

الجمهورية اللبنانية

مكتب وزير الدولة لشؤون التنمية الإدارية  
مركز مشاريع ودراسات القطاع العام

NO 1  
Min

Microfiche 20070

PROGRAMME DES NATIONS UNIES  
277 POUR LE DEVELOPPEMENT

F. A. O.

République Libanaise  
Bureau de Ministre d'Etat pour la Réforme Administrative  
Centre des Projets et des Etudes sur le Secteur Public  
(C.P.E.S.P.)

REPUBLIQUE LIBANAISE

MINISTRE DES RESSOURCES  
HYDRAULIQUES ET ELECTRIQUES



PROJET DE DEVELOPPEMENT HYDRO-AGRICOLE

PLANIFICATION HYDRAULIQUE DU LIBAN-NORD

BARRAGE DE ILAT

( Sur Nahr el Aarqa )

PROGRAMME DES NATIONS UNIES

POUR LE DEVELOPPEMENT

—  
F.A.O.

REPUBLIQUE LIBANAISE

—  
MINISTERE DES RESSOURCES  
HYDRAULIQUES ET ELECTRIQUES

PROJET DE DEVELOPPEMENT HYDRO-AGRICOLE

PLANIFICATION HYDRAULIQUE DU LIBAN-NORD

BARRAGE DE ILAT

(sur Nahr el Aarqa)

GC 09

Rapport

Beyrouth, octobre 1971

RESUME

Le site de barrage d'Ilât est situé sur le Nahr el Aarqa, à 1 km au Sud-Ouest du village d'Ilât et à 700 m environ à l'aval du confluent des Nahr el Maïyet et Houaïch.

La présente étude prévoit un barrage de 96 m de hauteur permettant l'accumulation de 30 millions de m<sup>3</sup> d'eau. Le remplissage de la retenue se ferait en partie par les apports naturels de la rivière, en partie par la dérivation des eaux du Nahr el Moussa. La réserve serait utilisée pour l'irrigation des terres, actuellement cultivées en sec, dans la plaine d'Akkar.

Les assises du barrage et la cuvette sont constituées par des terrains calcaires, marneux et dolomitiques d'âge cénomaniens. Une importante faille traverse la retenue et passe en rive gauche à 200 m environ de l'axe d'implantation du barrage. La campagne de reconnaissance géologique a démontré la nécessité de réalisation d'importants travaux pour assurer l'étanchéité de la cuvette.

Le barrage proprement dit serait constitué par une digue en enrochements avec un noyau étanche central. Le volume total du remblai serait de l'ordre de 1,6 millions de m<sup>3</sup>. Un évacuateur de crues de surface situé en rive gauche permettrait l'évacuation de la crue décennale estimée à 322 m<sup>3</sup>/s. La dérivation des eaux du Nahr el Moussa serait assurée par un ouvrage de prise et une galerie de 4,8 km de longueur.

Le coût de l'ensemble des ouvrages, estimé sur la base d'une série de prix d'ordre déterminée à partir des marchés conclus et réalisés au Liban et à l'étranger, s'élève à 50,5 millions de livres libanaises, soit environ 15,6 millions de U.S. \$. Le montant moyen des indemnités correspondant à l'achat d'eau dérivée du Nahr el Moussa pourrait atteindre 140.000 LL par an.

ABSTRACT

The dam site of Ilât is situated on the Nahr el Aarqa, at 1 km south-west of the village of Ilât and about 700 m downstream of the confluence of Nahr el Maïyet and Nahr Houaïch.

This study concerns a 96 m high dam allowing the storage of 30 million cubic meters of water. The reservoir is filled partly by the natural discharge of the river, partly by diversion of the water of Nahr el Moussa. The stored water will be used for the irrigation of land in the Akkar plain, which at present is under rainfed cultivation.

The site where both dam and reservoir will be located consists of limestone, marl and dolomite rocks of cenomanian age. An important fault crosses the reservoir and reaches its left bank at about 200 m distance from the axis of the dam. The geological reconnaissance survey has shown that it will be necessary to carry out important works in order to guarantee the water tightness of the reservoir.

The dam will be of the rockfill-type with central clay-core. Total volume of the dam will be about 1,6 million cubic meter. A spillway, allowing the evacuation of a flood with a return-period of ten-thousand years, estimated at 322 m<sup>3</sup>/s, is situated on the left river bank. An intake-structure and a tunnel of 4,8 km of length guarantee the diversion of water from the Nahr el Moussa.

Total construction-costs, estimated on the basis of several works constructed in Lebanon and abroad will be about 50,5 million Lebanese Pounds (U.S. \$ 15,6 million). Average indemnification costs, caused by the purchase of water taken from Nahr el Moussa, could amount up to 140.000 Lebanese Pounds annually.

SOMMAIRE

	<u>Pages</u>
Première partie : <u>Note de présentation</u>	
1.1 - Avant-propos .....	4
1.2 - Prospections, études et travaux antérieurs .....	5
1.3 - Vue générale sur le projet actuel .....	6
1.4 - Données naturelles .....	8
1.4.1 - Situation et accès .....	8
1.4.2 - Géologie .....	8
1.4.3 - Hydrologie .....	9
1.5 - Caractéristiques générales de l'aménagement .....	11
1.5.1 - Barrage et ouvrages annexes .....	11
1.5.2 - Ouvrages d'adduction .....	11
1.5.3 - Tableau récapitulatif .....	13
1.6 - Conception des ouvrages .....	14
1.6.1 - Barrage .....	14
1.6.2 - Voile d'étanchéité .....	14
1.6.3 - Dérivation provisoire .....	15
1.6.4 - Vidange de fond .....	16
1.6.5 - Prise d'eau .....	16
1.6.6 - Evacuateur de crues .....	16
1.6.7 - Barrage de prise .....	17
1.6.8 - Galerie d'adduction .....	17
1.6.9 - Autres travaux .....	18
1.7 - Schéma de fonctionnement .....	18
Deuxième partie : <u>Calculs hydrauliques</u>	
2.1 - Dérivation provisoire .....	23
2.2 - Vidange de fond .....	24
2.3 - Evacuateur de crues .....	24
2.4 - Galerie d'amenée .....	24

	<u>Pages</u>
Troisième partie : <u>Avant-métré sommaire</u>	
- Récapitulation des quantités .....	27
3.1 - Dérivation provisoire .....	28
3.2 - Vidange de fond .....	28
3.3 - Prise d'eau .....	29
3.4 - Evacuateur de crues .....	29
3.5 - Voile d'étanchéité .....	30
3.6 - Barrage .....	31
Quatrième partie : <u>Estimation des coûts</u>	
- Récapitulation des coûts par ouvrage .....	35
4.1 - Dérivation provisoire .....	36
4.2 - Vidange de fond .....	37
4.3 - Prise d'eau .....	38
4.4 - Evacuateur de crues .....	39
4.5 - Voile d'étanchéité .....	39
4.6 - Barrage .....	40
4.7 - Adduction Moussa-Aarqa .....	41
4.8 - Divers .....	41
4.9 - Expropriations .....	41
Figure :	
1 - Courbes caractéristiques de la retenue .....	21

- 3 -

Première partie :

Note de présentation

### 1.1 - Avant-propos

Le Projet de Développement Hydro-agricole a été créé avec le concours du Programme des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO).

Le Projet a été déclaré opérationnel en mars 1969, date qui marque le début officiel des travaux. Il est rattaché à la Direction Générale de l'Équipement du Ministère des Ressources Hydrauliques et Électriques.

Les objectifs assignés au Projet sont les suivants :

- 1) Investigations complémentaires (Hydrologie, Hydrogéologie, Pédologie).
- 2) Planification hydraulique du Nord du Liban.
- 3) Étude de factibilité pour l'irrigation de la plaine d'Akkar (10.000 ha environ).
- 4) Projet et exécution d'un secteur pilote de 300 ha.
- 5) Participation à l'exécution d'un périmètre de 800 ha.
- 6) Expérimentation et démonstration hydro-agricoles.
- 7) Études hydrogéologiques particulières.
- 8) Organisation et législation pour l'utilisation des eaux.
- 9) Démarrage d'une planification nationale de l'utilisation des eaux.

A la date d'édition du présent dossier, les principaux collaborateurs du Projet (ingénieurs ou assimilés) sont les suivants :

	<u>Experts de la F.A.O.</u>	<u>Ingénieurs du Gouvernement libanais et de contrepartie</u>
Direction	MM. J.P. Villaret	MM. N. Nahas
Agronomie	A. Marasovic	S. Bitar
Hydrologie	J.H. Visser A. Servais	C. Arab N. Naja
Génie civil	J. Soltès	A. Atallah
Hydrogéologie	G. Chapon A. Guerre	G. Makhoul
Irrigation	M. Mesny E. Kramer	S. Sibaï A. Mikati
Économie des exploitations	U. Grieb	
Économie générale	A. Odeurs M. Bral	G. Panayoti
Législation des eaux	-	A. Wakim

Le présent dossier entre dans le cadre des études de Planification Hydraulique du Liban Nord (Objectif N°2 du Projet) et constitue la neuvième publication dans le domaine du Génie Civil.

Ce rapport a été plus particulièrement préparé par M. J. SOLTES.

## 1.2 - Prospections, études et travaux antérieurs.

1.21 - Les études de l'aménagement hydraulique du Nahr el Aarqa ont commencé par les prospections effectuées de 1954 à 1956 par le Bureau of Reclamation du Département de l'Intérieur des Etats-Unis. Les résultats de ces prospections sont résumés dans le rapport sur le Bassin de l'Aarqa de septembre 1956. Un seul site de barrage possible y est mentionné : celui de Hantra (el Kantara) correspondant plutôt au site identifié plus tard sous la désignation de A I ou encore celle de Karm el Aasfour.

1.22 - Des prospections plus poussées démarrèrent à la fin de 1965 sous l'initiative de l'Office National du Litani, dans le cadre d'une recherche des sites dans le Nord du Liban. Le résultat en a été l'étude sommaire intitulée "Prospection des sites de barrage sur les Nahr el Bared, Aarqa et Ostouène" établie par MM. Levrat et Méouchy en février 1966. Cette étude a été précédée par une mission de M. Petiteville du 5 au 18 décembre 1965 (voir le "compte rendu" de cette mission) et suivie, en novembre 1966 d'un "Rapport géologique sur les sites de barrage du Liban-Nord" par M. A. Guerre de la Direction des Ressources Hydrauliques et Electriques.

Quatre sites possibles sur le Nahr el Aarqa sont mentionnés dans les rapports précédemment cités. Ils sont désignés, en partant de l'aval vers l'amont, par A I à A IV. Les volumes de la retenue vont de 8 à 40 hm<sup>3</sup> et les coûts respectifs sont estimés de 12,3 à 37,5 millions de livres libanaises.

1.23 - Les études de l'ONL ont été développées sur les sites les plus intéressants de A III et A IV par le Projet Leb 13 de la mission UNDP/FAO.

Sur les premières recommandations des consultants du Projet, MM. Barge et Petiteville, formulées dans leur "Rapport de mission" de mars 1969 concernant l'étude d'emplacements de barrages dans le Liban-Nord, une étude sommaire de barrage sur les sites A III et A IV (Ilôt aval et Ilôt amont) a été présentée en décembre 1969 par l'équipe de Génie Civil du Projet Leb 13, dans le cadre de l'"Etude préliminaire des ouvrages hydrauliques" du Liban-Nord (Publication GC 02 du Projet). Cette étude a été établie sur un fond topographique suffisamment détaillé (un levé au 1:1500) mais sans la connaissance plus approfondie des conditions géologiques et hydrologiques, les travaux correspondants sur le terrain n'étant pas encore suffisamment avancés.

On a conclu sur la possibilité de création d'une retenue de 40 hm<sup>3</sup> alimentée en partie par une galerie à partir du Nahr el Moussa et de construction d'un barrage en enrochements, sur les deux emplacements. Le coût total de l'aménagement a été estimé à 39 millions de LL. sous réserve de la révision du coût des travaux d'imperméabilisation du sous-sol.

1.24 - En Juillet 1970, une prospection systématique de sites de barrages dans le Liban-Nord fut entreprise par le Projet Leb 13 en collaboration avec le consultant du Projet en géologie de barrage, M. Petiteville. Tous les sites prospectés, au nombre de 36, sont caractérisés, surtout du point de vue géologique, dans le rapport correspondant de mission (SOFRELEC - Paris).

Sur le Nahr el Aarqa la recherche de sites favorables a porté sur 10 emplacements, à savoir : Tallet Aarqa, Karm el Aasfour (A I), El Kantara (A II), Arm ed Dine, Ilât aval (A III), Ilât amont (A IV), el Houaïch, Gebrayel, Beit Mellat aval et Beit Mellat amont.

Outre les sites d'Ilât (aval et amont), seul le site de Karm el Aasfour (A I) a été retenu comme ayant quelque intérêt de réalisation. Il ne présente pas d'aléas du point de vue géologique mais la retenue trop modeste (5,1 hm<sup>3</sup>) par rapport à un ouvrage assez important (de 61 m de hauteur) rendrait sa réalisation peu rentable. Il pourrait cependant être pris en considération dans le cas où un volume d'eau du même ordre suffirait pour permettre la mise en valeur de la totalité des terres irrigables dans la plaine d'Akkar parallèlement à l'exploitation des réserves souterraines (d'el Kantara et dans la plaine).

1.25 - Les derniers documents ayant traité à l'aménagement hydraulique du Nahr el Aarqa qui ont été établis et publiés récemment par le Projet Leb 13 sont les suivants :

- Etude géologique du site de barrage d'Ilât (publication HG 13 du 5 janvier 1970). Un résumé succinct de cette étude est donné dans le paragraphe 1.4.2 de ce rapport.

- Etude des crues des fleuves du Liban-Nord (Publication AE 06 de juillet 1971). Les principaux résultats concernant le site d'Ilât sont présentés sous le paragraphe 1.4.3 de ce rapport.

- Projet d'irrigation de Koura-Zgharta. Etude de factibilité - Annexe 2 : Les ressources en eau (juillet 1971).

Notons encore que le site de barrage a été l'objet de visites des consultants du projet à plusieurs reprises, en 1970 et 1971 (cf. les rapports des missions du 12 au 23 janvier 1970, du 21 au 27 juin 1970 et du 8 au 19 mars 1971).

### 1.3 - Vue générale sur le projet actuel

Le but du présent projet est l'évaluation des études et travaux exécutés jusqu'à présent en vue de donner une idée sur l'intérêt d'une réalisation éventuelle de l'aménagement et de son coût de premier investissement. Cette évaluation servirait à déterminer l'ordre de priorité par rapport aux autres ouvrages analogues prospectés et étudiés dans le Liban-Nord.

Etant donné les principales conclusions du rapport géologique concernant l'importance des travaux de l'imperméabilisation du sous-sol à envisager sans être en mesure de garantir l'étanchéité de la retenue, même après la réalisation de ces travaux, on n'a pas jugé nécessaire d'entrer dans tous les détails de la conception et de l'estimation du coût des ouvrages, comme c'est le cas pour les autres dossiers de barrage du Liban-Nord. L'étude s'arrête donc à un certain niveau de détail permettant l'évaluation technico-économique des principaux éléments de l'aménagement.

Le site étudié est celui de Ilât aval (A III). Pour des raisons géologiques, dont on parlera plus loin, on a renoncé à l'étude plus poussée du site amont (A IV)

et on s'est limité à étudier le site aval sur lequel les travaux de reconnaissance ont été exécutés.

Sur le site aval deux variantes pourraient être étudiées et comparées :

- le barrage poids en béton,
- le barrage en enrochements.

Il est difficile de décider a priori laquelle de ces deux variantes serait la plus économique. Le barrage en béton permet de résoudre plus facilement les problèmes de la dérivation provisoire et de l'évacuation de crues. Par contre, le corps du barrage proprement dit revient, en général, plus cher par rapport à un ouvrage en enrochements de la même hauteur. Tenant compte de ce que le coût du voile d'injection et de la galerie d'amenée reste inchangé pour les deux variantes et que celui-ci fait à peu près 50 % du coût total de l'aménagement, nous estimons que la différence serait insignifiante pour le bilan économique de l'ensemble. Aussi, présentons-nous dans ce dossier la variante en enrochements déjà étudiée antérieurement.

Tenant compte des besoins en eau réels dans la plaine d'Akkar, le barrage a été étudié pour permettre l'accumulation d'une réserve totale de 30 hm<sup>3</sup>, soit - avec une tranche morte de 4 hm<sup>3</sup> - d'un volume utile de 26 hm<sup>3</sup>. Dans une année moyenne, ce volume pourrait être assuré en partie par les apports du Nahr el Aarqa (20 hm<sup>3</sup>), en partie il devrait être dérivé du Nahr el Moussa par une galerie de 4,77 km. La part du volume dérivé augmenterait pendant les années sèches, de même que le montant des indemnités de la Société concessionnaire d'el Bared qui exploite actuellement ce cours d'eau. On a donc une raison de plus pour ne pas exagérer le volume de la retenue et la taille du barrage de Ilât, même si les conditions topographiques et géologiques du site le permettaient.

L'aménagement comprendra donc les ouvrages suivants :

Sur le Nahr el Aarqa :

- un barrage en enrochements avec le noyau étanche central,
- une galerie de dérivation provisoire, aménagée à la fin des travaux en vidange de fond,
- une prise d'eau dans la retenue,
- un évacuateur de crues avec un seuil déversant libre, un canal d'évacuation à l'air libre et une cuvette de réception dans le fond de la vallée.

Sur le Nahr el Moussa :

- un barrage de prise en béton,
- une galerie reliant le Nahr el Moussa avec le Nahr el Houaïch, affluent rive gauche du Nahr el Aarqa.

#### 1.4 - Données naturelles

##### 1.4.1 - Situation et accès

Le site de barrage d'Ilât est situé sur le Nahr el Aarqa, à 1 km au Sud-Ouest du village d'Ilât et à environ 700 m à l'aval du confluent du Nahr el Maïyet et du Nahr el Houaïch.

Les coordonnées Lambert du site, d'après la carte au 1:20.000 de Halba, sont les suivantes :

X = 185,180  
Y = 285,340  
Z = 264,00 (cote du lit de la rivière).

D'après le levé stéréophotographique au 1:1000, qui a servi de fond topographique pour le plan d'ensemble des ouvrages, l'intersection de l'axe du barrage avec le lit de la rivière est donnée en coordonnées stéréographiques par :

X = - 280.026  
Y = + 38.713

L'axe est sensiblement perpendiculaire aux courbes de niveau des deux rives.

Dans les études antérieures, ce site est désigné sous le nom de "Aarqa III" ou encore celui de "Ilât aval". Il sera désormais appelé "Ilât".

Actuellement, l'accès du site est un peu difficile. Une bonne route reliant Halba et Gebrayel permet d'approcher le village d'Ilât à 1,2 km environ. Un chemin non revêtu mène jusqu'au village. Pour se rendre au site, on peut ensuite prendre une piste carrossable de 1,4 km de longueur, aménagée récemment pour permettre le transport du matériel de forage.

La réalisation du barrage nécessiterait donc l'aménagement ou la construction d'une route d'accès d'une longueur totale de 2,6 km environ.

##### 1.4.2 - Géologie

Les conditions géologiques du site ont été examinées attentivement au cours d'une campagne de reconnaissance qui comprenait la mise au point de levés géologiques de surface (au 1:20.000 pour la zone de la galerie d'amenée, au 1:10.000 pour la cuvette et au 1:1.500 pour le site de barrage proprement dit) et les travaux de reconnaissance par forages et galerie. Ces travaux totalisaient 1.044 m de forages (4 forages sur le site et 1 forage sur le tracé de la galerie) et 165 m de galerie. Ils ont été exécutés par la Société NIKEX entre les mois de novembre 1969 et décembre 1970.

Les résultats de la campagne de reconnaissance sont exposés en détail dans le dossier HG 13 du Projet, intitulé : "Etude géologique du site de barrage d'Ilât" du 5 janvier 1971. Ici, nous ne donnons que le bref aperçu des principales conclusions ayant trait à la conception technique des ouvrages.

1.4.2.1 - Le barrage s'appuierait sur le flanc d'un anticlinal dont les couches présentent un pendage amont et qui sont formées essentiellement par des calcaires, calcaires marneux, marno-calcaires et marnes sableuses dolomitiques d'âge cénomaniens moyen. Les dépôts quaternaires observables au site de barrage sont très réduits. L'épaisseur des alluvions et des éboulis à la base des versants n'atteint, en effet, que 1 à 2 m en moyenne. L'absence des signes de karstification, la régularité des couches et l'aspect massif de l'ensemble donnent à penser que les appuis du barrage ne poseraient aucun problème de stabilité.

1.4.2.2 - La cuvette est constituée par des terrains calcaires et dolomitiques fissurés et fracturés du Cénomaniens, donc perméables. Ces couches reposent sur le complexe volcanique de l'Aptien supérieur. Les terrains sont, en plus, affectés par une série d'accidents tectoniques dont le plus important, la faille d'Ilât, suit, à l'amont du site, le lit de la rivière. Elle passe ensuite en rive gauche, parallèlement à l'axe du barrage à 200 m environ à l'amont de celui-ci. Tandis qu'en dehors de la zone broyée le niveau imperméable se trouve dans des profondeurs acceptables pour un voile d'injection (entre 50 et 150 m), on ne peut pas espérer l'atteindre, à l'intérieur de cette zone. Elle restera donc une voie préférentielle des fuites possibles vers le Nahr Chêne et malgré la diminution des pertes par l'augmentation de cheminement des eaux infiltrées au-dessous de l'écran réalisé, le succès total ne peut pas être garanti.

1.4.2.3 - La galerie d'aménée Moussa-Aarqa traverserait, en principe, sur toute sa longueur les calcaires du Jurassique dont les couches se présentent avec des pendages très faibles. Une zone broyée de 20 à 30 m de longueur serait rencontrée au passage de la faille principale.

1.4.2.4 - Pour ce qui est du site de barrage amont (A IV), il a été éliminé pour les raisons suivantes :

- L'ouvrage prévu chevaucherait la faille ce qui pourrait provoquer des tassements différentiels et des désordres de structure qui en découleraient.

- Le volume des déblais, qui devraient être exécutés pour trouver un appui correct du barrage, contrebalancerait en partie l'avantage de la configuration topographique plus favorable du terrain naturel.

- Le problème des fuites à travers la zone broyée reste le même que pour le site aval.

### 1.4.3 - Hydrologie

#### 1.4.3.1 - Apports moyens

Les études hydrologiques basées sur les mesures des débits et des précipitations effectuées jusqu'à présent et sur le traitement des données disponibles par des méthodes statistiques ont permis de déterminer les valeurs moyennes des apports du Nahr Aarqa au droit du site de barrage (station Ilât) et du Nahr el Moussa à 1,6 km environ à l'aval du site de barrage de prise (station Michmich). Ces valeurs sont données dans le tableau ci-après :

./.

Tableau 1

Rivière	Aarqa	El Moussa	
Station de jaugeage	Ilât	Michmich	
Superficie du bassin versant (km <sup>2</sup> )	75	161	
Apports mensuels moyens en hm <sup>3</sup>	Janv.	5,3	9,7
	Février	4,7	11,9
	Mars	4,9	19,7
	Avril	3,8	19,8
	Mai	2,6	15,5
	Juin	0,7	7,9
	Juillet	0,4	5,7
	Août	0,4	4,4
	Sept.	0,4	3,4
	Oct.	0,8	3,9
	Nov.	0,7	3,5
Déc.	1,8	8,4	
Apport moyen annuel corrigé (hm <sup>3</sup> )	20	85	

1.4.3.2 - Débits de crues

L'étude du Projet Leb 13 sur les crues des fleuves du Liban Nord (publication AE 06 de juillet 1971) donne pour la station de jaugeage d'Ilât sur le Nahr el Aarqa les débits de pointe des crues, d'une probabilité de retour déterminée suivants :

Tableau 2

Probabilité de retour	10 ans	100 ans	1.000 ans	10.000 ans
Débit de pointe m <sup>3</sup> /s	116	180	259	322

Le débit de pointe effectivement observé à la station de Halba-Hakour à 5 km à l'aval du site est de 130 m<sup>3</sup>/sec pour une période d'observation s'étendant sur 14 années.

## 1.5 - Caractéristiques générales de l'aménagement

### 1.5.1 - Barrage et ouvrages annexes (plans 2 et 3).

Les raisons qui ont fait porter le choix du type de barrage sur une digue en enrochements sont surtout les suivantes :

- la disponibilité des matériaux de construction,
- la facilité de construction,
- le coût avantageux de l'ouvrage de ce type.

Une variante en béton pourrait cependant être compétitive. Elle n'a pas été étudiée pour des raisons exposées au chapitre 1.3.

L'option a été faite pour une digue à noyau central qui donne le minimum de remblai. La division des travaux de mise en place des enrochements en deux parties sensiblement égales ne constitue pas, dans les conditions climatiques du pays, un inconvénient. Les solutions avec un masque amont en béton de ciment ou bitumineux ont été écartées pour leurs coûts trop élevés et, vu la hauteur du barrage, également pour des raisons de sécurité surtout en ce qui concerne la seconde solution.

La hauteur de la digue a été fixée à 96 m pour permettre d'accumuler un volume de 30 hm<sup>3</sup> qui suffirait, d'après les estimations actuelles, à satisfaire tous les besoins agricoles de la plaine d'Akkar.

Quant à l'évacuateur de crue, la priorité a été donnée à un évacuateur de surface, quoique la variante d'un évacuateur souterrain (type tulipe) soit également possible. Celle-ci a été étudiée antérieurement (cf. GC 02) et, bien que d'un coût un peu plus bas, elle n'offre pas la même garantie de sécurité de fonctionnement, une fois le débit de pointe de projet dépassé. Or ce débit ayant été estimé sur la base d'une série d'observations relativement courte, on ne le connaît pour l'instant qu'avec une approximation correspondante et la prudence donc s'impose.

### 1.5.2 - Ouvrages d'adduction

On pourrait déterminer la taille du barrage en fonction des apports disponibles de la rivière et calculer la surface irrigable à partir de la retenue correspondante. Dans ce cas, l'ouvrage deviendrait cependant peu rentable étant donné que, par exemple pour un volume d'eau de 20 hm<sup>3</sup> il faudrait encore un barrage de 86 m de hauteur. Aussi a-t-on décidé d'étudier le barrage permettant de satisfaire le maximum des besoins connus à ce jour et d'envisager une dérivation d'un volume d'eau supplémentaire à partir du Nahr el Moussa par une galerie de 4,77 km.

Cette solution implique néanmoins la dérivation d'un volume d'eau turbinable à l'usine de Bared I de la Société concessionnaire d'el Bared. La fraction que ce volume représente par rapport au volume total dérivé varie d'une année à l'autre. Seule une étude poussée de gestion hydraulique du réservoir d'Ilât pourrait donner une idée exacte sur les volumes dont l'usine serait privée et du montant des indemnités qui devrait lui être versé. En première approximation, on pourrait admettre que tout le volume dérivé, soit 10 hm<sup>3</sup> en moyenne, est turbinable. Dans ce cas

la perte de production moyenne serait de :

$$10 \times 0,325 = 3,25 \text{ GWh/an}$$

et le montant de l'indemnisation s'élèverait à :

$$3,25 \times 0,0425 \times 10^6 = 138.000 \text{ LL/an}$$

En réalité, les volumes turbinables seront inférieurs aux volumes dérivés et les indemnisations seront, elles-mêmes également moins élevées.

Le tableau suivant résume les principales caractéristiques des ouvrages telles qu'elles ont été prévues dans la présente étude.

On trouvera, par ailleurs, la description détaillée des ouvrages au chapitre 1.6.

1.5.3 - Caractéristiques de l'aménagement d'Ilât.

Tableau 3

Caractéristique		Unité	Valeur
Retenue	Cote de la retenue normale (R.N.)	-	356,00
	Cote des plus hautes eaux (P.H.E.)	-	357,50
	Volume total	hm3	30,0
	Volume utile	hm3	26,0
	Tranche morte	hm3	4,0
	Surface submergée sous R.N.	ha	112,0
Barrage	Cote du couronnement	-	360,00
	Hauteur hors sol	m	96,0
	Longueur en crête	m	300,0
	Volume des remblais	hm3	1,57
Ouvrages Annexes	Capacité de l'évacuateur de crues sous P.H.E.	m3/s	322
	Capacité de la vidange de fond sous P.H.E.	m3/s	87
	Capacité de la dérivation provisoire sous 291,40	m3/s	143
	Cote de la prise d'eau (P.B.E.)	-	315,00
	Volume des bétons	m3	41.780
Adduction Moussa-Aarqa	Cote de la R.N. à la prise	-	500,00
	Longueur de la galerie	m	4.770
	Capacité de débit de la galerie	m3/s	21,2
	Volume des bétons	m3	env.32.000
Coûts en LL.	Barrage		17.849.000
	Voile d'étanchéité		16.247.000
	Ouvrages annexes		6.338.000
	Adduction Moussa-Aarqa		8.732.000
	Divers		704.000
	Expropriations		660.000
	Aménagement complet		50.530.000

## 1.6 - Conception des ouvrages

### 1.6.1 - Barrage

Le profil caractéristique du barrage est dessiné sur le plan N°3. Les pentes des versants amont et aval de 1,5 : 1 sont justifiées par la bonne tenue des assises et la qualité des enrochements constituant les recharges. Les risbermes, deux de 3,0 m à l'aval et une de 5,0 m à l'amont, sont destinées à améliorer la stabilité et à faciliter le réglage des enrochements à la surface. La pente du pied aval au-dessous de la cote 290,00 est adoucie à 1,8 : 1 pour tenir compte des caractéristiques mécaniques des formations géologiques affleurant à cet endroit (marnes sableuses dolomitiques et dolomies).

Les enrochements proviendront en plus grande partie d'une carrière qui pourrait être ouverte à proximité immédiate du site aussi bien en rive droite qu'en rive gauche. Une petite partie des recharges (env. 90.000 m<sup>3</sup>) pourrait être constituée par les enrochements en provenance des fouilles, notamment de celles de l'évacuateur de crues. L'eau pour arrosage des enrochements à raison d'environ 600 l/m<sup>3</sup> de remblai serait pompée dans la rivière même, étant donné qu'un faible débit subsiste pendant toute la période d'été.

Le noyau central assure un gradient hydraulique inférieur à 2,8 ce qui pourrait correspondre même à l'utilisation des matériaux de qualité médiocre. Les terres à noyau devront être recherchées soit à 2 km au Sud du site dans les argiles et cinérites de l'Aptien supérieur, soit à 2 km environ au Nord dans les dépôts mio-pliocènes. Aucune reconnaissance détaillée de ces matériaux n'a toutefois été faite jusqu'à présent.

Les filtres peuvent être confectionnés soit par concassage des calcaires, soit par triage des alluvions qui se trouvent à environ 3 km à l'amont du site près de Gebrayel. Ces dernières peuvent également fournir de bons matériaux pour la fabrication des bétons. Les volumes et la granulométrie des alluvions sont encore mal connus.

L'emplacement exact de la digue a été étudié pour obtenir le volume minimum des remblais tout en restant en amont au maximum afin d'éviter dans la mesure du possible l'empiètement, par le pied aval, des formations géologiques moins résistantes.

### 1.6.2 - Voile d'étanchéité (plan 4).

Dans le cas du barrage d'Ilât, les travaux d'imperméabilisation du sol de fondation constituent l'élément le plus important du coût de l'aménagement. Aussi a-t-on consacré à la détermination de la perméabilité du bed-rock et à l'estimation du volume des travaux à exécuter une part importante des moyens disponibles pour cette étude.

Malgré l'importance des travaux de reconnaissance réalisés (4 forages de 550 m de longueur totale et une galerie de 165 m), un doute subsiste sur l'efficacité absolue des mesures d'imperméabilisation prévues. Ce doute ne pourrait être levé qu'après la mise en eau partielle ou totale de la retenue. Les fuites éventuelles pourraient alors être jugées admissibles, ou bien on pourrait décider de les limiter

en poursuivant les travaux d'imperméabilisation des fondations après la vidange de la retenue.

Pour permettre l'exécution de ces travaux complémentaires, une galerie d'injection et de contrôle doit être prévue sous le noyau de la digue. La galerie de la rive gauche est nécessaire également pour une autre raison, à savoir la possibilité d'exécution d'un voile d'une profondeur de 150 m ou plus. La galerie d'injection rive droite est prévue seulement pour des raisons économiques étant donné que le voile de l'efficacité comparable exécuté à partir du terrain naturel devrait être plus long de 150 m environ.

Sur la base des travaux géologiques réalisés on estime que la surface totale du voile prévue (de 120.000 m<sup>2</sup> environ) devrait réduire les pertes d'eau à un niveau acceptable et compatible avec les impératifs de la gestion du réservoir. L'absorption du coulis de ciment prise en considération pour l'estimation du coût est celle qui a été atteinte dans des conditions semblables lors des travaux du barrage de Karaoun, soit 150 kg/m<sup>2</sup> du voile.

Un traitement de surface du rocher de fondation sera de plus réalisé sous l'emprise du noyau.

### 1.6.3 - Dérivation provisoire (plans 2 et 3)

La dérivation provisoire doit remplir deux fonctions :

- évacuer les eaux d'étiage (juin-novembre),
- protéger le chantier contre la submersion par les crues d'hiver (décembre-mai).

En adaptant le programme des travaux aux variations saisonnières de débit on peut concevoir une solution économique de ce problème. On construira un batardeau de faible hauteur permettant d'évacuer un débit de 15 m<sup>3</sup>/s assurant la protection suffisante du chantier pendant la période d'étiage. Pendant ce temps, les travaux de fondation et de mise en place de la digue principale avanceront jusqu'à la cote 292,00 sous laquelle la galerie de 3,5 m de diamètre est capable d'évacuer un débit de 143 m<sup>3</sup>/s correspondant à la crue de 25 ans.

Le volume du remblai à mettre en place, pendant cette période, est de l'ordre de 300.000 m<sup>3</sup>, soit de 2000 m<sup>3</sup>/jour, ce qui est réalisable.

Dans le cas où l'adaptation du programme de travail ne serait pas possible, un batardeau amont d'une vingtaine de mètres de hauteur serait nécessaire. Il assurerait la pleine protection du chantier pendant toute la durée des travaux.

Les infiltrations éventuelles à l'aval du batardeau seraient évacuées par pompage.

Une submersion du chantier par l'aval n'étant pas à craindre on peut renoncer à la construction du batardeau aval.

#### 1.6.4 - Vidange de fond (plans 2 et 3)

La vidange de fond sera aménagée dans la galerie de dérivation provisoire à l'aval du voile d'étanchéité. Le tronçon entre le voile et la sortie sera blindé sur une longueur d'environ 45 m. Le réglage de débit sera obtenu à travers un puits rectangulaire de 1,5 x 2,0 m par deux vannes chenilles montées en série à 5,5 m de distance. Les vannes seront commandées par des servo-moteurs à partir d'une chambre de manoeuvre souterraine dont le plancher est prévu à la cote 280,00. Les travaux seront exécutés pendant la période sèche de la dernière année de construction. Un by-pass, aménagé dans le radier, doit être prévu à cet effet.

L'accès à la chambre des vannes se fera par une galerie longue de 130 m depuis le pied aval du barrage. Pour économiser sur 80 m de dénivellation le développement d'un chemin d'accès à l'entrée de la galerie, celle-ci communiquera avec la crête du barrage par une rampe et un escalier fortement inclinés et aménagés dans le flanc rive droite de la vallée.

Dans la galerie d'accès, un compartiment sera réservé à l'évacuation des eaux infiltrées (y compris celles de la galerie d'injection), un autre servira de reniflard pour la vidange de fond.

#### 1.6.5 - Prise d'eau.

Normalement, les prélèvements d'eau pour les irrigations pourraient se faire par la vidange de fond, le périmètre d'irrigation étant situé beaucoup plus à l'aval (au-dessous de la cote 100,00 environ). Pour le cas où les dépôts solides viendraient boucher temporairement l'entrée de la galerie, un autre dispositif de prélèvement devrait le remplacer. Celui-ci sera constitué par un ouvrage de prise avec le seuil d'entrée à la cote 315,00 protégé par une grille. Un puits vertical de 2,0 m de diamètre descendra jusqu'à la galerie et rejoindra une conduite en béton de 1,0 m de diamètre accolée à la galerie de la vidange de fond. La conduite débouchera à l'aval des vannes de la vidange de fond et le débit sera déversé dans la galerie, puis dans le lit de la rivière. Le réglage de débit se fera par deux vannes-papillon desservies depuis la chambre des vannes souterraine.

#### 1.6.6 - Evacuateur de crues.

Pour les raisons expliquées au chapitre 1.5.1 on a préféré l'évacuateur de surface à un évacuateur souterrain.

La configuration du terrain s'y prêtant mieux, l'ouvrage a été situé en rive gauche. Il consiste en un seuil déversant libre de 90 m de longueur, un canal de réception et un canal d'évacuation terminé en saut de ski. La largeur du canal est de 12 m, sa pente varie avec le terrain.

Dans sa partie médiane, l'ouvrage est très encaissé; vers l'aval, le coursier suit d'assez près le terrain naturel. Le volume des déblais sera assez important, mais les matériaux rocheux pourront être utilisés pour les recharges de la digue.

Les eaux déversées seront captées dans une cuvette de réception et, après un amortissement partiel de leur énergie, elles s'écouleront vers l'aval dans le lit naturel de la rivière. La présence des éboulis aux pieds des deux versants et des

- 17 -

affleurements des roches plus tendres dans le lit, nécessitera une étude minutieuse des protections. Seuls des essais sur modèle réduit pourront définitivement en déterminer la nature et l'ampleur. La solution présentée prévoit, à l'endroit de l'impact de la lame, une protection en béton sur une hauteur de 10 m au-dessus du lit de la rivière. A l'aval, les berges peuvent être protégées par un revêtement souple en enrochements ou gabions.

La longueur du seuil est déterminée à partir de la condition que la crue décennale de 322 m<sup>3</sup>/s est évacuée sous une charge de 1,5 m, c'est-à-dire avec une revanche de 2,5 m par rapport à la crête du barrage.

#### 1.6.7 - Barrage de prise sur el Moussa.

L'ouvrage serait situé à quelques 200 m à l'aval du confluent des ouadis Michnich et Ghannam, près de l'endroit appelé el Qarn (voir carte au 1:20.000). L'accès en est maintenant difficile, une piste de 3,4 km de longueur pourrait cependant être aménagée ultérieurement à partir de la route reliant les villages Berqâyel et Hrâr.

Il s'agit d'un barrage en béton de faible hauteur dont la crête, aménagée en seuil déversant, est arasée à la cote 500,00. Deux pertuis de 2,0 x 2,0 m fermés par des vannes plates et situés du côté de l'entrée de la galerie permettront d'effectuer les chasses afin d'évacuer les dépôts solides et de régulariser éventuellement les prélèvements pour les utilisateurs aval.

Au droit de la prise, le fond de la vallée est rempli d'alluvions et d'éboulements sur une épaisseur inconnue. La rive gauche est recouverte par des éboulements de gros blocs qui peuvent enfermer de nombreux vides ou remplissages terreux. La rive droite est constituée par une falaise de calcaire tombant à pic dans le lit de la rivière. Les travaux de fondation de cet ouvrage seront donc difficiles. Les gros blocs d'éboulis et d'alluvions pouvant constituer un obstacle à la stabilité et à l'étanchéité de l'ouvrage, on a prévu d'atteindre le rocher compact par deux tranchées de 4 m de largeur remplies de béton. Le corps du barrage en béton massif d'une dizaine de mètres de hauteur viendrait s'appuyer sur ces supports isolés. L'étanchéité de la cuvette dont la superficie est très limitée pourrait être améliorée par un revêtement étanche.

Un autre emplacement, situé à 1,6 km en aval, à proximité du village de Qabaaït a été abandonné, car la prolongation de la galerie d'environ 1,1 km ne serait pas contrebalancée par l'avantage de meilleures conditions de fondation qu'il offre.

#### 1.6.8 - Galerie d'amenée Moussa-Aarqa.

Avec une pente d'environ 3,5 m sur 1 km et une section revêtue en fer à cheval de 2,6 m de diamètre, la galerie peut transiter un débit maximum de 21,2 m<sup>3</sup>/s en écoulement libre. La vitesse d'écoulement est de l'ordre de 3,9 m/s.

Contre la pénétration de matériaux alluvionnaires charriés par la rivière, l'entrée de la galerie sera protégée par une basse digue parallèle au lit. Une grille métallique empêchera les corps flottants d'entrer dans la galerie. Une vanne-batardeau est prévue également pour permettre les révisions ou réparations urgentes

mais exceptionnelles pendant la période d'écoulement des hautes eaux.

Un revêtement en béton du lit de la rivière à l'aval de la sortie de la galerie sera nécessaire sur les tronçons perméables où les pertes risqueraient de se produire aussi bien qu'aux endroits d'affleurements des terrains tendres, afin d'éviter les affouillements du lit et les éboulements des berges.

Un levé topographique exact des zones à l'entrée et à la sortie de la galerie s'impose pour déterminer la longueur exacte de la galerie.

#### 1.6.9 - Travaux divers.

On ne prévoit pas de travaux importants en dehors de ceux qui ont été déjà mentionnés. Avec la retenue à la cote 356,00 on évitera même la déviation de la route Halba-Gebrayel. Seul le pont routier de faible portée devrait probablement être reconstruit, si sa cote exacte est inférieure au niveau des plus hautes eaux de la retenue. Une ligne électrique traversant la retenue est à dévier sur une longueur d'environ 300 m et l'approvisionnement du chantier en eau et électricité doit être assuré.

Les submersions sont peu importantes et concernent principalement quelques dizaines d'ha de cultures dans le fond de la vallée.

#### 1.7 - Schéma de fonctionnement

Comme on l'a déjà dit plus haut, la retenue créée par le barrage a une destination agricole. Elle est prévue pour alimenter le réseau d'irrigation de quelques 8.800 ha dans la plaine d'Akkar (dont 1.522 ha irrigués actuellement d'une façon intensive et 3.500 ha au printemps). Les superficies nouvellement aménagées ou améliorées doivent être desservies en partie par les eaux de surface, en partie par les eaux souterraines.

Plusieurs hypothèses de répartition de volumes respectifs prélevés peuvent être envisagées suivant les résultats d'estimation des réserves disponibles des eaux souterraines, des pénuries admissibles, de l'efficacité du réseau, des superficies mises en valeur, etc...

L'hypothèse la plus pessimiste conduit à assurer par un barrage une réserve de 29,8 hm<sup>3</sup> dans une année sèche.

Une autre hypothèse extrême ne prévoit aucun barrage, mais seulement l'exploitation intensive des eaux de surface disponibles pendant la période d'étiage et des réserves souterraines dans la plaine, aussi bien que celles qui pourraient être captées et pompées dans la nappe souterraine d'El Qantara (voir à ce sujet la Publication du Projet Leb 13 HG 20).

Les solutions intermédiaires peuvent être obtenues soit en réduisant les superficies irriguées, soit en améliorant l'efficacité du réseau actuel, soit enfin en prévoyant une retenue d'un volume correspondant aux besoins, mais inférieur à 29,8 hm<sup>3</sup>.

Etant donné que la rentabilité du barrage augmente avec le volume de la retenue l'aménagement est étudié pour le volume nécessaire maximal.

Le réservoir se remplirait avec les apports d'hiver de l'Aarqa et avec une partie des apports du Nahr el Moussa dérivés vers la retenue par la galerie Moussa-Aarqa.

Les prélèvements se feraient pendant la saison d'irrigation suivant les besoins. Le volume utile de 26 hm<sup>3</sup> peut être prélevé par la prise d'eau dans la retenue pendant les premières années d'exploitation, le reste, soit 4 hm<sup>3</sup>, sera cependant disponible dans sa totalité. Il sera récupérable par la vidange de fond. Plus tard, avec la progression des envasements, ce volume diminuera.

Malgré sa destination essentiellement agricole, la retenue pourrait également assurer une exploitation énergétique. Celle-ci deviendrait plus intéressante si l'on pouvait compter sur la dérivation de la totalité du débit du Nahr el Moussa.

Trois variantes d'emplacement de l'usine sont possibles :

- a) usine souterraine située au pied aval du barrage, à la cote 234,00.
- b) usine à l'air libre sur le Nahr Ostouène près de Machha, à la cote 120,00.
- c) usine à l'air libre sur le Nahr Ostouène près de Kouchâ, à la cote 100,00.

Dans l'hypothèse d'un volume maximum turbinable de 20 + 85 = 105 hm<sup>3</sup> pendant une année moyenne, les caractéristiques approximatives de ces usines seraient les suivantes :

Tableau 4

Variante	Chute brute moyenne H (m)	Longueur (m)		Débit équipé e (m <sup>3</sup> /s)	Puissance installée pi (MW)	Production moyenne annuelle P (GWh)
		Galerie	Conduite			
a (Ilat)	116	0,9	-	7,0	6,3	26,4
b (Machha)	230	2,1	1,1	7,0	12,6	52,4
c (Kouchâ)	250	2,1	2,7	7,0	14,0	57,0

On s'aperçoit que les usines proposées sous les variantes b) et c) permettraient de mieux utiliser les eaux du Nahr el Moussa que ne le fait l'usine existante sur le Nahr el Bared avec la chute brute disponible de 154 m. Un autre avantage serait de pouvoir turbiner les apports d'hiver pendant la période d'été quand les pénuries de l'énergie d'origine hydraulique apparaissent.

./.

Pour permettre le fonctionnement en pointe de ces usines et rendre possible les prélèvements réguliers et continus pour les besoins de l'agriculture, un bassin de compensation devrait être créé à l'aval de ces usines. Un site favorable a été repéré à l'aval immédiat du village de Kouchâ.

Le débit fictif continu étant de 2,9 m<sup>3</sup>/s en moyenne, les usines seraient suréquipées pour pouvoir justement fonctionner en régime de pointe.

Deuxième partie :

Calculs hydrauliques

## 2.1 - Dérivation provisoire

L'évacuation des eaux pendant la construction se fera par une galerie de 3,5 m de diamètre et de 315 + 55 = 370 m de longueur. Sa pente longitudinale est de 3,51 %. La crête du batardeau est arasée à la cote 280,00.

La capacité de débit de la galerie en écoulement libre sera de :

$$Q = \alpha K_s \times S \times R^{2/3} \times \sqrt{i} = 1,087 \times 80 \times \frac{3,14}{4} \times 3,5^2 \times \left(\frac{3,5}{4}\right)^{2/3} \times \sqrt{0,0351} = 86,8 \times 9,62 \times 0,915 \times 0,1873 = \underline{143 \text{ m}^3/\text{s}}$$

Ce débit correspondrait approximativement à une crue dont la période de retour est de 25 ans. La vitesse à la sortie serait de :

$$v = \frac{143}{0,981 \times 9,62} = 15,2 \text{ m/s}$$

Les pertes à l'entonnement sont de :

$$0,2 \frac{v^2}{2g} = 0,2 \frac{15,2^2}{2 \times 9,81} = 2,35 \text{ m}$$

et la ligne de charge à l'amont, confondue avec la surface libre, devrait être à la cote :

$$274,00 + 0,95 \times 3,5 + \frac{15,2^2}{2 \times 9,81} + 2,35 = 291,40$$

Il faut donc que le remblai de la digue soit avancé jusqu'à la cote 292,00 environ au moment de l'arrivée de la crue de 25 ans.

Le batardeau permettra néanmoins une protection suffisante du chantier pendant la période sèche de l'année au cours de laquelle il sera possible d'évacuer un débit d'environ 15 m<sup>3</sup>/s pour lequel il y aura :

$$v = \frac{15,0}{0,181 \times 9,62} = 8,6 \text{ m/s}$$

et la ligne de charge sera à la cote :

$$274,00 + 0,235 \times 3,5 + 1,2 \frac{8,6^2}{2 \times 9,81} = 279,34$$

Le débit de 15,0 m<sup>3</sup>/s pourra donc passer avec une revanche d'environ 0,7 m par rapport à la crête du batardeau. A la station de Halba-Hakour (à l'aval du site) et pendant une période d'observation s'étalant sur 15 années, ce débit n'a jamais été atteint pendant les mois de juin à septembre et 3 fois seulement entre fin mai et début décembre. La protection peut donc être considérée comme suffisante pendant les premiers mois de construction.

## 2.2 - Vidange de fond

La vidange de fond sera aménagée dans la galerie de dérivation provisoire. L'évacuation se fera par un pertuis rectangulaire blindé de 1,5 x 2,0 m. La longueur du tronçon en galerie à l'amont du pertuis est de 185 m, le tronçon en étranglement blindé a une longueur d'une vingtaine de mètres.

Le débit de la vidange sous les plus hautes eaux, soit sous une charge de :

$$H = 357,50 - 274,00 + (185 + 20) \times 0,0351 - 3,0 = 87,7 \text{ m}$$

sera donné par la formule approximative :

$$Q = \mu \times S \times \sqrt{2g H} = 0,7 \times 1,5 \times 2,0 \times 4,43 \sqrt{87,7} = \underline{87 \text{ m}^3/\text{s}}$$

le coefficient représentant l'influence des pertes de charges singulières et linéaire.

## 2.3 - Evacuateur de crues

Pour évacuer un débit de pointe de 322 m<sup>3</sup>/s de la crue décennale sous une charge de 1,5 m au-dessus du seuil, la longueur de ce dernier sera déterminée à partir de la formule :

$$Q = \mu \times l \times \sqrt{2g} \times h^{3/2} ; \text{ soit}$$

$$l = \frac{322}{0,45 \times 4,43 \times 1,5^{3/2}} = 88 \text{ m}$$

Pour tenir compte des rétrécissements aux extrémités du seuil nous adoptons une longueur de 90 m.

## 2.4 - Galerie d'amenée

La galerie aura une section en fer à cheval de 2,6 m de diamètre et une dénivellation entre l'entrée et la sortie de 16,6 m sur une longueur de 4770 m, soit une pente uniforme de  $i = 0,35 \%$ . Elle sera entièrement revêtue de béton dont le coefficient de rugosité de Strickler  $K_s$  est supposé égal à 80.

Le débit en écoulement libre est de :

$$Q = \varphi \times K_s \sqrt{i \times D^{8/3}} = \varphi \times 80 \sqrt{0,0035 \times 2,6^{8/3}}$$

La valeur du coefficient  $\varphi$  étant fonction uniquement de la forme géométrique de la section et de son remplissage, nous aurons pour le débit maximum :

$$Q = 0,352 \times 80 \times 0,0592 \times 12,75 = \underline{21,2 \text{ m}^3/\text{s}}$$

et la vitesse :

$$v = \frac{21,2}{0,8 \times 2,6^2} = 3,9 \text{ m/s}$$

$$\text{soit : } 21,2 \times 2,63 \times 10^6 = 55,8 \text{ hm}^3/\text{mois}$$

Si la cote du niveau normal de la retenue à la prise sera 500,00, le seuil d'entrée de la galerie doit être calé à la cote :

$$500,00 - 0,935 \times 2,6 - 1,2 \times \frac{3,9^2}{2 \times 9,81} = 496,60$$

et la sortie à la cote :

$$496,60 - 16,60 = 480,00$$

Avec la capacité choisie de la galerie on pourrait donc, en une année moyenne facilement remplir la retenue avec les apports du Nahr el Moussa pendant 1 mois et demi les plus humides (mars, avril).

Pendant les 4 années d'observations, période pourtant d'une hydraulicité supérieure à la moyenne, le débit de pointe supérieur à la capacité de débit de la galerie n'a été enregistré que 2 fois, à la station de Michmich (en février et décembre 1967). Ainsi, les pertes du volume d'eau utilisable pour le remplissage de la retenue seraient négligeables.

Troisième partie :

Avant-métré sommaire

Récapitulation des quantités

(Barrage et ses ouvrages annexes)

- Déblais . . . . .	138.480 m3
- dont à l'air libre : . . . . .	.115.380 m3
- en souterrain : . . . . .	23.100 m3
- Remblais . . . . .	.1.578.400 m3
- Bétons . . . . .	41.780 m3
- dont à l'air libre : . . . . .	30.580 m3
- en souterrain : . . . . .	11.200 m3
- Coffrage . . . . .	29.500 m2
- dont à l'air libre : . . . . .	15.900 m2
- en souterrain : . . . . .	14.600 m2
- Acier . . . . .	871.000 kg
- Forages . . . . .	51.600 m
- Matériaux injectés . . . . .	18.160 t

### 3.1 - Dérivation provisoire (plans 2 et 3)

#### 3.1.1 - Remblai du batardeau :

$$\frac{1}{2} (4 + 48) \times 8,8 \times 25,0 = 5700 \text{ m}^3$$

#### 3.1.2 - Galerie ( $\emptyset$ 3,5 m, l = 315 m)

- Déblai rocheux à l'air libre :  $1200 + 800 = \dots \dots \dots 2.000 \text{ m}^3$
- Déblai en galerie :  $16,2 \times 315 = \dots \dots \dots 5.100 \text{ m}^3$
- Hors profils, déblai :  $0,10 \times 5100 = \dots \dots \dots 500 \text{ m}^3$
- Béton à l'air libre : murs d'entrée 2 ( $80 + 60$ ) =  $280 \text{ m}^3$   
radier :  $8 \times 17 \times 1,0 = 140 \text{ m}^3$
- Béton en galerie :  $6,58 \times 315 = \dots \dots \dots 2.080 \text{ m}^3$
- Hors profils - béton :  $500 \text{ m}^3$
- Coffrage à l'air libre :  $80 + 60 = \dots \dots \dots 140 \text{ m}^2$
- Coffrage en galerie :  $11,0 \times 315 = \dots \dots \dots 3.465 \text{ m}^2$
- Acier pour béton :  $10 \times 2300 = \dots \dots \dots 23.000 \text{ kg}$

#### 3.1.3 - Galerie artificielle en béton (l = 55m)

- Béton à l'air libre :  $19,0 \times 55,0 = \dots \dots \dots 1.050 \text{ m}^3$
- Coffrage à l'air libre :  $22,0 \times 55,0 = \dots \dots \dots 1.210 \text{ m}^2$
- Acier pour béton :  $40 \times 1050 = \dots \dots \dots 42.000 \text{ kg}$
- Béton des murs à la sortie :  $2 \times 5 \times 10 \times 1,5 = \dots \dots 150 \text{ m}^3$

### 3.2 - Vidange de fond (plans 2 et 3)

#### 3.2.1 - Chambre des vannes :

- Déblai en souterrain :  
 $22 \times 8 \times 12 + 5 \times 7 \times 22 = 2110 + 770 = \dots \dots \dots 2.880 \text{ m}^3$
- Béton en souterrain :  
 $2110 - 20 \times 6 \times 10 + 700 = \dots \dots \dots 1.610 \text{ m}^3$
- Coffrage en souterrain  $600 \text{ m}^2$
- Acier pour béton :  $1610 \times 20 = \dots \dots \dots 32.200 \text{ kg}$

#### 3.2.2 - Aménagement de la galerie :

- Béton de la deuxième phase :  
 $20 (9,6 - 1,5 \times 2,0) = 20 \times 6,6 = \dots \dots \dots 132 \text{ m}^3$
- Blindage (épaisseur équivalente 20 mm) :  
 $45,0 \times 11,0 \times 0,02 \times 7850 = \dots \dots \dots 78.000 \text{ kg}$

#### 3.2.3 - Galerie d'accès (3,0 x 2,0 m ; l = 130 m)

- Déblai à l'air libre :  $800 \text{ m}^3$
- Déblai en galerie :  $14,0 \times 130 = \dots \dots \dots 1.820 \text{ m}^3$
- Béton en galerie :  $1820 - (6 + 2) 130 = \dots \dots \dots 780 \text{ m}^3$
- Coffrage en galerie ( $8 + 6$ ) x 130 =  $1.820 \text{ m}^2$
- Acier pour béton :  $780 \times 15 = \dots \dots \dots 12.000 \text{ kg}$

3.2.4 - Rampe d'accès et de montage :

- Déblai à l'air libre :  $24 \times 70 = \dots\dots\dots$  1.700 m3
- Béton à l'air libre :  $1,0 \times 5,0 \times 105 = \dots\dots$  525 m3
- Acier pour béton :  $10 \times 500 = \dots\dots\dots$  5.000 kg
- Coffrage :  $1,0 \times 525 = \dots\dots\dots$  525 m2

3.3 - Prise d'eau (Plans 2 et 3)

3.3.1 - Conduite de prise ( $\emptyset$  1,0 m - l = 140 m)

- Déblai en souterrain (exécuté simultanément avec le déblai de la galerie de dérivation provisoire) :

$\frac{2}{3} 1,2 \times 2,0 \times 140 = 224 \text{ m}^3$

- Béton en souterrain :

$220 - \frac{1}{4} 3,14 \times 1,1^2 \times 140 = 224 - 134 = \underline{90 \text{ m}^3}$

- Tuyaux en béton  $\emptyset$  1,0 m pour coffrage de la conduite de prise : 140 m

3.3.2 - Puits  $\emptyset$  2,0 m

- Déblai en puits :  $7,5 \times 37,0 = \dots\dots$  280 m3
- Béton en puits :  $(7,5 - 3,14) \times 37,0 = \dots\dots$  160 m3
- Coffrage en puits :  $6,28 \times 37,0 = \dots\dots$  230 m3

3.3.3 - Chemin de roulement pour grille :

- Déblai à l'air libre :  $6,0 \times 1,0 \times 80 = \dots\dots$  480 m3
- Béton à l'air libre :  $4,0 \times 2,0 \times 80 = \dots\dots$  640 m3
- Coffrage  $\dots\dots\dots$  200 m2
- Acier  $\dots\dots\dots$  6.000 kg

3.4 - Evacuateur de crues (plans 2 et 3)

3.4.1 - Canal d'évacuation

- Déblai à l'air libre (rocher) :

$200 \times 50 + 300 \times 60 + 550 \times 70 + 100 \times 70 =$   
 $= 10.000 + 18.000 + 38.500 + 7.000 = \dots\dots\dots$  73.000 m3

- Béton à l'air libre :

- Partie amont: Radier du canal de réception :  $1,5 \times 15,0 \times 90 = \dots\dots$  2.250 m3
- Seuil déversant :  $5,5 \times 2,5 \times 90 = \dots\dots\dots$  1.240 m3
- Mur R.G. ( $1,5 \times 5,0 + 3,0 \times 4,5$ )  $96 = \dots\dots$  2.000 m3
- Partie centrale: Radier :  $(30 \times 7,0 - 7,1 - 17 \times 3) 18,0 = \dots\dots$  2.740 m3
- Mur R.D. :  $10 \times 3,0 \times 35,0 = \dots\dots\dots$  1.050 m3
- Mur R.G. :  $10 \times 3,5 \times 38,0 = \dots\dots\dots$  1.330 m3
- Pont :  $12,0 \times 1,25 \times 8,0 = \dots\dots\dots$  120 m3
- Partie aval : Coursier :  $0,5 \times 15,0 \times 120 = \dots\dots\dots$  900 m3
- Bajoyer R.D. :  $1,5 \times 3,0 \times 120 = \dots\dots\dots$  540 m3
- Bajoyer R.G. :  $1,2 \times 3,0 \times 120 = \dots\dots\dots$  430 m3

Total : 12.600 m3 ./.

- Coffrage : (env. 0,7 m<sup>2</sup> par m<sup>3</sup> des murs) :

$$0,7 (1240 + 2000 + 1050 + 1330 + 120 + 540 + 430) = 4.700 \text{ m}^2$$

- Acier pour béton : 20 x 12.600 = 252.000 kg.

### 3.4.2 - Cuvette de réception

- Déblai non rocheux : 300 x 54 = . . . . . 16.200 m<sup>3</sup>

- Béton : radier : 25,0 x 54,0 x 2,0 = . . . . . 2.700 m<sup>3</sup>

mur de tête : 1,5 x 30 x 5,0 = . . . . . 230 m<sup>3</sup>

mur R.D. : 3,5 x 15,0 x 50 + 12 x 2 x 30 = 3.350 m<sup>3</sup>

mur R.G. : 2,0 x 11,0 x 50 = . . . . . 1.100 m<sup>3</sup>

Total : 7.380 m<sup>3</sup>

- Coffrage : 15,0 x 52,0 + 25,0 x 5,0 + 11,0 x 54,0 =  
= 780 + 125 + 595 = 1.500 m<sup>2</sup>

- Acier : 7400 x 10 = 74.000 kg

- Enrochements de protection :  
(80 x 50 + 50 x 40) 1,0 = 6.000 m<sup>3</sup>

## 3.5 - Voile d'étanchéité (plan 4)

### 3.5.1 - Galerie d'injection R.D. (d = 3,0 m, l = 370 m)

- Déblai à l'air libre :

$$\frac{1}{2} \times 30 \times 30 \times 12 - \frac{1}{3} \times 27 \times 12 \times 30 = 5.400 - 3.200 = 2.200 \text{ m}^3$$

- Déblai en galerie : 13,8 x 370 = . . . 5.100 m<sup>3</sup>

- Béton en galerie : (13,8 - 7,5) 370 = . 2.330 m<sup>3</sup>

- Coffrage en galerie : 9,8 x 370 = . . . 3.630 m<sup>2</sup>

### 3.5.2 - Galerie d'injection R.G. (∅ = 3,0 m, l = 500 m)

- Déblai en galerie : 13,8 x 500 = . . . 6.900 m<sup>3</sup>

- Béton en galerie : (13,8 - 7,1) 500 = . 3.350 m<sup>3</sup>

- Coffrage en galerie : 3,14 x 3,0 x 500 = 4.720 m<sup>2</sup>

- Acier pour béton : 10 x 3350 = . . . . 33.500 kg

3.5.3 - Galerie d'injection sous le noyau.

- Déblai rocheux à l'air libre :  $5,5 \times 4,0 \times 350 = 7.700 \text{ m}^3$
- Béton à l'air libre :  
 $(7,0 \times 6,0 - 2,0 \times 2,5 - \frac{1,5 \times 3,5}{2} - 9,4) \times 350 = 7.820 \text{ m}^3$
- Coffrage plan :  $(2 \times \sqrt{2^2 + 2,5^2} + 3,0) \times 350 + 44 \times 22,4 = 4.280 \text{ m}^2$
- Coffrage courbe :  $3,14 \times 3,0 \times 350 = 3.300 \text{ m}^2$
- Acier pour béton :  $40 \times 7820 = 312.000 \text{ kg}$
- Joints d'étanchéité :  $44 \times 12,0 = 550 \text{ ml}$

3.5.4 - Galerie de communication entre les galeries d'injection et d'accès (pour épuisement des eaux infiltrées) -  $\emptyset 2,0$  , l = 40 m

- Déblai :  $7,5 \times 40 = 300 \text{ m}^3$
- Béton :  $4,3 \times 40 = 170 \text{ m}^3$
- Coffrage :  $3,14 \times 40 = 126 \text{ m}^2$
- Acier :  $170 \times 10 = 1.700 \text{ kg}$

3.5.5 - Traitement de surface par injections de ciment.

- Surface traitée (par planimétrage sur le plan N°2):  $6000 \text{ m}^2$
- Longueur totale des forages (profondeur moyenne 8m) :

$$\frac{6000 \times 8}{6,0 \times 5,0} = 1.600 \text{ m}$$

- Produit injecté (absorption 100 kg/ml):  
 $1.600 \times 0,1 = 160 \text{ t}$

3.5.6 - Voile principal

- Surface du voile :

R.D.:	$46 \times 200 + 81 \times 200 =$	25.400 m <sup>2</sup>
R.G.:	$146 \times 360 + 46 \times 100 + 73 \times 40 =$	60.100 m <sup>2</sup>
Sous le noyau :	$115 \times 300 =$	34.500 m <sup>2</sup>
	total :	120.000 m <sup>2</sup>

- Longueur des forages (espacement 2,5 m) :

$$\frac{1}{2,5} (120.000 \times 4,0 \times 400 + 8,0 \times 500) = 50.000 \text{ m}$$

- Produit sec injecté (absorption moyenne : 150 kg/m<sup>2</sup> du voile) :  
 $120.000 \times 0,15 = 18.000 \text{ t}$

3.6 - Barrage (plans 2 et 3)

3.6.1 - Décapage (par planimétrage sur le plan N°2):  $50.000 \text{ m}^2$

3.6.2 - Déblai pour le noyau :  $9500 \times 2,0 = 19.000 \text{ m}^3$

3.6.3 - Remblais (volume calculé par tranches de 10,0 m dans le tableau ci-après) :

Cote	Surface (m <sup>2</sup> )	$a = S_1 + S_2$ m <sup>2</sup>	$b = \sqrt{S_1 \times S_2}$ m <sup>2</sup>	$c = a + b$ m <sup>2</sup>	$\Delta V = 3,33 \times c$ m <sup>3</sup>	$\sum \Delta V$ (m <sup>3</sup> )
260	0	8.500	0	8.500	28.300	
270	8.500	22.000	10.700	32.700	109.000	
280	13.500	31.200	15.450	46.650	155.000	
290	17.700	-	-	-	-	292.300
290	17.400	38.300	19.100	57.400	193.000	
300	20.900	43.900	21.900	65.800	219.200	
310	23.000	-	-	-	-	704.500
310	22.300	44.700	22.300	67.000	223.000	
320	22.400	42.600	21.300	63.900	213.000	
330	20.200	-	-	-	-	1,140.500
330	19.500	35.300	17.600	52.900	176.100	
340	15.800	26.000	12.700	38.700	129.000	
350	10.200	12.560	4.900	17.460	57.900	
350	2.360					1,503.500

Décapage : 50.000 x 0,5 =

25.000

Déblai pour noyau : 19.000 x 2,0 =

38.000

Total : 1.566.500



Quatrième partie :

Estimation des coûts

Récapitulation des coûts par ouvrage (en LL.)

- Dérivation provisoire . . . . .	979.870
- Vidange de fond . . . . .	1.549.540
- Prise d'eau . . . . .	216.700
- Evacuateur de crues . . . . .	2.625.360
- Voile d'étanchéité . . . . .	13.780.670
- Barrage sur le Nahr el Aarqa . . . . .	15.126.220
- Barrage de prise sur el Moussa . . . . .	850.000
- Galerie d'adduction . . . . .	6.200.000
- Divers . . . . .	1.054.000
- Expropriations . . . . .	660.000
- Etudes et reconnaissances . . . . .	3.320.040
- Imprévus . . . . .	4.167.600
	<hr/>
Total :	50.530.000

Détail estimatif

N°	Désignation	Unité	Quantité	Prix	
				Unitaire LL	Montant LL
4.1 - Dérivation provisoire					
4.11	Batardeau	m3	5.700	10,0	57.000
4.12	Remblai du batardeau	m3	2.000	14,0	28.000
	Galerie (Ø 3,5 m, l = 315 m)				
	Déblai rocheux à l'air libre	m3	5.100	62,0	316.200
	Déblai en galerie	m3	500	18,6	9.300
	Hors-profils, déblai	m3	420	62,0	26.040
	Béton à l'air libre	m3	2.080	117,0	243.360
	Béton en galerie	m3	500	82,0	41.000
	Hors-profils, béton	m3	140	15,0	2.100
	Coffrage à l'air libre	m2	3.465	28,0	97.020
	Coffrage en galerie	m2	23.000	1,1	25.300
	Acier pour béton	kg			
4.13	Galerie artificielle				
	Béton à l'air libre	m3	1.200	62,0	74.400
	Coffrage à l'air libre	m2	1.210	15,0	18.150
	Acier pour béton	kg	42.000	1,0	42.000
Sous-total					: 979.870
Etudes et reconnaissances (8%)					78.390
Travaux imprévus (env. 10%)					97.740
Total dérivation provisoire					: 1.156.000

N°	Désignation	Unité	Quantité	Prix	
				Unitaire LL	Montant LL
4.2 - Vidange de fond					
4.21	Chambre des vannes				
	Déblai en souterrain	m3	2.880	50,0	144.000
	Béton en souterrain	m3	1.610	117,0	188.370
	Coffrage en souterrain	m2	600	21,0	12.600
	Acier	kg	32.200	1,1	35.420
4.22	Aménagement de la galerie				
	Béton en souterrain	m3	132	117,0	154.440
	Blindage, tuyaux en acier etc.	kg	80.000	4,0	320.000
4.23	Galerie d'accès				
	Déblai à l'air libre	m3	800	14,0	11.200
	Déblai en galerie	m3	1.820	86,0	156.520
	Béton en galerie	m3	780	120,0	93.600
	Coffrage en galerie	m2	1.820	28,0	50.960
	Acier pour béton	kg	12.000	1,1	13.200
4.24	Rampe d'accès				
	Déblai à l'air libre	m3	1.700	14,0	23.800
	Béton à l'air libre	m3	525	62,0	32.550
	Coffrage plan	m2	525	15,0	7.880
	Acier	kg	5.000	1,0	5.000
4.25	Equipement hydro-mécanique				
	Vanne-chenille 1,5 x 2,0 m h = 90 m	U	2	f	300.000
				Sous-total	: 1.549.540
Etudes et reconnaissances (8%)					123.960
Travaux imprévus (env. 10%)					154.500
				Total vidange de fond	: 1.828.000

N°	Désignation	Unité	Quantité	Prix	
				Unitaire LL	Montant LL
4.3 - Prise d'eau					
4.31	Conduite de prise				
	Déblai en souterrain	m3	224	86,0	19.260
	Béton en souterrain	m3	90	120,0	10.800
	Tuyaux en béton	m	140	260,0	36.400
4.32	Puits (Ø 2,0 m)				
	Déblai en puits	m3	280	60,0	16.800
	Béton en puits	m3	160	120,0	19.200
	Coffrage en puits	m2	230	28,0	6.440
4.33	Chemin de roulement				
	Déblai à l'air libre	m3	480	14,0	6.720
	Béton à l'air libre	m3	640	62,0	39.680
	Coffrage	m2	200	15,0	3.000
	Acier	kg	6.000	1,0	6.000
4.34	Equipement				
	Tuyaux en acier Ø 0,5 m	kg	6.200	2,0	12.400
	Vanne-papillon Ø 0,5 m	U	2	f	40.000
				Sous-total	: 216.700
Etudes et reconnaissances (8%)					17.340
Travaux imprévus (env. 10%)					21.960
				Total prise d'eau	: 256.000

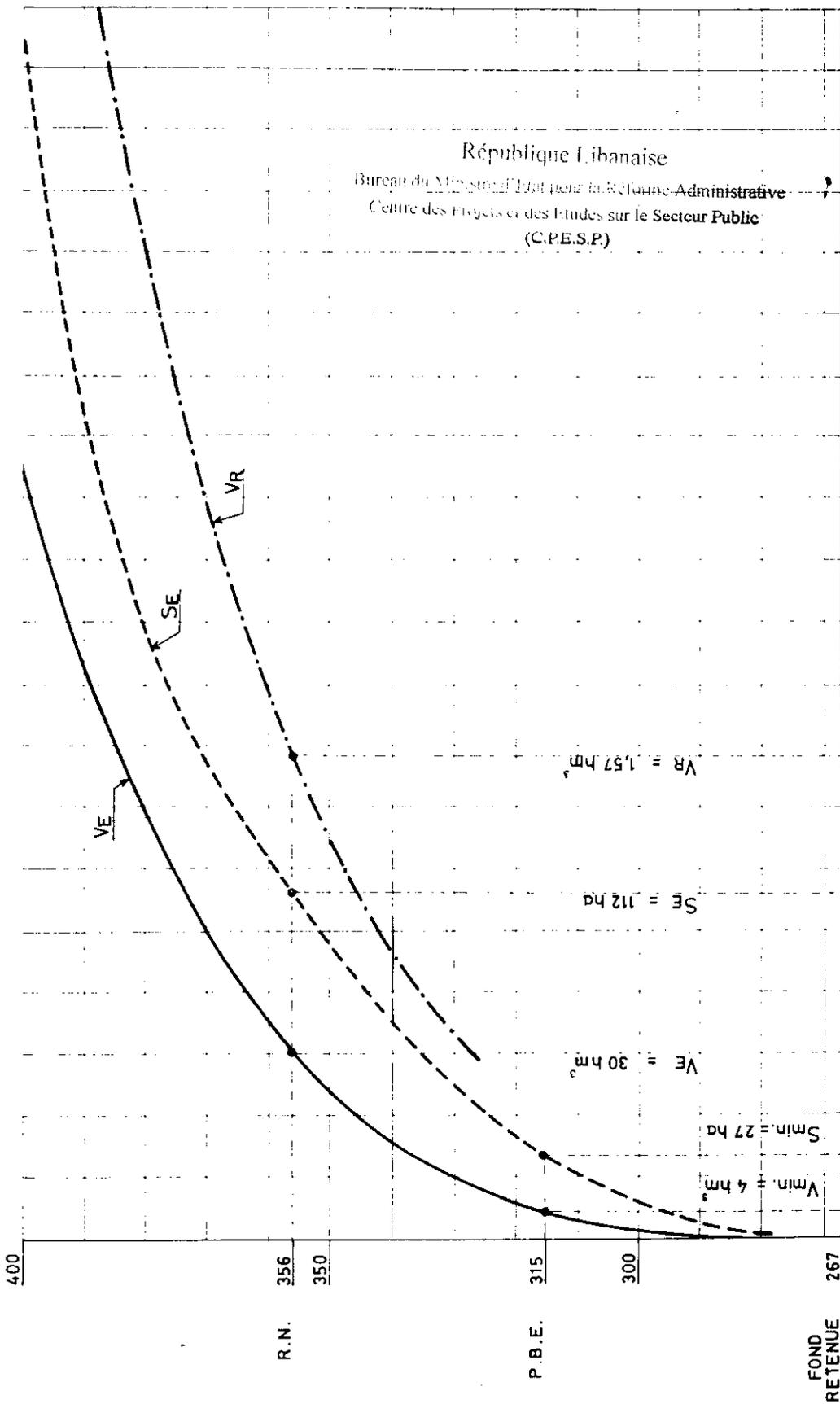
N°	Désignation	Unité	Quantité	Prix	
				Unitaire LL	Montant LL
4.4 - Evacuateur de crues					
4.41	Canal d'évacuation	m3	73.000	10,0	730.000
	Déblai rocheux à l'air libre	m3	12.600	62,0	781.200
	Béton à l'air libre	m2	4.700	15,0	70.500
	Coffrage plan	kg	252.000	1,0	252.000
4.42	Acier pour béton	kg	252.000	1,0	252.000
	Cuvette de réception	m3	16.200	8,0	129.600
	Déblai non rocheux	m3	7.380	62,0	457.560
	Béton	m2	1.500	15,0	22.500
	Coffrage plan	kg	74.000	1,0	74.000
	Acier pour béton	m3	6.000	18,0	108.000
	Enrochements de protection	m3	6.000	18,0	108.000
Sous-total				:	2.625.360
Etudes et reconnaissances (8%)					210.000
Travaux imprévus (env. 10%)					262.640
Total évacuateur de crues				:	3.098.000
4.5 - Voile d'étanchéité					
4.51	Galerie d'injection R.D.	m3	2.200	14,0	30.800
	Déblai à l'air libre	m3	5.100	86,0	438.600
	Déblai en galerie	m3	2.330	120,0	279.600
	Béton en galerie	m2	3.630	28,0	101.640
4.52	Coffrage en galerie	m2	3.630	28,0	101.640
	Galerie d'injection R.G.	m3	6.900	86,0	593.400
	Déblai en galerie	m3	3.350	120,0	402.000
	Béton en galerie	m2	4.720	28,0	132.160
	Coffrage en galerie	kg	33.500	1,1	36.850
4.53	Acier pour béton	kg	33.500	1,1	36.850
	Galerie d'injection sous le noyau	m3	7.700	14,0	10.780
	Déblai rocheux à l'air libre	m3	7.820	62,0	484.840
	Béton à l'air libre	m2	4.280	15,0	64.200
	Coffrage plan à l'air libre	m2	3.300	37,0	122.100
	Coffrage courbe à l'air libre	kg	312.000	1,0	312.000
	Acier pour béton	m	550	30,0	16.500
	Joint d'étanchéité	U	forfait		20.000
Dispositif de refoulement des eaux d'infiltration					20.000

N°	Désignation	Unité	Quantité	Prix	
				Unitaire LL	Montant LL
<b>4.5 - Voile d'étanchéité (suite)</b>					
4.54	Galerie de communication				
	Déblai en galerie	m3	300	86,0	25.800
	Béton en galerie	m3	170	120,0	20.400
	Coffrage en galerie	m2	126	28,0	3.530
	Acier pour béton	kg	1.700	1,1	1.870
4.55	Traitement de surface				
	Forages pour injection (l=8m)	m	1.600	13,0	20.800
	Produit injecté	t	160	460,0	73.600
4.56	Voile principal				
	Forages pour injection l = 50 m	m	8.000	31,0	248.000
	Forages pour injection l = 100 m	m	16.000	40,0	640.000
	Forages pour injection l = 120 m	m	17.400	54,0	939.600
	Forages pour injection à partir de la galerie (l = 50 m)	m	8.600	56,0	481.600
	Produit sec injecté	t	18.000	460,0	8.280.000
				Sous-total	: 13.780.670
Etudes et reconnaissances (8%)					1.088.250
Travaux imprévus (env. 10%)					1.378.080
				<b>Total voile d'étanchéité</b>	<b>: 16.247.000</b>
<b>4.6 - Barrage</b>					
4.61	Décapage	m2	50.000	1,5	75.000
4.62	Déblai pour noyau	m3	19.000	10,0	190.000
4.63	Remblais				
	Enrochements de carrière	m3	1.106.600	9,0	9.959.400
	Enrochements venant des fouilles	m3	88.000	4,0	352.000
	Filtres	m3	170.400	15,0	2.556.000
	Noyau	m3	201.500	8,0	1.612.000
4.64	Matériaux mis en dépôt	m3	75.500	5,0	377.500
4.65	Parapet en gabions	m3	216	20,0	4.320
				Sous-total	: 15.126.220
Etudes et reconnaissances (8%)					1.210.100
Travaux imprévus (env. 10%)					1.512.680
				<b>Total barrage</b>	<b>: 17.849.000</b>

N°	Désignation	Unité	Quantité	Prix	
				Unitaire LL	Montant LL
4.7 - Adduction Moussa-Aarqa					
4.71	Barrage de prise sur Nahr Moussa	U	1	f	850.000
4.72	Galerie d'amenée (d = 2,6m)	m	4.770	1.300,0	6.200.000
4.73	Revêtement du lit à la sortie	m2	10.000	35,0	350.000
				Sous-total	: 7.400.000
Etudes et reconnaissances (8%)					592.000
Travaux et imprévus (env. 10%)					740.000
				Total adduction	: 8.732.000
4.8 - Divers					
4.81	Route d'accès au barrage	km	1,4	150.000	210.000
4.82	Amélioration du chemin existant	km	1,2	60.000	72.000
4.83	Accès au barrage de prise	km	3,4	80.000	272.000
4.84	Déviations des lignes électriques			f	150.000
				Total divers :	704.000
4.9 - Expropriations					
	Terrain rocheux	ha	80	2.000	160.000
	Terrain cultivé, non irrigué	ha	20	10.000	200.000
	Terres irriguées	ha	10	30.000	300.000
				Total expropriations :	660.000

COURBES CARACTERISTIQUES DE LA RETENUE D'ILAI

COTE DE LA RETENUE



VE VOLUME EAU (hm<sup>3</sup>)  
 SE SUPERFICIE (ha)  
 3.0 VOLUME REMBI A L'ETAT