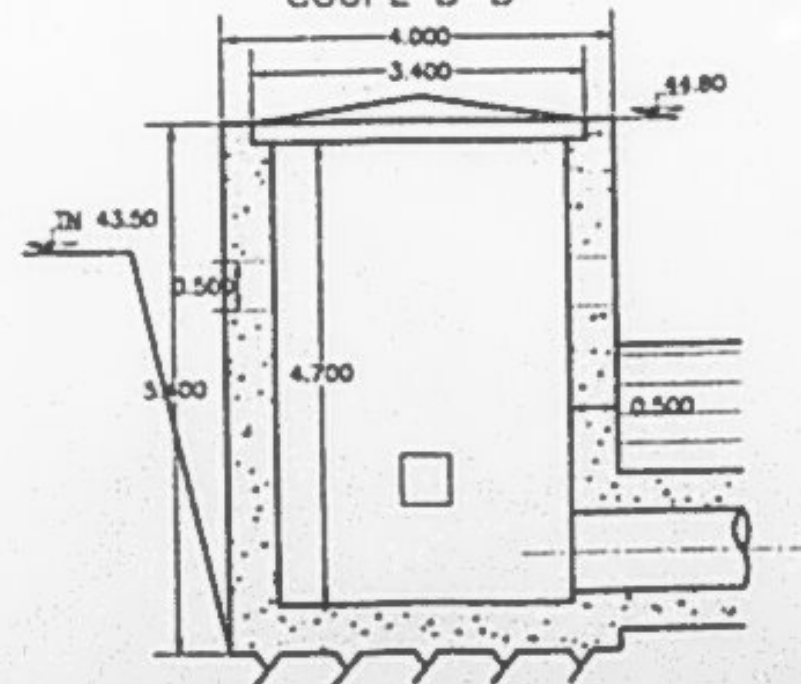


OUVRAGE DE PRISE

VUE EN PLAN



COUPE B-B

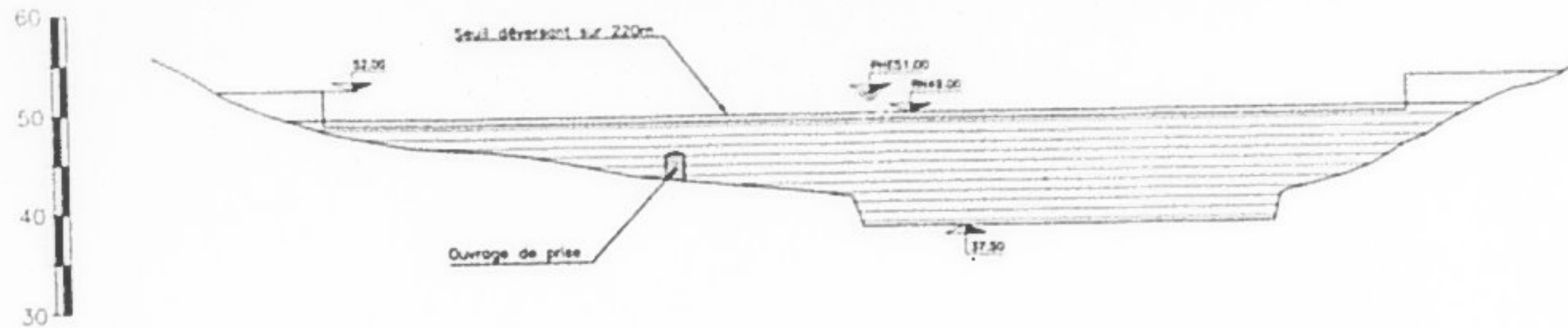


REPUBLIQUE TUNISIENNE MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE Direction Générale ETH			
BARRAGE SUR OUED CHAFROU			
AVANT PROJET SOMMAIRE VARIANTE REMBLAI DUR OUVRAGES – VUES EN PLAN ET COUPES			
Date : 14/05/99	Ech : -	Quotité par : F.B.S. Vérifié par : D.A.	Rev n° : 00
			Plan n° 115-APS-17

ELEVATION AMONT

RIVE GAUCHE

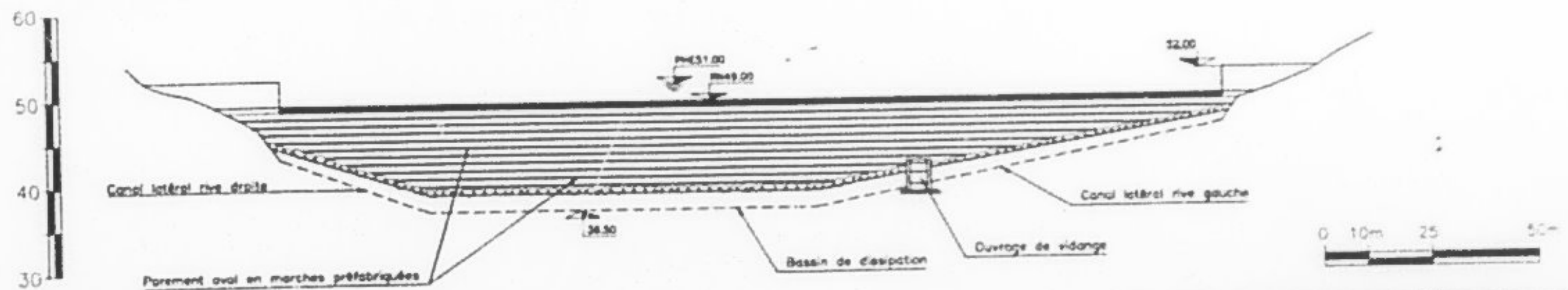
RIVE DROITE



ELEVATION AVAL

RIVE DROITE

RIVE GAUCHE



REPUBLIQUE TUNISIENNE
MINISTERE DE L'AGRICULTURE
Direction Générale ETH

BARRAGE SUR OUED CHAFROU

AVANT PROJET SOMMAIRE
VARIANTE REMBLAI DUR
ELEVATIONS

Date : 14/08/94	Ech : -	Commandé par : F.B.S. Travaux par : C.A.	Revue : 02
SIAA		ISL	
Plan n°			115-APS-18

FIN

132

VUES