

Min
288

الجمهورية اللبنانية

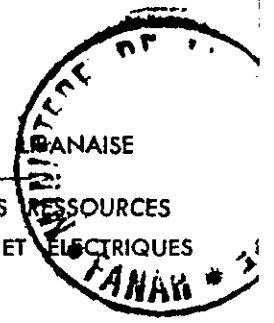
مكتب وزير الدولة لشؤون التنمية الإدارية
مركز مشاريع ودراسات القطاع العام

PROGRAMME DES NATIONS UNIES
POUR LE DEVELOPPEMENT

F. A. O.

République Libanaise
Bureau du 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 NOURA ET TAHTA

(Sur Nahr El Kebir)

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 NOURA ET TAHTA

sur le Nahr el Kébir

PIECES ECRITES

- 01 : RAPPORT
- 02 : AVANT-METRE
- 03 : ESTIMATION DES COUTS
- 04 : NOTE DE CALCUL

GC 06

Beyrouth, Février 1972.

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 NOURA ET TAHTA

sur le Nahr el Kébir

RAPPORT

GC 06

Pièce 01

Beyrouth, février 1972

ABSTRACT

The Nahr el Kébir, also forming the border of North Lebanon with Syria, is the third greatest river of Lebanon in consideration of the total quantities of water discharged.

The Noura et Tahta dam is located about 800 m north of the village of Noura et Tahta.

The study concerns the construction of a 73 m high rockfill dam over basalts with central clay-core, a water tightness-screen of 50 m depth at the bottom of the valley and 100 m vertical depth on both sides of the dam at top level.

Auxiliary works consist of :

1) A temporary river diversion tunnel crossing through the right river bank of the valley, being able to discharge a ten years return-period flood which is estimated at 300 m³/s.

This diversion-tunnel will later be converted into a bottom discharge, having a capacity of 200 m³/s under the normal water level at the altitude of 149 meters.

2) A free spillway calculated in order to be able to discharge a flood with a return-period of 10.000 years, estimated at 1270 m³/s ; a 20 m wide race, followed by a dispersion lip, which is connected to the bottom discharge tunnel.

3) A side water off-take structure, consisting of a 60 m high roll-way serving grid and gate of the off-take, a circular tunnel with 3m diameter and an underground pumping station, located at the right-hand side of the valley.

The construction-cost of the whole work, calculated on the basis of unit-prices used in Lebanon, Marocco and France for similar works, amounts up to 63,8 million Lebanese pounds for a reservoir with a storage capacity of 50×10^6 m³.

RESUME

Le Nahr el Kébir qui sert de frontière septentrionale entre le Liban et la Syrie est la troisième rivière du Liban par les volumes des eaux débités.

Le site du barrage de Noura et Tahta se trouve à 800 m environ au nord du village de Noura et Tahta. L'étude de cet aménagement prévoit la construction d'une digue en enrochements à noyau central imperméable de 73 m de hauteur sur les basaltes, d'un voile d'étanchéité de 50 m de profondeur dans le fond de la vallée et de 100 m au niveau de la crête de la digue.

Les ouvrages annexes sont :

- 1) une galerie de dérivation provisoire creusée dans la rive droite de la vallée pouvant évacuer la crue décennale estimée à 300 m³/s qui serait transformée en vidange de fond d'une capacité de 200 m³/s sous la cote de la retenue normale 149,00;
- 2) un évacuateur de crues de surface à seuil déversant libre calculé pour évacuer la crue décennale estimée à 1270 m³/s, d'un coursier de 20 m de largeur, suivi d'une cuillère de dissipation de l'énergie couplée avec la galerie de la vidange de fond;
- 3) un ouvrage de prise de côté comprenant un chemin de roulement de la grille et de la vanne de garde de 60 m de hauteur, d'une galerie circulaire de 3 m de diamètre et d'une station de pompage souterraine située sous le versant gauche de la vallée.

Le coût de cet aménagement établi sur la base des prix unitaires pratiqués au Liban, au Maroc et en France pour des ouvrages similaires, s'élève à 63,8 millions de LL pour 50 millions de m³ d'eau accumulable de la retenue.

SOMMAIRE

	<u>Page</u>
1 - Avant-propos.....	2
2 - Etudes antérieures	4
3 - Vue générale sur le projet actuel	5
01/1 - Plan d'orientation	6
4 - Données de base	7
4.1 - Situation géographique	7
4.2 - Cadre topographique	8
4.3 - Géologie	11
01/2- Bassin versant de Nahr el Kébir	12
4.4 - Hydrologie	14
5 - Caractéristique de l'aménagement	16
01/3 - Coupe caractéristique du barrage	17
6 - Conception des ouvrages	17
6.1 - Barrage	17
6.2 - Voiles d'étanchéité	18
6.3 - Dérivation provisoire	18
6.4 - Vidange de fond	19
6.5 - Evacuateur de crues	19
6.6 - Ouvrage de prise d'eau	21
7 - Estimation des coûts - Résumé	22
8 - Conclusion	23
9 - Documents utilisés	23

1 - AVANT-PROPOS

Le Projet de Développement Hydro-Agricole a été créé avec le concours du Programme des Nations-Unies pour le Développement (PNUD) et de l'Organisation 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) Etude 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 300 ha.
- 6) Expérimentation et démonstrations hydro-agricoles.
- 7) Etudes 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 :

	Experts de la F.A.O.	Ingénieurs du Gouvernement libanais et de contrepartie
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	S. Sibai A. Mikati
Economie des exploitations	U. Grieb	
Economie générale	A. Odeurs M. Bral	G. Panayoti
Législation des eaux		A. Wakim

Le présent rapport entre dans le cadre des études de Planification Hydraulique du Liban Nord (Objectif N°2 du Projet) et constitue, dans ce cadre, la sixième publication du Projet dans le domaine du Génie Civil. Il reste susceptible de révisions en fonction des résultats ultérieurs obtenus par le Projet.

Ce rapport a été particulièrement préparé par A. Atallah.

2 - ETUDES ANTERIEURES

A la demande d'une commission mixte libano-syrienne, l'administration avait procédé, en 1963, à une prospection de sites de barrages sur le Nahr el Kébir. Six sites de barrages avaient été repérés; le site de Noura et Tahta figurait parmi ces sites repérés.

Une première reconnaissance géologique et hydrologique du site fut entreprise par la Direction Générale de l'Equipement Hydraulique et Electrique du Ministère des Ressources Hydrauliques et Electriques en mai 1968 (Avant-projet d'aménagement du Nahr el Kébir - par A. Guerre).

L'Office National du Litani avait repris la prospection des sites de barrages sur le Nahr el Kébir en 1968 ; le site de Noura et Tahta a été considéré comme le plus favorable sur le Nahr el Kébir, et une étude sommaire de génie civil a été faite par l'Office National du Litani en cette même année plaçant l'axe de la digue sur l'endroit topographiquement le plus étroit, au lieu dit JOURET el MACHAHIR.

En février 1969, le site a été l'objet d'un premier examen de la part des consultants du Projet de Développement Hydro-agricole qui avaient suggéré de déplacer l'axe du barrage projeté pour éviter de fonder la digue sur des éboulements importants.

La recherche d'un site où les conditions géologiques seraient meilleures a donc été entreprise.

Plus en amont, l'Ouadi Qaraghaza a déposé un important cône torrentiel; une zone d'implantation qui paraît favorable a pu être trouvée entre le bas du cône de l'Ouadi Qaraghaza et la zone des glissements aval du Jouret el Machahir.

La mission des consultants avait défini, en plus, la nature des travaux de reconnaissance à effectuer.

3 - VUE GENERALE SUR LE PROJET ACTUEL

Le Nahr el Kébir est la troisième rivière du Liban pour son développement longitudinal et les volumes débités, sur plus des deux tiers de son cours il sert de frontière septentrionale entre le Liban et la Syrie.

Une partie des eaux qui s'écoulent dans ce Nahr est utilisée pour irriguer les terres voisines ; les eaux des mois humides et le supplément des eaux d'irrigation se perdent dans la mer.

Dans le cadre de la planification hydraulique du Liban-Nord, on se propose d'étudier l'aménagement de Noura et Tahta qui contribuera à une meilleure répartition du volume annuel écoulé et limitera les pertes d'eau.

Les eaux de la retenue de Noura et Tahta pourront être utilisées pour l'irrigation de nouvelles terres au Liban et en Syrie, ou pour l'alimentation en eau des villages de la région.

Le présent dossier vise à définir les grandes lignes d'une solution adaptée aux conditions naturelles du site et à présenter une étude technique valable au stade d'un avant-projet pour établir une estimation du coût réaliste de l'aménagement, en tenant compte de toutes les données nécessaires élaborées par le projet.

4 - DONNEES DE BASE

Les données de base suivantes sont suffisantes pour établir cet avant-projet, mais on estime que les nouvelles précisions qui seront apportées à cette étude durant l'exécution ne changeront pas de beaucoup la conception technique de la digue et des ouvrages annexes. Les données de base utilisées pour l'élaboration de ce dossier permettent de dire qu'on approche de la solution optimale.

4.1 - Situation géographique

Le site du barrage de Noura et Tahta sur le Nahr el Kébir se trouve à 800 m environ à vol d'oiseau au nord du village de Noura et Tahta.

Le Nahr el Kébir constitue la frontière nord du Liban avec la Syrie, l'aménagement sera un ouvrage libano-syrien puisque la digue, les ouvrages annexes et la retenue se trouveront de part et d'autre du fleuve.

L'axe du barrage est défini par deux points dont les coordonnées stéréographiques sont :

$$X_1 = - 271,788 \qquad X_2 = - 271,945$$

$$Y_1 = + 51,942 \qquad Y_2 = + 52,420$$

L'intersection de l'axe du barrage et du lit de la rivière est donnée par les coordonnées Lambert suivantes :

$$X = 193,100 \qquad Y = 299,050$$

Le fond du lit de la rivière dans l'axe du barrage est à la cote $Z = 82.00$

4.2 - Cadre topographique

Le Nahr el Kébir a creusé une profonde vallée (150 mètres de hauteur) dans un vaste plateau formé de roches éruptives faiblement penté d'Est en Ouest et qui s'étend beaucoup plus largement en Syrie qu'au Liban.

La future retenue de l'aménagement de Noura et Tahta se placera dans la partie moyenne de la vallée du Nahr el Kébir et occupera un tronçon de 4,8 km de longueur dont la largeur moyenne à la cote de la retenue normale sera de 500 m.

Dans la zone d'implantation de la digue, la vallée est occupée comme partout ailleurs par des terrasses alluviales largement cultivées ; la largeur de la vallée à la base est de 265 m, la crête de la digue sera arasée à la cote 155 et aura 490 m de longueur.

Ces valeurs montrent qu'on ne bénéficie pas d'un resserrement de la vallée à l'emplacement de la digue mais par contre cette zone est favorable du point de vue géologique.

./.

La mise au point technique de cette étude est faite d'après la carte au 1/20.000 de la région et du levé au 1/2.000 agrandi au 1/1.000 établi par la Direction des Affaires Géographiques.

4.3 - Géologie

Contexte régional.

La Nahr el Kébir entaille profondément le plateau volcanique de Tell Kalakh.

Les accumulations de roches volcaniques, essentiellement des laves basaltiques, se sont produites durant le Pliocène alors que cette région était affectée par une subsidence qui favorisera le retour de la mer dans la partie occidentale. Les fluctuations du niveau marin et les paroxysmes volcaniques ont permis la formation d'un complexe volcano-sédimentaire. Le site de Noura et Tahta et sa retenue concernent exclusivement le domaine volcanique.

Géologie du site.

Les données géologiques du site de barrage de Noura et Tahta font l'objet d'une étude faite par le département d'Hydrogéologie (Dossier HG 24 édité le 15 septembre 1971).

La géologie se résume de la manière suivante :

Les versants sont recouverts en grande partie par des zones d'altération superficielle ayant favorisé des colluvionnements de pente.

Des basaltes altérés affleurent sur une dizaine de mètres au pied du versant rive droite ; en rive gauche des bandes peu épaisses de basaltes sains sont intercalées dans les basaltes altérés.

Au-dessus, en rive gauche comme en rive droite, se superposent des basaltes altérés et des basaltes sains, recouverts par des formations de pente. Les 15 - 20 derniers mètres, des appuis sont constitués par des coulées basaltiques compactes avec quelques niveaux de basaltes scoriacés et des basaltes altérés prenant l'aspect de tufs.

Les formations de pente des versants sont composées d'argiles d'altération des basaltes avec les minéraux résiduels et des cailloux et blocs arrondis de basalte. Elles correspondent à un remaniement de la zone d'altération superficielle des roches volcaniques.

Les dépôts quaternaires du fond de vallée sont de deux types : les terrasses fluviatiles du Nahr el Kébir et les cônes de dépôts des ouadis affluents.

Deux terrasses fluviatiles ont été distinguées.

Les dépôts actuels correspondent au lit majeur. Ils sont composés de galets et blocs de basaltes et de quelques éléments calcaires, dans une matrice sableuse ; des bras morts ou à fonctionnement limité en période de fortes crues sont caractérisés par une plus grande proportion de dépôts sableux.

Ces dépôts actuels sont emboîtés dans la terrasse récente constituée de dépôts plus argileux avec des lentilles de galets. L'épaisseur totale des alluvions est comprise entre 8 et 15 m.

Deux accumulations successives sous forme de cônes se reconnaissent aussi du débouché de l'Ouadi Qaraghaza, petit affluent temporaire sur la rive gauche du Nahr el Kébir. Le cône ancien est composé de blocs de basalte de taille variable enrobés dans une matrice à dominance argileuse; il est entaillé sur sa bordure par la terrasse récente du Nahr el Kébir.

La zone de l'implantation du barrage se trouve dans une région relativement calme du point de vue sismique.

Géologie de la retenue.

Il n'y a aucune complication dans la zone d'accumulation des roches volcaniques. Les successions de basaltes sains, basaltes scoriacés, basaltes altérés notés du niveau du site se retrouvent tout au long des flancs de la retenue.

Un manteau d'altération et de formations de pente généralement peu épais recouvre la plus grande partie des versants sauf en queue de retenue où affleurent largement des basaltes massifs. Le léger pendage des coulées de la rive gauche vers la rive droite constaté au niveau du site se maintient tout au long de la retenue. Aucune faille importante ne complique la structure sub-tabulaire du tableau volcanique.

Etanchéité de la retenue.

Les forages de reconnaissance ont montré que les pertes possibles seront localisées au niveau des interfaces entre coulées et des zones de basaltes sains fissurés. Des cheminements horizontaux sont donc à craindre à partir des flancs de la retenue ; en rive gauche les eaux pourront réapparaître soit à l'aval de l'ouvrage dans la vallée du Nahr el Kébir, soit dans l'Ouadi Toubbes Saad affluent de l'Ouadi es Sabaq après une percolation d'environ 2 kilomètres ; en rive droite des pertes au large sont également envisageables vers l'Ouadi Ghabrouniyé avec des cheminements de l'ordre de 2,5 kilomètres. Cependant, l'éventualité de ces fuites ne pourra être confirmée que par des sondages de reconnaissance complémentaires sur les versants et en certains points du plateau basaltique. Si l'on s'en tient aux données de la géologie de surface et à l'hydrogéologie des complexes volcaniques stratifiés, on peut estimer que les pertes seront limitées pour plusieurs raisons :

- Les anomalies dans le développement spatial des coulées, biseautage,

imbrications, intercalations de paléo-sols et de basaltes altérés doivent constituer des obstacles aux cheminements horizontaux.

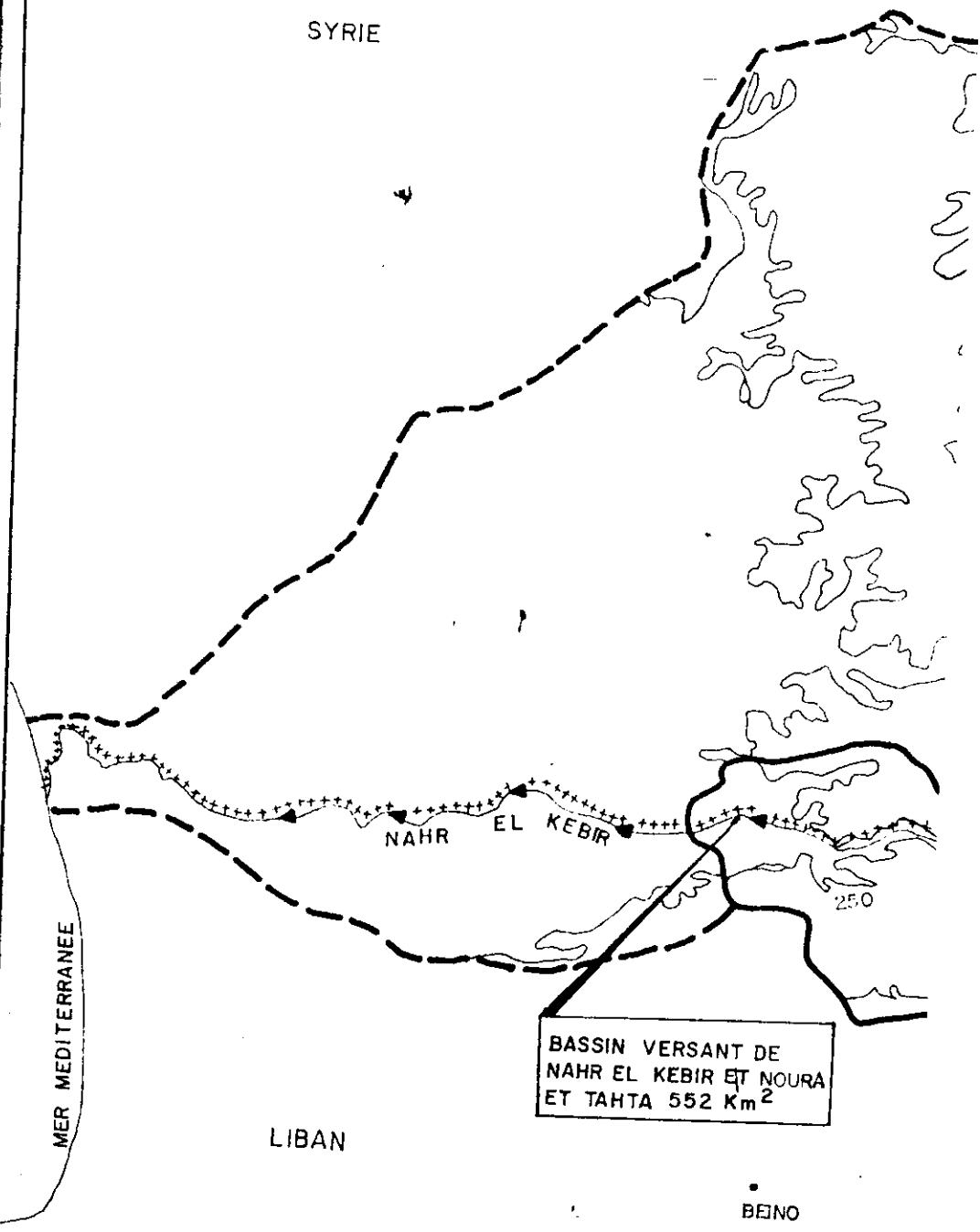
- Les percolations verticales sont faibles à cause des intercalations imperméables : argile de paléo-sol et basaltes "pourris".

- Le faible pendage de coulées de lave : celles qui ont été trouvées à l'aplomb du site n'affleurent pas dans la retenue mais seulement dans sa partie amont.

- Enfin, il n'existe pas de sources au débit important dans la zone volcanique.

Il reste le problème de la nappe aquifère intrabasaltique profonde, dont la zone et le mode d'alimentation restent à l'heure actuelle mal connus.

BASSIN VERSANT DE NAHR EL KEBIR



BASSIN VERSANT DE
NAHR EL KEBIR ET NOURA
ET TAHTA 552 Km²

PROJET DE DEVELOPPEMENT HYDRO - AGRICOLE	
BARRAGE DE NOURA ET TAHTA RAPPORT BASSIN VERSANT DE NAHR EL KEBIR	GC-06
	01/2



4.4 - Hydrologie

L'étude hydrologique des fleuves du Liban-Nord fera l'objet d'un dossier complet qui traitera en détail : la méthode de génération de longues séries hydrologiques basées sur les données hydrométriques et pluviométriques disponibles et le plan de gestion hydraulique du réservoir. Nous résumons ici les résultats de cette étude.

4.4.1 - Apports de la retenue

La retenue de Noura et Tahta sera alimentée par les apports du Nahr el Kébir. Pour estimer le volume de ceux-ci on s'est servi des données de la station d'Arida à l'amont de la retenue qui ont permis d'établir la série générée de 50 ans au moyen des apports mensuels.

La surface du bassin versant du Nahr el Kébir, au droit de la station d'Arida, est de 437 km², valeur plus petite de 26% que la surface du bassin versant, au droit de la retenue, qui est de 552 km².

En appliquant le coefficient de correction $\frac{552}{437} = 1,26$ aux apports de la station d'Arida, on a le tableau suivant :

Volumes des apports mensuels au droit du réservoir de Noura et Tahta en <u>Mm3</u> (série générée)					
Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février
4,34	9,36	10,4	27,4	54,9	44,5
Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août
36,15	19,4	8,15	3,89	3,86	2,65

Le volume annuel moyen s'élève à 225 Mm³ au droit du site, pourtant la retenue aura un volume d'accumulation de 50 Mm³. La gestion du réservoir, calculée sur une longue série d'années, détermine la surface irrigable à 8000 ha avec une pénurie moyenne de 2,5 %.

./.

4.4.2 - Crues

Pour pouvoir dimensionner les ouvrages d'évacuation des eaux, notamment la dérivation provisoire et l'évacuateur des crues, une étude de crues des fleuves du Liban Nord a été éditée en juillet 1971 (Edition AE 06). On s'est servi des valeurs suivantes :

Retenue de Noura et Tahta	Débit de crue pour les périodes de retour			
	T = 10 ans	T = 100 ans	T = 1000 ans	T = 10.000 ans
B. V. = 552 km ²	300 m ³ /s	500 m ³ /s	830 m ³ /s	1270 m ³ /s

5 - CARACTERISTIQUES DE L'AMENAGEMENT

La présente étude de l'aménagement de Noura et Tahta prévoit la réalisation des ouvrages suivants :

- Barrage en enrochements avec noyau central étanche de 73 m de hauteur hors sol.

- Dérivation provisoire comprenant une galerie creusée dans la rive droite de la vallée associée à un prébatardeau.

- Vidange de fond : ce dispositif de la vidange de la retenue est installé en deuxième phase dans la dérivation provisoire. La vidange est équipée de deux vannes, l'une de garde et l'autre de réglage, commandées par servo-moteurs.

- Evacuateur de crues de surface à seuil déversant libre implanté en rive droite.

- Prise d'eau permettant l'utilisation des eaux de la retenue jusqu'à la cote de la tranche morte 95.00.

Le choix de l'implantation du barrage et des ouvrages annexes est fait en tenant compte des possibilités topographiques et géologiques du site.

Les apports en eau du Nahr el Kébir au droit du site sont largement supérieurs à 50 Mm³, volume de la retenue de Noura et Tahta, choisi au préalable pour élaborer le présent dossier ; on pourrait étudier dans l'avenir un barrage dont la taille permettrait une accumulation supérieure ou inférieure selon les besoins futurs. Le tableau suivant résume les principales caractéristiques de la solution étudiée.

CARACTERISTIQUES DE L'AMENAGEMENT DE NOURA ET TAHTA

RETENUE	Cote de la retenue normale (R.N.)	149,00
	Cote des plus hautes eaux (P.H.E.)	153,00
	Cote de la retenue minimale (P.B.E.)	95,00
	Volume total (Mm3)	50,00
	Volume utile (Mm3)	49,00
	Tranche morte (Mm3)	1,00
	Surface submergée sous la R.N. (ha)	183,50
BARRAGE	Cote du couronnement	155,00
	Hauteur hors sol (m)	73,00
	Longueur en crête (m)	495,00
	Volume des remblais (m3)	375.000,00
OUVRAGES ANNEXES	Capacité de l'évacuateur de crues sous P.H.E. (m3/s)	1.270
	Capacité de la dérivation provisoire sous 98.00 (m3/s)	300
	Capacité de la vidange de fond sous R.N. (m3/s)	200
	Débit pompé de la prise d'eau sous P.B.E. (m3/s)	7,5
COUT EN LL	Barrage	38.236.500
	Ouvrages annexes et divers	14.318.500
	Etudes, reconnaissances et imprévus	9.295.000
	Expropriations	1.950.000
	TOTAL	63.800.000

6 - CONCEPTION DES OUVRAGES

6.1 - Barrage (Plans N° 07 et 08)

La digue sera constituée par un noyau central mince en matériaux imperméables et par des recharges perméables amont et aval.

Les documents du présent dossier évaluent le volume du noyau à 580.000 m³ et le volume des recharges à 2.606.000 m³. La crête de la digue, large de 8m, sera située à la cote 155,00 ; le noyau large de 4m sera arasé à la cote minimum 153,00. Les limites amont et aval du noyau (présentant une pente de 1/0,2) seront telles que l'épaisseur du noyau assurera un gradient de 2 dans le lit de la rivière.

Un filtre de 6m d'épaisseur encadrera les faces amont et aval du noyau. Le volume du filtre est évalué à 367.000 m³. Un drain horizontal de 3m d'épaisseur séparera toute la recharge aval du terrain de fondation. Son rôle essentiel est de limiter la montée éventuelle de la nappe.

En stade final, la digue présentera à l'amont une risberme de 6m de largeur à la cote 130,00 et une risberme de 8m à la cote 100 ; les talus seront pentés à 2,2 : 1 entre le terrain naturel et la cote 100,00 , à 1 : 1,8 entre 100,00 et 130,00 et à 1 : 1,5 entre 130,00 et la crête de la digue.

Le talus aval de la digue aura une pente de 1 : 1,6 au-dessus d'une risberme de 6m à la cote 125,00 et de 1 : 2,0 entre 125,00 et 90,00 cote de la deuxième risberme de 8m de largeur ; cette pente se conservera en-dessous.

Matériaux constitutifs.

Les matériaux constitutifs du noyau de la digue proviendront du gisement de Janine dans la vallée du Nahr el Kébir à 5 km en aval de la retenue formée par une basse terrasse limono-sableuse.

Les filtres seront constitués par des alluvions choisies parmi les plus sableuses existantes dans le lit de la rivière et le drain horizontal par des alluvions criblées de manière à éliminer les petits éléments.

Les enrochements des recharges seront constitués par des basaltes massifs existants à proximité du site dans la partie supérieure des versants de la vallée du Nahr el Kébir où affleurent largement des basaltes sains.

6.2 - Voiles d'étanchéité (Plan N° 08)

Les quatre forages de reconnaissance ont montré que les pertes possibles seraient localisées au niveau des interfaces entre coulées et des zones de basaltes sains fissurés ; des cheminements horizontaux sont donc à craindre à partir des flancs de la retenue. Cependant l'éventualité de ces fuites ne pourra être confirmée que par des sondages de reconnaissance complémentaires sur les versants

./.

et en certains points du plateau basaltique. Si l'on s'en tient aux données de la géologie de surface et à l'hydrogéologie des complexes volcaniques stratifiés, on peut estimer que les pertes seront limitées pour les raisons citées au paragraphe 4.3.

A la lumière des données et des reconnaissances actuelles, on peut prévoir comme organes d'étanchéité :

1 - Des injections de peau exécutées à partir des forages de 5 à 15 m de profondeur répartis de part et d'autre du voile secondaire pour assurer la continuité d'étanchéité entre le noyau de la digue et le voile d'étanchéité et pour le traitement, en partie, des basaltes altérés sous-jacents aux alluvions décapées.

2 - Deux lignes d'injections secondaires encadrant le voile principal de 15 m de profondeur.

3 - Le voile profond implanté au milieu de la zone de contact noyau-fondations comprenant un voile de 50 m de profondeur dans le fond de la vallée ; sur les versants rive gauche et rive droite un voile de 50 m de profondeur en pied de versant et de 100 m au niveau de la crête de la digue.

On estime que la surface totale du voile exécuté selon les principes énoncés plus haut serait de l'ordre de 79.000 m².

6.3 - Dérivation provisoire. (Plans N° 07 et 09)

Pendant les travaux, les eaux du Nahr el Kébir seront dérivées par une galerie creusée dans la rive droite. Les fondations du barrage commenceront à l'abri d'un prébatardeau amont qui sera arasé à la cote 90,00 et implanté à l'aval de la tête amont de la dérivation provisoire.

En deuxième phase, la protection jusqu'au débit de 300 m³/s environ sera obtenue en isolant le chantier par le batardeau amont arasé à la cote 100.

La galerie de section fer à cheval de 5,3 m de diamètre sera entièrement revêtue. Sa longueur totale sera de 471,5 m, sa pente sera de 1,187 %.

Le seuil amont sera arasé à la cote 83,50 et sera muni d'un dispositif de batardage qui permettra d'aménager à sec la galerie de dérivation provisoire en vidange de fond; le seuil aval sera arasé à la cote 77,00 et formera l'appui de la cuillère de dissipation d'énergie de l'évacuateur de crues.

6.4 - Vidange de fond. (Plans N° 07 et 09)

La vidange de fond sera aménagée dans la galerie de dérivation provisoire.

Le réglage du débit de cette vidange sera obtenu par deux vannes, l'une de garde (vanne chenille 2,5 x 3,0m), l'autre de réglage (vanne à segment 3,0 x 3,0m) disposées en série distantes de 6m et commandées par des servo-moteurs

situés dans une chambre de manoeuvre de 6m de hauteur et de 5m de largeur excavés au-dessous de la partie sèche de la digue à la cote 89.35.

Les pertuis sous la chambre de manoeuvre des vannes seront raccordés avec la galerie de 5,30m de diamètre par une conduite blindée de 34m de longueur; en amont de la vanne de garde, le raccordement de la section en fer à cheval de la galerie à l'entrée rectangulaire du pertuis blindé s'effectuera sur une longueur de 8m.

L'accès du personnel et l'aération du jet de la vidange sur son pourtour à la sortie de la vanne à segment se fera par une galerie divisée en deux compartiments après montage du matériel de 147 m de longueur.

Sous la charge de la retenue normale, la vidange de fond pourra évacuer un débit de 200 m³/s environ à une vitesse de 26 m/s à la sortie de la vanne de réglage.

6.5 - Evacuateur de crues. (Plans N°07, 10)

L'évacuateur de crues sera un canal d'axe rectiligne creusé dans la rive droite, comportant un seuil déversant latéral libre de 80 m de longueur arasé à la cote 149,00 et un coursier collecteur de 216,5 m de longueur et de 20 m de largeur. Son profil sera constitué par un plan de pente 6% et de 82 m de longueur, terminé par un léger seuil de contrôle des débits.

Le coursier fera suite à cette zone de contrôle ; penté à 12% dans sa partie amont, il plongera ensuite à 23% pour suivre au mieux le profil du terrain naturel. Il sera terminé par une cuillère de dissipation d'énergie qui se conjuguera avec la sortie de la galerie de dérivation provisoire sur laquelle elle repose.

Le radier du seuil déversant de 2 m d'épaisseur moyenne s'amincira progressivement à l'aval et se raccordera au radier du coursier de 0,5m d'épaisseur. Les bajoyers se réduiront à des murs de soutènement et à un revêtement de l'excavation de 0,75 m d'épaisseur horizontale et de fruit 3/1 dans une coupe verticale courante du coursier.

Le seuil déversant libre pourra évacuer 1270 m³/s, crue décennalaire sous la cote des P.H.E. 153,00; l'effet de la tranche de laminage comprise entre les niveaux de la R.N. 149,00 et des P.H.E. 153,00 offrira une sécurité supplémentaire.

Une solution de déversoir à seuil libre est retenue pour des questions de sécurité et de simplicité de fonctionnement.

6.6 - Ouvrage de prise d'eau. (Plans N°07, 11)

La prise d'eau sera l'ouvrage d'exploitation de la retenue et servira aux prélèvements et aux réglages des débits nécessaires aux utilisations agricoles, industrielles et domestiques.

./.

Cet ouvrage sera constitué par une galerie implantée en rive gauche, de 516 m de longueur.

L'objectif essentiel de la galerie sera d'amener les eaux à la station de pompage.

En outre, cette galerie jouera durant les travaux un rôle important: elle servira de dérivation provisoire auxiliaire en saison sèche lors de la transformation de la dérivation provisoire en vidange de fond durant la dernière campagne de construction de la digue.

La galerie sera revêtue à section circulaire définitive (diamètre 3,00m) jusqu'au voile d'injection; à partir de ce point et jusqu'à la station de pompage, elle recevra, du fait de la couverture de terrain insuffisante, un blindage métallique de 2,25 m de diamètre.

La tête amont de la galerie sera munie d'une grille (3,5 x 8,00) et d'une vanne de garde (plate 3,50 x 4,00) relevables le long d'un chemin de roulement incliné formé d'un caisson en béton armé ayant une pente de 0,9/1 jusqu'à la cote de la crête du barrage.

Pour la cote du seuil d'entrée d'entrée de prise 95,00, niveau des plus basses eaux de la tranche utile de la retenue, le débit pompé sera 7,5 m³/s.

7 - ESTIMATION DES COUTS - RESUME

I - Coûts des ouvrages de génie civil	<u>Millions de LL</u>
- Digue en enrochements	45,100
- Voiles d'étanchéité	3,050
- Dérivation provisoire	2,950
- Evacuateur de crues	5,150
- Ouvrage de prise d'eau	3,550
- Vidange de fond	1,450
- Divers (routes)	<u>0,600</u>
	61,850
II - Expropriations	<u>1,950</u>
	63,800

Les coûts des ouvrages de génie civil comprennent les études, les reconnaissances, la surveillance du chantier et les imprévus. Le montant total du coût de cet aménagement s'élève à soixante trois millions huit cent mille livres libanaises pour un volume d'eau utile égal à quarante neuf millions de m3.

8 - CONCLUSION

La construction d'un barrage en enrochements sur le Nahr el Kébir au site étudié dans le présent rapport est possible sans difficulté technique considérable.

Le coût de cet ouvrage est relativement élevé vu la largeur de la vallée au droit du site et la hauteur de la digue.

Les besoins en eau à l'heure actuelle ne sont pas connus ; la taille de la digue est choisie pour accumuler 50 Mm³ d'eau.

L'étude pourrait être modifiée dans le futur en fonction de l'étude de gestion de la retenue.

Ce dossier présente une évaluation raisonnable des coûts et des possibilités de l'aménagement d'après les données de base actuellement disponibles.

Au stade de l'avant-projet détaillé, il faudrait apporter des détails sur les points suivants :

- la reconnaissance plus approfondie des fondations,
- la recherche plus poussée des matériaux du noyau étanche.

9 - DOCUMENTS UTILISES

1 - Documents établis en dehors du Projet.

- Prospection des sites (Avril 1963)
- Avant-projet d'aménagement du Nahr el Kébir (mai 1968 - A. Guerre)
- Possibilités d'emmagasinage sur le Nahr el Kébir (ONL juillet 1968 - Levrat)
- Barrage de Noura et Tahta (ONL septembre, novembre 1968)
- Note géologique préliminaire (ONL décembre 1968 - Petiteville)
- Catalogue des séismes ressentis au Liban (Observatoire de Ksara, mars 1968)
- Prix d'ordre Génie Civil (Royaume du Maroc - Ministère des T.P. S.E/D.E janvier 1970).

2 - Documents établis dans le cadre du projet

- Rapports de missions - SOFRELEC février 1969, mars 1971
- Etude géologique du site de barrage de Qarqaf (H.G. 24 septembre 1971).

3 - Publications techniques

- Manuel d'hydraulique générale (Armando - Lancaster - Editions Eyrolles 1969)
- Revues Travaux (Editions science et industrie)

N° 319 mai 1961 7ème congrès international des grands barrages
N° 353 avril 1964 8ème " " " " "
N° 390 septembre 1967 9ème " " " " "
N° 423 juin 1970 10ème " " " " "

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 NOURA ET TAHTA

sur le Nahr el Kébir

AVANT-METRE

GC 06

Pièce 02

Beyrouth, Octobre 1971.

BARRAGE DE NOURA ET TAHTA
SUR NAHR EL KEBIR

SOMMAIRE

	<u>Page</u>
- Récapitulation	2
- Avant-métré des ouvrages à Noura Et Tahta	
1 - Digue sur Nahr El Kébir	3
2 - Voiles d'étanchéité	5
3 - Dérivation provisoire	7
4 - Evacuateur de crues	10
5 - Ouvrage de prise d'eau	15
6 - Vidange de fond.	21

RECAPITULATION

Avant-métré.

- Déblais	416.000 m3
Dont à l'air libre	382.200 m3
en galerie	33.800
- Remblais	3750.000 m3
- Bétons	51.000 m3
Dont à l'air libre	37.200 m3
en galerie	13.800 m3
- Coffrages	33.800 m2
Dont à l'air libre	17.300 m2
en galerie	16.500 m2
- Forage pour injections	41.640 ml
- Produit sec injecté	3.970 T
- Aciers	1608.000 kg
- Blindage (acier)	215.500 kg
- Joint d'étanchéité	850 ml
- Soutènement	1.085 ml

I - Avant-métré

1 - Digue sur Nahr El Kébir

- 1.1 - Décapage pour les fondations 86.500 m²
 - 1.2 - Déblai pour l'ancrage du noyau central 190.000 m³
 - 1.3 - Déblai ballastières 0,05 x 3.750.000 = 187.500 m³
 - 1.4 - Remblai (volume total) 3.750.000 m³
- calculé à partir des coupes de la digue et du plan d'ensemble
- 1.4.1 - Recharge amont et aval (enrochements)

N° du profil	S _{m2}	S ₁ + S ₂ _{m2}	$\sqrt{S_1 S_2}$ _{m2}	Δl_m	$V = -\frac{\Delta l}{3} (S_1 + S_2 + \sqrt{S_1 S_2})$ m ³
0	0	2250	0	65	48700
1	2250	10910	4114	110	550800
2	8660	16560	8271	198	1637800
3	7900	10630	4644	62	314000
4	2730	2730	0	60	54700
5	0	Total volume enrochements			<u>2606000 m³</u>

1.4.2 - Noyau central imperméable (argile)

N° du profil	S _{m2}	S ₁ + S ₂ m ²	$\sqrt{S_1 S_2}$ m ²	Δl_m	$V = \frac{\Delta l}{3} (S_1 + S_2 + \sqrt{S_1 S_2})$ m ³
0	0	510	0	65	11.000
1	510	2210	930	110	148.000
2	1700	3455	1727	198	341.500
3	1755	2305	982	62	68.000
4	550	550	0	60	11.000
5	0	Total volume noyau			<u>580.000 m³</u>

1.4.3 - Filtres (protection du noyau)

N° du profil	S _{m2}	S ₁ + S ₂ m ²	$\sqrt{S_1 S_2}$ m ²	Δl_m	$V = \frac{\Delta l}{3} (S_1 + S_2 + \sqrt{S_1 S_2})$ m ³
0	0	490	0	68	10.600
1	490	1560	724	110	83.600
2	1070	2070	1034	198	204.700
3	1000	1736	858	62	53.500
4	736	736	0	60	14.600
5	0	Total volume filtres			<u>367.000 m³</u>

1.4.4 - Drains (pour le drainage des fondations)

N° du profil	S _{m2}	S ₁ + S ₂ m ²	$\sqrt{S_1 S_2}$ m ²	Δl _m	$V = \frac{\Delta l}{3} (S_1 + S_2 + \sqrt{S_1 S_2})$ m ³
0	0	230	0	65	5.000
1	230	930	400	110	48.800
2	700	1185	582	198	117.000
3	485	715	335	62	21.700
4	230	230	0	60	4.500
5	0	Total volume drains			197.000 m ³

2 - Voiles d'étanchéité

2.1 : Forages pour injections.

2.1.1. - Voiles de traitement de surface y compris les basaltes altérés sous-jacents aux alluvions.

- On prévoit en moyenne 5 lignes de forages d'injections de profondeur variable entre 5 et 15 et distantes de 2,5 m sous le noyau central (profondeur moyenne 9 m).

- Longueur des forages $\frac{5 \times 4450}{2,5} = 8900$ ml

2.1.2 - Voiles secondaires : 2 lignes de forages d'injections de 15 m de profondeur entourants le voile principal; écartement des forages 2,5 m.

- Longueur de forages $\frac{2 \times 8150}{2,5} = 6520$ ml

2.1.2 - Voile principal : on prévoit un voile de 50 m de profondeur dans le fond de la vallée, sur les versants rive gauche et rive droite un voile de 50 m de profondeur en pied de versant et de 100 m au niveau de la crête du barrage. Le voile est prolongé de 50 m de part d et d'autre de l'extrémité de la crête (profondeur moyenne 68 m).

- Longueur des forages $\frac{40550}{25} = 16220$ ml
Longueur totale des forages : 41640 ml.

2.2. - Coulis d'injections :

L'absorption moyenne est estimée à 50 kg/m² du voile.

- Section d'injections $5 \times 4450 + 2 \times 8150 + 40550 = 79350$ m²

- Poids du produit sec injecté:

$79350 \times 0,05 = \underline{3970 \text{ T.}}$

3 - Dérivation provisoire.

3.1 - Déblai à l'air libre

3.1.1 - Entrée de la galerie

- au-dessus du mur frontal.

$$22 \times 22 \times 4 + \frac{1}{3} \times 50 \times 18 \quad 2250 \text{ m}^3$$

- à l'entrée de la galerie

$$S_1 = 151,5 \text{ m}^2 \quad l_1 = 14 \text{ m} \quad S_2 = 69 \text{ m}^2$$

$$l_2 = 11 \text{ m} \quad S_3 = 13$$

$$\frac{1}{2} (151,5 + 69) \times 14 + \frac{1}{2} (69 + 13) \times 11 \quad 2000 \text{ m}^3$$

$$4250 \text{ m}^3$$

3.1.2 - sortie de la galerie

$$S_1 = 445 \text{ m}^2 \quad l_1 = 40 \text{ m} \quad S_2 = 470 \text{ m}^2$$

$$l_2 = 38 \text{ m} \quad S_3 = 310 \text{ m}^2 \quad l_3 = 32 \text{ m} \quad S_4 = 0$$

$$\frac{1}{2} (445 + 470) \times 40 + \frac{1}{2} [470 + 310] \times 38 + \frac{1}{2} \times 310 \times 32 \quad 38000 \text{ m}^3$$

Total déblai à l'air libre 42250 m³

3.2 - Déblai en galerie

$$\text{galerie } l = 461,5 \text{ m} \quad \Delta = 5,3 \text{ m} \quad e = 0,35 \text{ m}$$

$$\text{diffuseur } l = 10 \text{ m} \quad 5,3 \leq \Delta \leq 10 \quad 0,35 \leq e \leq 0,5$$

$$35,57 \times 461,5 + \frac{1}{2} (35,57 + 55) \times 10 \quad 16850 \text{ m}^3$$

Total déblai en galerie 16850 m³

3.3 - Hors profils (déblai)

$$0,1 \times 16850 \quad 1700 \text{ m}^3$$

3.4 - Béton à l'air libre

3.4.1 - Entrée de la galerie

- mur frontal $5,3 \leq l \leq 18 \text{ m}$ $h = 6,2 \text{ m}$
 $e = 1 \text{ m}$

$$\frac{1}{2} (5,3 + 18) \times 6,2 \times 1 \quad 75 \text{ m}^3$$

- mur R.G $7 \leq h_1 \leq 11,5$ $l_1 = 11 \text{ m}$

$2,5 \leq h_2 \leq 7$ $l_2 = 14 \text{ m}$ $e = 1 \text{ m}$

$$\frac{1}{2} (7+11,5) \times 11 \times 1 + \frac{1}{2} (2,5+7) \times 14 \times 1 \quad 200 \text{ m}^3$$

- mur R.D

$$\frac{1}{2} (7+11,5) \times 11 \times 1 + \frac{1}{2} (2,5 + 7) \times 14 \times 1 \quad 200 \text{ m}^3$$

- radier $l = 25 \text{ m}$ $e = 0,5 \text{ m}$

$5,3 \leq \text{largeur} \leq 10 \text{ m}$

$$\frac{1}{2} (5,3 + 10) \times 25 \times 0,5 \quad 95 \text{ m}^2$$

570 m³

3.4.2 - Sortie de la galerie

- mur R.G $h = 8 \text{ m}$ $l = 34 \text{ m}$ $e = 1 \text{ m}$

$$34 \times 8 \times 1 \quad 270 \text{ m}^3$$

- mur R.D $h = 8 \text{ m}$ $l = 50 \text{ m}$ $e = 1 \text{ m}$

$$50 \times 8 \times 1 \quad 400 \text{ m}^3$$

- radier $l = 30 \text{ m}$ $e = 0,5 \text{ m}$

$10 \leq \text{largeur} \leq 23 \text{ m}$

$$\frac{1}{2} (10 + 23) \times 0,5 \times 30 \quad 260 \text{ m}^3$$

930 m³

Total béton à l'air libre 1500 m³

3.5 - Béton en galerie

- galerie $l = 461,5 \text{ m}$ $\Delta = 5,3 \text{ m}$ $e = 0,35 \text{ m}$

- diffuseur $l = 10 \text{ m}$ $5,3 \leq \Delta \leq 10 \text{ m}$ $0,35 \text{ m} \leq e \leq 0,50 \text{ m}$

$$12,33 \times 461,5 + \frac{1}{2} (12,33 + 14) \times 10 \quad 5875 \text{ m}^3$$

Total béton en galerie 5875 m³

3.6 - Hors profils (béton) 1700 m³

3.7 - Coffrage à l'air libre.

3.7.1 - Entrée de la galerie

- mur frontal $5,3 \leq l \leq 18 \text{ m}$ $h = 6,2 \text{ m}$

$$\frac{1}{2} (5,3 + 18) \times 6,2 \quad 75 \text{ m}^2$$

- mur R.G. $7 \leq h_1 \leq 11,5 \text{ m}$ $l_1 = 11 \text{ m}$

$2,5 \leq h_2 \leq 7 \text{ m}$ $l_2 = 14 \text{ m}$

$$\frac{1}{2} (7 + 11,5) \times 11 + \frac{1}{2} (2,5 + 7) \times 14 \quad 200 \text{ m}^2$$

- mur R.G.

$$\frac{1}{2} (7 + 11,5) \times 11 + \frac{1}{2} (2,5 + 7) \times 14 \quad 200 \text{ m}^2$$

475 m²

3.7.2 - Sortie de la galerie

- mur R.G. $h = 8 \text{ m}$ $l = 34 \text{ m}$

$$34 \times 8 \quad 275 \text{ m}^2$$

- mur R.D. $h = 8 \text{ m}$ $l = 50 \text{ m}$

$$50 \times 8 \quad 400 \text{ m}^2$$

675 m²

Total coffrage à l'air libre 1150 m²

3.8 - Coffrage en galerie

galerie $\Delta = 5,3 \text{ m}$ $l = 461,5 \text{ m}$

diffuseur $5,3 \leq \Delta \leq 10 \text{ m}$ $l = 10 \text{ m}$

$17,28 \times 461,5 + \frac{1}{2} (17,28 + 24,5) 10$ 8150 m²

Total coffrage en galerie 8150 m²

3.9 - Acier pour béton

3.9.1 - Béton à l'air libre : 20 kg/m³

1500 x 20 30000 kg

3.9.2 - Béton en galerie 20 kg/m³

5875 x 20 117500 kg

147500 kg

3.10 - Remblai pour prébatardeau

3.10.1 - Enrochements de carrière 4500 m³

3.10.2 - Noyau central imperméable 5500 m³

3.10.3 - Filtres 2500 m³

4 - Evacuateur de crues de surface.

4.1 - Déblai rocheux à l'air libre.

4.1.1 - Entonnement de l'évacuateur .

$\frac{1}{3} \frac{1}{2} (19 \times 12 + 12 \times 12) \times 65 + \frac{1}{2} \left[\frac{1}{2} (19 + 12 + 12 \times 12) + \frac{1}{2} (18 \times 12) \right] 25 = 8500 \text{ m}^3$

4.1.2 - Seuil deversant de l'évacuateur (l=70 m)

S coupe A - A = $\frac{6950}{25} = 278 \text{ m}^2$

278 x 70 19000 m³

- 11. -

4.1.3 - Partie centrale (l = 64,5 m)

$$S \text{ coupe BB} = \frac{16660}{25} = 666 \text{ m}^2$$

$$\frac{1}{2} (278 + 666) \times 32 + 666 \times 32,5$$

36500 m³

4.1.3 - Coursier (l = 234 m)

$$S \text{ coupe C-C} = \frac{11950}{25} = 478 \text{ m}^2$$

$$S \text{ coupe D-D} = \frac{3250}{25} = 130 \text{ m}^2$$

Volume compris entre le début du coursier et la coupe CC

$$478 \times 666$$

32200 m³

Volume compris entre la coupe C-C jusqu'à 59 m à l'aval de C-C

$$\frac{1}{2} (478 + 130) \times 59$$

18000 m³

Volume compris entre la section a 59 m à l'aval de CC et la coupe D-D

$$130 \times 41$$

5300 m³

Volume compris entre la coupe D-D et la fin du coursier

$$S \text{ fin coursier} = \frac{1}{2} 24 \times 12 + 12 + 20 = 264 \text{ m}^2$$

$$\frac{1}{2} (130 + 264) \times 68$$

13500 m³

Volume déblai du coursier

69000 m³

Total volume déblai 133000 m³

4.2 - Béton à l'air libre

4.2.1 - Seuil deversant et canal de reception

$$\text{- Seuil deversant } S = \frac{850}{25} = 34 \text{ m}^2 \quad l = 77 \text{ m}$$

$$34 \times 77$$

2620 m³

$$\text{- mur R.D : } S = \frac{1100}{25} = 44 \text{ m}^2 \quad l = 94 \text{ m}$$

$$44 \times 94$$

4130 m³

$$\text{- radier } 1,5 \leq e \leq 2,5 \text{ m} \quad l = 82,5 \text{ m}$$

$$0 \leq \text{largeur} \leq 20 \text{ m}$$

$$\frac{1}{2} [(0+20) (1,5+2,5)] 82,5$$

1650 m³

8400 m³

4.2.2 - Partie centrale

- mur R.G $S_1 = \frac{2620}{25} = 105 \text{ m}^2$ $l_1 = 51 \text{ m}$

$S_2 = \frac{320}{25} = 13 \text{ m}^2$ $l_2 = 19 \text{ m}$

$105 \times 51 + \frac{1}{2}(105+13) \times 19$ 6470 m³

- mur R.D $S_1 = \frac{2580}{25} = 103 \text{ m}^2$ $l_1 = 27 \text{ m}$

$S_2 = \frac{320}{25} = 13 \text{ m}^2$ $l_1 = 19 \text{ m}$

$103 \times 27 + \frac{1}{2}(103 + 13) \times 19$ 3880 m³

- radier $3,5 \geq e \geq 2,0 \text{ m}$ $l_1 = 17,5 \text{ m}$

largeur = 20 m

$2,0 \geq e \geq 0,5 \text{ m}$ $l_2 = 34,5 \text{ m}$ largeur 20 m

$\frac{1}{2} [(3,5 + 2,0) \times 17,5 + (2,0 + 0,5) \times 34,5] \times 20 =$ 1820 m³

- poutres

$4 \times 2,0 \times 1,0 \times 20 + 0,5 \times 6,0 \times 20$ 220 m³

12390 m³

4.2.3 - Coursier

- bajoyer R.G $S = 13 \text{ m}^2$ $l = 234 \text{ m}$

13×234 3120 m³

- bajoyer R.D $S = 13 \text{ m}^2$ $l = 234 \text{ m}$

13×234 3120 m³

- coursier $e = 0,5 \text{ m}$ $l = 234 \text{ m}$

largeur = 17 m

cuiller de dispersion $e = 3 \text{ m}$ $l = 10 \text{ m}$

largeur 20 m

$0,5 \times 234 \times 17 + 3 \times 10 \times 20$ 2570 m³

8810 m³

Total béton de l'évacuateur 29600 m³

4.3 - Coffrage.

4.3.1 - Seuil deversant et canal de reception

- seuil deversant $P = 13 \text{ m}$ $l = 77 \text{ m}$
 13×77 1000 m²

- mur R.D $P = 26,5 \text{ m}$ $l = 94 \text{ m}$
 $26,5 \times 94$ 2490 m²

3490 m²

4.3.2 - Partie Centrale

- mur R.G $P_1 = 32 \text{ m}$ $l_1 = 51 \text{ m}$

$P_2 = 8,5 \text{ m}$ $l_2 = 19 \text{ m}$

$32 \times 51 + \frac{1}{2}(32+8,5) \times 19$ 2020 m²

- mur R.D $P_1 = 34 \text{ m}$ $l_1 = 27 \text{ m}$

$P_2 = 5 \text{ m}$ $l_2 = 19 \text{ m}$

$34 \times 27 + \frac{1}{2}(34+5) \times 19$ 1290 m²

- poutres

$4 \times 5 \times 20 + 6 \times 20$

520 m²

3835 m²

4.3.3 - Coursier

- mur R.G $P \text{ moy} = 7,5 \text{ m}$ $l = 234 \text{ m}$

$7,5 \times 234$ 1755 m²

- mur R.D $P = 5 \text{ m}$ $l = 234 \text{ m}$

5×234 1170 m²

2925 m²

Total des coffrages de l'évacuateur 10000 m²

4.4 - Acier

4.4.1 - Acier pour béton

40 kg d'acier par m³ pour les murs

30 kg d'acier par m³ pour le radier

Seuil deversant et canal de reception

- Seuil deversant	2620 x 40	104800 kg
- mur R.D	4135 x 40	165400 kg
- radier	1650 x 30	49500 kg

Partie Centrale

- mur R.G	6470 x 40	258800 kg
- mur R.D	3880 x 40	155200 kg
- radier	1820 x 30	54600 kg
- poutres	220 x 40	8800 kg

Coursier

- bajoyer R.G	3120 x 40	124800 kg
- bajoyer R.D	3120 x 40	124800 kg
- Coursier	2580 x 30	77400 kg

1124000 kg

4.4.2 - Acier pour ancrage

le radier est ancré à l'amont de la galerie
de drainage

les murs sont ancrés dans le rocher tout le
long de l'évacuateur

$$\phi = 32, \quad l = 4 \text{ m} \quad d = 4 \text{ m}$$

- 15 -

- bajoyer R.G	$\frac{260}{4} \times 6,15$	4000 kg
- bajoyer R.D	$2 \times \frac{390}{4} \times 6,15$	12000 kg
- radier	$6 \times \frac{100}{4} \times 6,15$	9000 kg
		<hr/>
		25000 kg

Total acier 1124000 + 25000 = 1150000 kg

4.5 - Joints d'étanchéité

1 joint Water stop chaque 15 m

- seuil deversant et canal de reception

	$\frac{70}{15} \times 32$	150 ml
- partie centrale	$\frac{64,5}{15} \times 54$	230 ml
- Coursier	$\frac{234}{15} \times 30$	<hr/> 470 ml
		850 ml

5 - Ouvrage de prise d'eau

5.1 - Déblai à l'air libre

5.1.1 - déblai dans la retenue

- à l'amont du bloc de fondation (cote 86,0)

$$\frac{1}{3} \left(\frac{10,5 + 26}{2} \right) \times 15,5 \quad 1600 \text{ m}^3$$

- tranche comprise entre le début du bloc de fondation et la limite de la 1ere phase

$$S = 180 \text{ m}^2 \quad S = 350 \text{ m}^2 \quad l = 11,25 \text{ m}$$

$$\frac{1}{2} (180 + 350) \times 11,25 \quad 2950 \text{ m}^3$$

- pour le chemin de roulement

$$S = 165 \text{ m}^2 \quad \text{largeur } 6 \text{ m}$$

$$165 \times 6 \quad 1000 \text{ m}^3$$

$$\hr/>5550 \text{ m}^3$$

5.1.2 - déblai à la sortie de la galerie de prise
- à l'emplacement du diffuseur
200 x 12 2400 m³
- à la sortie
 $\frac{1}{2} \left[\frac{1}{2} (20+5) \times 10 + \frac{1}{2} (20+13) \times 4 \right] 40 + \left(\frac{20 \times 50}{2} \right) 4 =$ 5800 m³
8200 m³

5.1.3 - déblai à l'entrée de la galerie
d'accès à la salle des machines
 $\frac{1}{2} \left[\frac{1}{2} (25 + 7) \times 12 + \frac{1}{2} \times 22 \times 7 \right] \times 18$ 2400 m³
Total déblai à l'air libre 16150 m³

5.2 - Déblai en galerie

5.2.1 - déblai dans la galerie de prise
- à l'entrée entre la fin de la 1ère phase
et le début de la galerie circulaire
 $\frac{1}{2} \left[\frac{1}{2} (10 + 6,5) \times 9 + \pi \times 4 \right] \times 6$ 250 m³
- galerie (ϕ déblai = 3,5 m l = 476 m)
 $\times \left(\frac{3,5}{2} \right)^2 \times 476$ 4550 m³

5.2.2 - déblai dans la galerie d'accès à la
salle des machines S = 18 m² l = 65 m
18 x 65 1170 m³

5.2.3 - déblai dans la salle des machines
de la station de pompage S = 115 m² l = 25
115 x 25 2885 m³

Total déblai en galerie 8855 m³

5.3 - Hors profils (déblai)

0,1 x 8855 885 m³

5.4 - Béton à l'air libre

5.4.1 - béton dans la retenue

- bloc de fondation jusqu'à la cote 95 limité par le début de la 1ère phase

$$\left[\frac{1}{2} (10,5 + 6,5) \times 10 \right] \times 10 - \left(\frac{4+3}{2} \right)^2 \times 5 \quad 800 \text{ m}^3$$

- section du bloc d'appui de la grille

$$\frac{1}{2} (5+7) \times 6 \times 6 \quad 215 \text{ m}^3$$

- tranche du chemin de roulement ayant pour section type la coupe CC

$$S = 21 \text{ m}^2 \quad l = 24,75 \text{ m}$$

$$21 \times 24,75 \quad 520 \text{ m}^3$$

- tranche du chemin de roulement ayant pour section moyenne la coupe BB

$$S = 32 \text{ m}^2 \quad l = 42$$

$$34 \times 42 \quad 1460$$

- tranche du chemin de roulement ayant pour section type la coupe AA

$$S = 36,5 \text{ m} \quad l = 17 \text{ m}$$

$$36,5 \times 17 \quad \frac{620}{3615 \text{ m}^3}$$

5.4.2 - béton à la sortie de la galerie de prise

- diffuseur $\phi_1 = 3,0 \text{ m}$ $\phi_2 = 5,0 \text{ m}$ $e = 1,0 \text{ m}$

$$l = 15,0 \text{ m}$$

$$\pi \left(\frac{3+5}{2} \right)^2 \times 1 \times 15$$

760 m³

- mur frontal $h = 5 \text{ m}$ $e = 1 \text{ m}$ $l = 75 \text{ m}$

$$5 \times 1 \times 15$$

75 m³

- mur R.G $h_1 = 10 \text{ m}$ $e = 1 \text{ m}$ $l_1 = 40 \text{ m}$

$$4 \leq h_2 \leq 10 \text{ m} \quad e = 1 \text{ m} \quad l_2 = 35 \text{ m}$$

$$10 \times 1 \times 40 + \frac{1}{2} (10+4) \times 1 \times 35$$

645 m³

- mur R.D $h_1 = 10 \text{ m}$ $e = 1 \text{ m}$ $l_1 = 9 \text{ m}$

$$1 \leq h_2 \leq 10 \text{ m} \quad e = 1 \text{ m} \quad l_2 = 31 \text{ m}$$

$$10 \times 1 \times 9 + \frac{1}{2} (10 + 1) \times 1 \times 31$$

260 m³

- radier $5 \leq \text{largeur} \leq 13 \text{ m}$ $e = 0,5 \text{ m}$

$$l = 40 \text{ m}$$

$$\frac{1}{2} (5+13) \times 0,5 \times 40$$

180 m³

1900 m³

5.4.3 - béton à l'entrée de la galerie d'accès
à la salle des machines

- mur frontal $h = 7,75 \text{ m}$ $e = 1 \text{ m}$

$$7 \leq l \leq 23 \text{ m}$$

$$\frac{1}{2} (7+23) \times 1 \times 7,75$$

110 m³

- mur R.G. $0 \leq h \leq 12 \text{ m}$ $e = 1 \text{ m}$ $l = 15 \text{ m}$

$$\frac{1}{2} (12+0) \times 1 \times 15$$

90 m³

- mur R.D $5 \leq h \leq 12 \text{ m}$ $e = 1 \text{ m}$ $l = 10 \text{ m}$

$$\frac{1}{2} (12 + 5) \times 1 \times 10$$

85 m³

285 m³

Total béton à l'air libre 5800 m³

5.5 - Bétons en galerie

5.5.1 - béton dans la galerie de prise

- à l'entrée entre la fin de la 1ère phase et le début de la galerie circulaire

$$250 - \pi \times \left(\frac{3}{2}\right)^2 \times 6 \quad 210 \text{ m}^3$$

- galerie (ϕ déblai = 3,5 m ϕ = 3 m l = 476 m)

$$\pi \left[\left(\frac{3,5}{2}\right)^2 - \left(\frac{3}{2}\right)^2 \right] \times 476 \quad 1200 \text{ m}^3$$

$$1410 \text{ m}^3$$

5.5.2 - béton dans la galerie d'accès à la salle des machines

$$S \text{ déblai} = 18,0 \text{ m}^2 \quad S \text{ liore} = 14,3 \text{ m}^2 \quad l = 65 \text{ m}$$

$$(18,0 - 14,3) \times 65 \quad 240 \text{ m}^3$$

5.5.3 - béton dans la salle des machines de la station de pompage

$$S \text{ déblai} = 115 \text{ m}^2 \quad S \text{ vide} = 81 \text{ m}^2 \quad l = 25 \text{ m}$$

$$(115 - 81) \times 25 \quad 850 \text{ m}^3$$

Total béton en galerie 2500 m³

5.6 - Hors-profils (béton)

$$0,1 \times 8855 = \underline{885 \text{ m}^3}$$

5.7 - Coffrage à l'air libre

- 5.7.1 - coffrage dans la retenue
- coffrage pour le bloc de fondation

$$2 \left((6,5 + 10,5) \times 10 + \frac{1}{2} (\pi \times 3 + \pi \times 4) \times 7 \right) \quad 125 \text{ m}^2$$

- tranche du chemin de roulement ayant pour section la coupe CC P = 26,9 m l = 31 m

$$26,9 \times 31 + \pi \times 10,75 \times 31 \quad 910 \text{ m}^2$$

- tranche du chemin de roulement ayant pour section moyenne la coupe BB P = 51 m l = 42 m

$$51 \times 42 \quad 2140 \text{ m}^2$$

- tranche du chemin de roulement ayant pour section la coupe AA P = 56 m l = 17 m

$$56 \times 17 \quad 950 \text{ m}^2$$

$$4125 \text{ m}^2$$

5.7.2 - Coffrage à la sortie de la galerie de prise

- diffuseur $\phi_1 = 3,0 \text{ m}$ $\phi_2 = 5,0 \text{ m}$ $e = 1 \text{ m}$

$$l = 15,0 \text{ m}$$

$$\frac{1}{2} \left[\left(\frac{3+1}{2} \right) + \left(\frac{5+1}{2} \right) \right] \pi \times 15 \quad 120 \text{ m}^2$$

- mur frontal $h = 5 \text{ m}$ $l = 15 \text{ m}$

$$2 \times 5 \times 15 \quad 150 \text{ m}^2$$

- mur R.G $h_1 = 10 \text{ m}$ $l_1 = 40 \text{ m}$

$$4 \leq h_2 \leq 10 \text{ m} \quad l_2 = 35 \text{ m}$$

$$10 \times 40 + \frac{1}{2} (4+10) \times 35 \quad 645 \text{ m}^2$$

- mur R.D $h_1 = 10 \text{ m}$ $l_1 = 9 \text{ m}$

$$1 \leq h_2 \leq 10 \text{ m} \quad l_2 = 35 \text{ m}$$

$$2 \times 10 \times 9 + \frac{1}{2} (10 + 1) \times 31 \quad 520 \text{ m}^2$$

$$1435 \text{ m}^2$$

5.7.3 - Coffrage à l'entrée de la galerie
d'accès à la salle des machines

- mur frontal $h = 7,75 \text{ m}$ $7 \leq l_1 \leq 23 \text{ m}$

$$\frac{1}{2} (7+23) \times 7,75 \quad 110 \text{ m}^2$$

- mur R.G $0 \leq h_1 \leq 12 \text{ m}$ $l = 15 \text{ m}$

$$\frac{1}{2} (12+0) \times 15 \quad 90 \text{ m}^2$$

- mur R.D $5 \leq h_1 \leq 12 \text{ m}$ $l = 10 \text{ m}$

$$\frac{1}{2} (12+5) \times 10$$

$$85$$

$$285 \text{ m}^2$$

Total coffrage à l'air libre 5845 m²

5.8 - Coffrage en galerie

5.8.1 - Coffrage dans la galerie de prise

- galerie $\phi = 3,0$ m $l = 476+6 = 482$ m

$\pi \times 3,0 \times 482$ 4550 m²

5.8.2 - Coffrage dans la galerie d'accès

à la salle des machines $P = 14,2$ m $l = 65$ m

$14,2 \times 65$ 925 m²

5.8.3 - Coffrage dans la salle des machines de

la station de pompage $P = 50$ m $l = 25$ m

50×25 1250 m²

Total coffrage en galerie 6725 m²

5.9 - Acier pour béton

- béton à l'air libre : 40 kg /m³ de béton

5200×40 208000 kg

- béton à galerie : 20 kg/m³ de béton

2500×20 50000 kg

258000 kg

5.10 - Blindage ($\phi \doteq 2,25$ m $e = 25$ mm $l = 112$ m)

- entre le début du filtre amont jusqu'à la station

$3,14 \times 2,25 \times 0,025 \times 112 \times 7,600$ 150000 kg

6 - Vidange de fond .

6.1 - Déblai à l'air libre

- Entrée de la galerie d'accès à la chambre des vannes

$S_1 = 123$ m² $S_2 = 0$ $l = 17$ m

$\frac{1}{3} \times 123 \times 17$ 700 m³

Total déblai à l'air libre 700 m³

6.2 - Déblai en galerie

6.2.1 - galerie d'accès à la chambre des vannes

$$S = 13,2 \text{ m}^2 \quad l = 147 \text{ m}$$

$$13,2 \times 147$$

1950 m³

6.2.2 - ouvrages de vidange de fond

- à l'amont de la chambre des vannes

$$S = 10 \text{ m}^2 \quad 6 \leq \text{largeur} \leq 7 \text{ m}$$

$$\frac{1}{2} - (6+7) \times 10$$

70 m³

- chambre des vannes et sous la chambre des vannes

$$S = 248,5 - 6 \times 14 = 164,5 \text{ m}^2 \quad l = 14 \text{ m}$$

$$164,5 \times 15$$

2305 m³

- à l'aval de la chambre des vannes

$$S = 14 \text{ m}^2$$

$$\text{largeur} = 7 \text{ m}$$

$$14 \times 7$$

100 m³

2475 m³

Total déblai en galerie 4425 m³

6.3 - Hors-profils (déblai) 450 m³

6.4 - Béton à l'air libre

- Entrée de la galerie d'accès à la chambre des vannes

- mur frontal $3,5 \leq l \leq 17 \text{ m}$ $h = 8,5 \text{ m}$ $e = 1 \text{ m}$

$$\frac{1}{2} (3,5 + 17) \times 8,5 \times 7$$

90 m³

- mur R.G $0 \leq h \leq 12 \text{ m}$ $l = 17 \text{ m}$ $e = 1 \text{ m}$

$$\frac{1}{2} \times 12 \times 17 \times 1$$

100 m³

- mur R.D

100 m³

290 m³

Total béton à l'air libre 290 m³

6.5 - Béton en galerie

6.5.1 - galerie d'accès à la chambre des vannes

$$S = 13,2 - 10,9 = 2,3 \text{ m}^2 \quad l = 147 \text{ m}$$

$$2,3 \times 147 \quad 340 \text{ m}^3$$

6.5.2 - ouvrage de vidange de fond

- à l'amont de la chambre des vannes

$$S = 18 \text{ m}^2 \quad 6 \leq \text{largeur} \leq 7 \text{ m}$$

$$\frac{1}{2} (6+7) \times 18 \quad 120 \text{ m}^3$$

- chambre des vannes

$$S_1 = 8,00 \text{ m}^2 \quad l = 14 \text{ m} \quad S_2 = 25,5 \text{ m}^2 \quad e = 1,9 \text{ m}$$

$$8,00 \times 14 + 2 \times 25,5 \times 1,0 \quad 165 \text{ m}^3$$

- sous la chambre des vannes

- à l'amont de la vanne de garde

$$S_1 = 58,0 \text{ m}^2 \quad S_2 = 66,5 \text{ m}^2 \quad l = 3,5 \text{ m}$$

$$\frac{1}{2} (58,0 + 66,5) \times 3,5 \quad 820 \text{ m}^3$$

- entre les deux vannes

$$S = 66,5 \text{ m}^2 \quad l = 7 \text{ m}$$

$$66,5 \times 7 \quad 465 \text{ m}^3$$

- à l'aval de la vanne de réglage

$$S_1 = 56,5 \text{ m}^2 \quad l = 4 \text{ m}$$

$$56,5 \times 4 \quad 225 \text{ m}^3$$

- bloc d'appui de la vanne de réglage

$$S = 8 \text{ m}^2 \quad \text{largeur } 7 \text{ m}$$

$$8 \times 7 \quad 55 \text{ m}^3$$

- partie blindée à l'aval de la chambre des vannes

$$S = 15,5 \text{ m}^2 \quad \text{largeur développée} = 12,5 \text{ m}$$

$$15,5 \times 12,5 \quad 195 \text{ m}^3$$

$$\text{Total béton en galerie } \underline{1785 \text{ m}^3} \quad \underline{1745 \text{ m}^3}$$

6.6 - Hors -profils (béton) 440 m³

6.7 - Coffrage à l'air libre

6.7.1 - entrée de la galerie d'accès à la chambre
des vannes

- mur frontal $3,5 \leq l \leq 17$ m $h = 8,5$ m

$\frac{1}{2} (3,5 + 17) \times 8,5$ 90 m²

- mur R.G $0 \leq h \leq 12$ m $l = 17$ m

$\frac{1}{2} \times 12 \times 17$ 100 m²

- mur R.D 100 m²

290 m²

Total coffrage à l'air libre 290 m²

6.8 - Coffrage en galerie

6.8.1 - galerie d'accès à la chambre des vannes

$P = 9$ m $l = 147$ m

9×147 1325 m²

6.8.2 - ouvrage de vidange de fond

- chambre des vannes

$P = 14,5$ m $l = 12$ m $S = 21,50$ m²

$14,5 \times 12 + 2 \times 21,50$ 220 m²

- sous radier de la chambre des vannes

\ 4×8 32 m²

- bloc d'appui de la vanne de réglage

$P = 17$ m $l = 6$ m

17×6 103 m²

355 m²

Total coffrage en galerie 1680 m²

6.9 - Acier pour béton

- béton à l'air libre 20 kg/m³

290 x 20

5900 kg

- béton en galerie 20 kg /m³

1785 x 20

35700 kg

41 500 kg

Total acier pour béton 41 500 kg

6.10 - Blindage de la vidange de fond.

- surface blindée

$$\frac{1}{2} [2\pi \times 2,65 + 2(2,5 + 3)] \times 8 + 2(2,5+3) \times 7 \\ + 12,5 \times 19,5 = 430 \text{ m}^2$$

S blindée = 430 m² e = 20 mm

Poids : 430 x 0,02 x 7,600

65500 kg

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 NOURA ET TAHTA

sur le Nahr el Kébir

ESTIMATION DES COUTS

GC 06

Pièce 03

Beyrouth, décembre 1971

BARRAGE DE NOURA ET TAHTA

SOMMAIRE

	<u>Page</u>
Récapitulation	2
Estimation des coûts	3
Bordereau des prix unitaires	4
I - Devis estimatif des ouvrages	5
1 - Digue en enrochements	5
2 - Voiles d'étanchéité	5
3 - Dérivation provisoire	6
4 - Evacuateur de crues	6
5 - Ouvrage de prise d'eau	7
6 - Vidange de fond	7
7 - Divers	8
II - Estimation du coût des expropriations	8

RECAPITULATION

Coûts (en millions de LL.)

I - Coûts des ouvrages de génie civil

- Digue en enrochements	45,100
- Voile d'étanchéité	3,050
- Dérivation provisoire	2,950
- Evacuateur de crues	5,150
- Ouvrage de prise d'eau	3,550
- Vidange de fond	1,450
- Divers (routes)	0,600

61,850

II - Expropriations

1,950

Coût total du barrage pour un
volume utile de 49,0 Mm³

63,800 Millions de LL.

ESTIMATION DES COUTS

Les prix unitaires de la présente estimation comprennent :

- Les dépenses directes de main-d'oeuvre, matériel et fournitures, majorées des frais généraux, bénéfiques et taxes.

- Les frais d'installation de chantier, y compris les dépenses engagées pour le logement de la main-d'oeuvre (notamment : cités provisoires).

- Les dépenses pour ouvrages d'importance réduite (plate-formes, pistes d'accès, radiers, etc...).

- Les prix secondaires de bordereau et les dépenses de prestations accessoires ou travaux annexes.

Ces prix d'ordre correspondent à des prix de règlement en fin de chantier et tiennent compte des ajustements de prix et de quantités intervenant en cours de travaux, qui correspondent à une majoration de 15 % dans le cas d'un marché établi.

Pour établir le devis de cet avant-projet, on n'applique donc aux quantités correspondantes que les seuls prix mentionnés ci-après.

Ces prix unitaires sont établis sur la base des prix unitaires pratiqués au Liban, en France et au Maroc pour des ouvrages similaires.

Dans le détail estimatif ainsi obtenu, on indique le numéro de chaque prix. Les coûts des expropriations sont calculés suivant les normes actuellement en vigueur pour la région concernée.

BORDEREAU DES PRIX UNITAIRES

N°	Désignation	Unité	Prix unitaire L.L.
Série des terrassements			
1	Décapage et préparation du terrain	m2	2,00
2	Déblai à l'air libre en terrain rocheux	m3	9,00
3 *	Déblai en galerie	m3	var */
4 *	Hors profils déblai en galerie	m3	var */
5	Remblai en enrochements de carrière	m3	8,25
6	Remblai du noyau imperméable	m3	8,50
7	Filtres	m3	21,50
8	Drains	m3	12,00
Série des bétons			
9	Béton à l'air libre	m3	62,00
10 *	Béton en galerie	m3	var */
11 *	Hors profils béton en galerie	m3	var */
12	Coffrage à l'air libre	m2	15,00
13	Coffrage en galerie	m2	28,00
14	Acier pour béton	kg	1,00
Série des divers			
15	Forage pour injections (prix moyen)	m1	20,00
16	Produit sec injecté	T	450,00
17	Blindage	kg	4,00
18 *	Soutènement	m1	var */
19	Joint Water stop	m1	40,00

Nota : Var */ = prix variable.

3 * = 52,00 LL. galerie de rayon \geq 4m
80,00 LL. galerie de rayon $<$ 4m

4 * = 30 % du prix 3 *

10 * = 78,00 LL galerie de rayon \geq 4m
86,00 LL galerie de rayon $<$ 4m

11 * = 70 % du prix 10 *

18 * = 330,00 LL. galerie de rayon \geq 3m
280,00 LL. galerie de rayon $<$ 3m

I - DEVIS ESTIMATIF DES OUVRAGES DU BARRAGE DE NOURA EL TAHTA SUR LE NAHR EL KEBIR

N°	Désignation	Unité	Quantité	Prix	
				Unitaire LL	Montant 10 ³ LL
1 - Digue en enrochements					
1	Décapage sous l'emprise du barrage	m2	86.500	2,00	173,0
2	Déblai pour l'ancrage du noyau	m3	190.000	9,00	1.710,0
2	Déblai - ballastières	m3	187.500	9,00	1.687,5
	Remblai				
5	- Recharge amont et aval (en enrochements)	m3	2.606.000	8,25	21.499,5
6	- Noyau imperméable	m3	580.000	8,50	4.930,0
7	- Filtres	m3	367.000	16,00	5.872,0
8	- Drains	m3	197.000	12,00	2.364,5
Sous-total					38.236,5
Etudes et surveillance du chantier (8%)					3.059,0
Travaux imprévus et non explicités (env.10%)					3.804,5
Total digue					45.100,0
2 - Voiles d'étanchéité					
15	Forages pour injections	m1	41.640	20,00	833,0
16	Produit sec injecté	T	3.970	450,00	1.787,0
Sous-total					2.620,0
Etudes et surveillance du chantier (8%)					209,5
Travaux imprévus et non explicités (env. 10%)					220,5
Total voile d'étanchéité					3.050,0

N°	Désignation	Unité	Quantité	Prix	
				Unitaire LL	Montant 10 ³ LL
3 - Dérivation provisoire					
2	Déblai rocheux à l'air libre	m3	42.250	9,00	380,0
3*	Déblai en galerie	m3	16.850	52,00	876,0
4*	Hors-profils (déblai)	m3	1.700	15,50	26,5
9	Béton à l'air libre	m3	1.500	62,00	93,0
10*	Béton en galerie.	m3	5.875	78,00	458,5
11*	Hors-profils (béton)	m3	1.700	55,00	93,5
12	Coffrage à l'air libre	m2	1.150	15,00	17,0
13	Coffrage en galerie	m2	8.150	28,00	228,0
14	Acier pour béton	kg	30.000	1,00	30,0
18*	Soutènement	m1	461,5	330,00	152,5
5	Remblai pour prébardeau - Recharge amont et aval (enrochements)	m3	4.500	9,50	43,0
6	- noyau imperméable	m3	5.500	8,50	47,0
7	- Filtres	m3	2.500	23,50	59,0
Sous-total					2.504,0
Etudes et surveillance du chantier (8%)					200,0
Travaux imprévus et non explicités (env.10%)					246,0
Total dérivation provisoire					2.950,0
4 - Evacuateur de crues					
2	Déblai à l'air libre	m3	133.000	9,00	1.197,0
9	Béton à l'air libre	m3	29.600	62,00	1.835,0
12	Coffrage plan à l'air libre	m2	10.000	15,00	150,0
14	Acier	kg	1.150.000	1,00	1.150,0
19	Joint water stop	m1	850	40,00	34,0
Sous-total					4.366,0
Etudes et surveillance du chantier (8%)					349,0
Travaux imprévus et non explicités (env.10%)					435,0
Total évacuateur de crues					5.150,0

N°	Désignation	Unité	Quantité	Prix	
				Unitaire LL	Montant 10 ³ LL
5 - Ouvrage de prise d'eau					
2	Déblai à l'air libre	m3	16.150	9,00	145,0
3*	Déblai en galerie	m3	8.855	80,00	708,5
4*	Hors profils (déblai)	m3	885	24,00	21,0
9	Béton à l'air libre	m3	5.800	62,00	359,5
10*	Béton en galerie	m3	2.500	86,00	215,0
11*	Hors profils (béton)	m3	885	60,00	53,0
12*	Coffrage à l'air libre	m2	5.845	15,00	88,0
13*	Coffrage en galerie	m2	6.725	28,00	188,5
14	Acier pour béton	kg	258.000	1,00	258,0
17	Blindage	kg	150.000	4,00	600,0
18*	Soutènement	ml	476	330,00	157,0
	Vanne de garde 2,5 x 4,0 h = 54m	U	1	forf.	200,0
	Grille métallique	U	1	forf.	6,5
Sous-total					3.000,0
Etudes et surveillance du chantier (8%)					240,0
Travaux imprévus et non explicités (env.10%)					310,0
Total ouvrage de prise					3.550,0
6 - Vidange de fond					
2	Déblai à l'air libre	m3	700	9,00	6,5
3*	Déblai en galerie	m3	4.425	52,00	230,0
4*	Hors profils (déblai)	m3	450	15,50	7,0
9	Béton à l'air libre	m3	290	62,00	18,0
10*	Béton en galerie	m3	1.785	78,00	139,0
11*	Hors profils (béton)	m3	450	55,00	24,5
12	Coffrage à l'air libre	m2	290	15,00	4,5
13	Coffrage en galerie	m2	1.680	28,00	47,0
14	Acier pour béton	kg	41.500	1,00	41,5
17	Blindage	kg	65.500	4,00	262,0
18*	Soutènement	ml	147	330,00	48,5

Désignation	Unité	Quantité	Prix	
			Unitaire LL	Montant 10 ³ LL
6 - Vidange de fond (suite)				
Vannes :				
1 vanne chenille 2,5 x 3 h = 71	U	1	forf.	200,0
1 vanne secteur 3 x 4 h = 71	U	1	forf.	200,0
Sous-total				1.228,5
Etudes et surveillance du chantier (8%)				98,0
Travaux imprévus et non explicités (env.10%)				123,5
Total vidange de fond				1.450,0
7 - Divers				
Route d'accès au barrage	km	5,30	100.000	530,0
Piste d'accès à la chambre des vannes	km	0,90	75.000	70,0
Total divers				600,0

II - ESTIMATION DU COUT DES EXPROPRIATIONS

Surface de la cuvette 183,5 ha
 Contour de sécurité de 10m de largeur : $\frac{11,5}{195,0}$ ha

Coût des expropriations

en 10³ LL

La cuvette contient uniquement des bois qui ne seront pas dédommagés.

Terrain 195 x 10.000

1.950

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 NOURA ET TAHTA

sur le Nahr el Kébir

NOTE DE CALCUL

GC 06

Pièce 04

Beyrouth, Octobre 1971.

SOMMAIRE

	<u>Page</u>
1 - Dérivation provisoire	2
2 - Vidange de fond	3
3 - Evacuateur de crues de surface	5
3.1 - Longueur du seuil de déversement	5
3.2 - Canal de réception	5
Courbe des profondeurs normales	7
3.3 - Coursier	8
4 - Prise d'eau	11

1 - DERIVATION PROVISOIRE

La dérivation provisoire aurait pour but d'évacuer les eaux du Nahr el Kébir pendant la construction du barrage. Un batardeau amont permettrait de maintenir les fouilles des fondations à sec.

Les caractéristiques de la dérivation provisoire sont les suivantes :

- cote à l'entrée de la galerie : 83,50,
- cote à la sortie de la galerie : 77,00,
- crête du batardeau : 100,
- revanche 1m,
- galerie bétonnée de section en fer à cheval avec $\Delta = 5,3\text{m}$ et la longueur de la galerie étant 471,5m.

Les pertes de charges dans la galerie sont définies par la relation suivante :

$$h = \frac{v^2}{2g} \left(1 + \lambda \frac{1}{D} + K \right) = \text{niveau amont de l'eau} - \text{niveau moyen aval de l'eau}$$
$$= 99 - \left(77 + \frac{5,3}{2} \right) = 19,35 \text{ m}$$

λ : coefficient de perte de charge linéaire, $K_s = 80$ pour le béton

$$\lambda = \frac{12,4}{K_s^2} D^{-1/3} = 0,0195 \times D^{-1/3}$$

$$D = \text{diamètre équivalent} = 4 \times 0,253 \times 5,3 = 5,36 \text{ m}$$

$$\lambda = 0,0195 \times 5,35^{-1/3} = 0,0111$$

$$\lambda \frac{1}{D} = 0,0111 \times \frac{471,5}{5,36} = 0,975$$

Le coefficient de perte de charge totale K étant $K = K_1 + K_2$

$$K_1 = \text{coefficient de perte de charge à l'entrée } K_1 = 0,2$$

$$K_2 = \text{coefficient de perte de charge à la sortie } K_2 = 1,00$$

d'où :

$$v = \sqrt{2g} \sqrt{\frac{h}{\left(1 + \lambda \frac{1}{D} + K_2 \right)}} = 4,43 \sqrt{\frac{19,35}{1 + 0,975 + 0,2}} = 13,0 \text{ m/s}$$

$v = 13,0 \text{ m/s}$ vitesse de l'eau à la sortie de la galerie de dérivation provisoire.

La capacité d'évacuation de la dérivation provisoire est donc

$$Q = v s = 13,0 \times 23,24 = \underline{300 \text{ m}^3/\text{s}}$$

2 - VIDANGE DE FOND

La vidange de fond est constituée par un pertuis blindé de (2,5 x 3,0)m² de surface. Le centre de ce pertuis se trouve à la cote 183,50, la retenue normale étant à la cote 149,00.

La charge sous la retenue normale est donc :

$$h = 149,00 - 83,50 = 65,5 \text{ m}$$

Les pertes de charges sont des pertes par frottement et des pertes singulières.

Les caractéristiques de la galerie en fer à cheval en béton sont les suivantes :

$$S = 23,24 \text{ m}^2 \quad R = 1,36 \text{ m} \quad K_s = 80$$

$$\text{Perte à l'entrée de la galerie } K = 0,2$$

$$\text{- pertes singulières } K_m' = 0,2 \times \frac{0,0826}{D^4} = 0,2 \times \frac{0,0826}{(5,36)^4} = 19,4 \times 10^{-6}$$

- coefficient de perte par frottement dans la galerie en béton :

$$m = \frac{1}{K_s^2 \times S^2 \times R^{4/3}} = \frac{1}{80^2 \times 23,24^2 \times 1,36^{4/3}} = 0,194 \times 10^{-6}$$

la longueur de la galerie à l'amont du pertuis blindé étant de 225 m.

Perte par frottement dans la galerie en béton :

$$m l_1 = 0,194 \times 10^{-6} \times 225 = 43,5 \times 10^{-6}$$

- pertes par frottement dans le pertuis blindé

- tronçon de raccordement à l'amont de la vanne de garde

tronçon blindé $K_s = 100$ longueur 8m

$$S_1 = 23,24 \text{ m}^2 \quad S_2 = 2,5 \times 3,0 = 7,5 \text{ m}^2$$

$$S = \frac{1}{2} (S_1 + S_2) = 15,4 \text{ m}^2$$

$$\text{Périmètre } P = \frac{1}{2} (17,3 + 11,0) = 14,2 \text{ m}$$

$$R = \frac{15,4}{14,2} = 1,08 \text{ m} = \text{rayon hydraulique}$$

$$l_2^m = 8 \frac{1}{100^2 \times 15,4^2 \times 1,08^{4/3}} = 3,08 \times 10^{-6}$$

./.

- tronçon rectangulaire de pertuis blindé $K_s = 100$ longueur 6,5m

$$S = 7,5 \text{ m}^2 \quad P = 11 \text{ m}$$

$$R = \frac{7,5}{11,0} = 0,682 = \text{rayon hydraulique}$$

$$l_{3m} = 6,5 \frac{1}{100^2 \times 7,5 \times 0,682^{4/3}} = 54 \times 10^{-6}$$

- pertes singulières dans le pertuis blindé.

coefficient de perte des rainures du pertuis 0,1

coefficient de perte à la sortie du pertuis (vanne de réglage ouverte) = 1

$$m'(K_1 + K_2) = \frac{0,0826}{2,728^4} \times 1,1 = 1640 \times 10^{-6}$$

$$Q = \sqrt{\frac{h}{\sum m'_i K_i + \sum l_i m_i}} = \sqrt{\frac{65,5 \times 10^6}{19,4 + 3,08 + 54 + 1640 + 43,5}} \approx 198 \text{ m}^3/\text{s}$$

soit 200 m³/s

$$v = \frac{200}{7,5} = 26,5 \text{ m/s}$$

3 - EVACUATEUR DE CRUES DE SURFACE

L'évacuateur de crues est formé par un seuil déversant libre latéral amenant les eaux qui dépassent la cote de la R.N. 149,0 dans un canal de réception de 6% de pente suivi par un seuil de contrôle du débit, un coursier rectiligne épousant le terrain naturel et d'une cuillère de dissipation de l'énergie hydraulique.

L'évacuateur doit évacuer au maximum la crue décennale estimée à 1270 m³/s.

3.1 - Longueur du seuil de déversement

La crête du seuil déversant latéral est arasée à la cote de la retenue normale 149,0.

Le niveau des plus hautes eaux étant à la cote 153,00 ;

charge d'évacuation 153,00 - 149,00 = 4 m

crue décennale à évacuer : Q = 1270 m³/s

$$Q = Ml \sqrt{2g} H^{3/2} = 4,429 Ml H^{3/2}$$

le tableau 164 du manuel général d'hydraulique (A. Lancastre)

$$\frac{H}{P + E} = 1,5 \text{ donc } M = 0,480$$

$$\text{Longueur du seuil } l = \frac{Q}{4,429 M H^{3/2}} = \frac{1270}{4,429 \times 0,480 \times 4^{3/2}} = 74,5 \text{ m}$$

La courbure d'une partie du seuil et les contractions des extrémités nous amènent à prendre comme longueur du seuil l = 80 m.

3.2 - Canal de réception

L'extrémité aval du canal de réception est à la cote 140,1, sa largeur étant 20 m.

$$\text{Débit spécifique } q = \frac{1270}{20} = 63,50 \text{ m}^3/\text{s/m}$$

$$\text{Profondeur critique correspondante } h_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} = 0,47 \times 63,5^{2/3} = 9 \text{ m}$$

Pour trouver la profondeur normale pour Q = 1270, on construit la courbe des profondeurs normales d'après l'équation

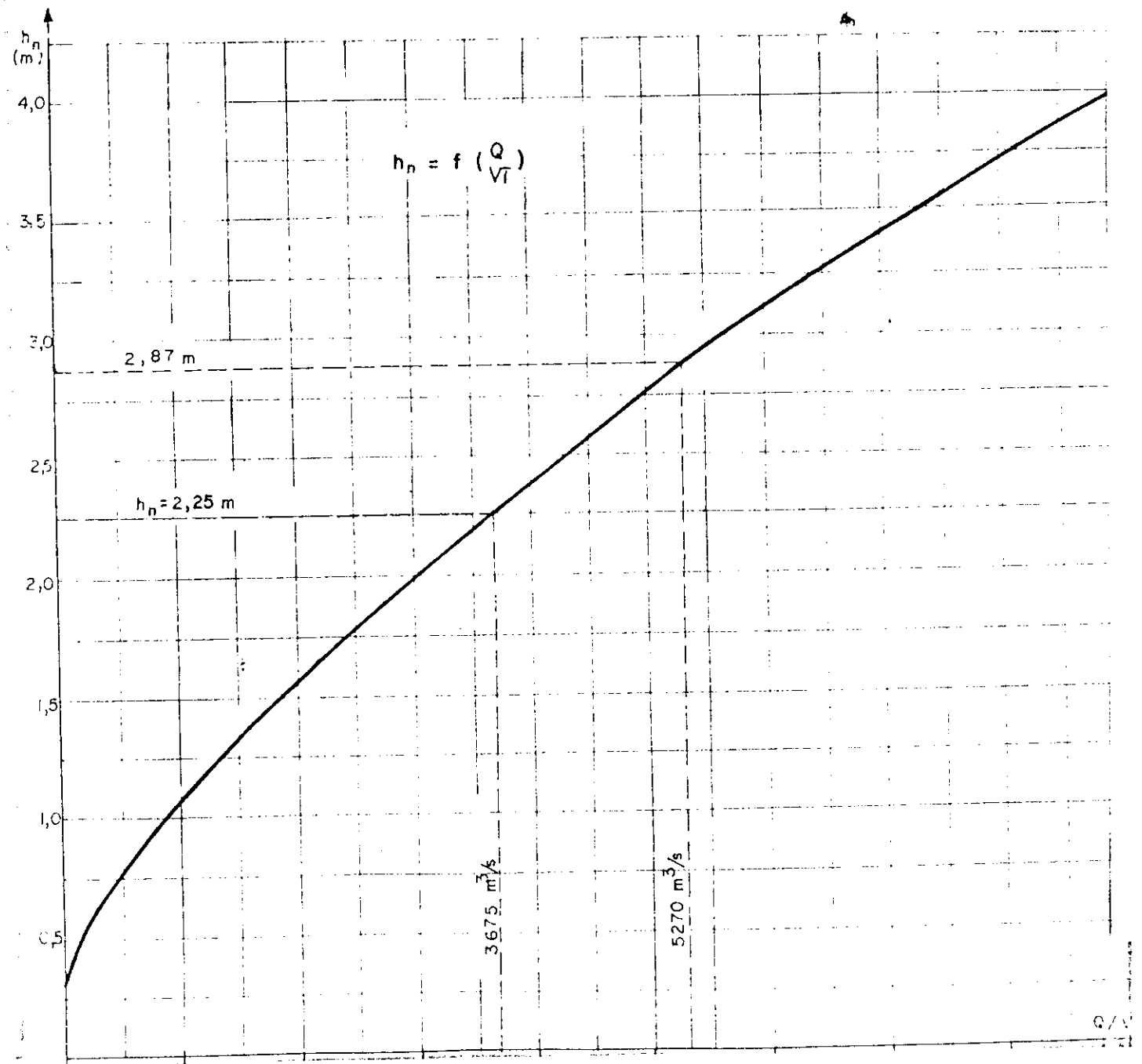
$$h_n = f\left(\frac{Q}{\sqrt{i}}\right) = f(Ks \times S \times R^{2/3}) \text{ par différentes valeurs de } h_n$$

Ks béton = 80 S = surface rectangulaire du canal de réception

R = rayon hydraulique

hm	Sm ²	Pm	Rm	R ^{2/3}	$\frac{Q}{\sqrt{i}}$
0,5	10	41	0,244	0,084	67
1,0	20	42	0,476	0,610	975
1,5	30	43	0,698	0,788	1890
2,0	40	44	0,908	0,944	3020
2,5	50	45	1,112	1,072	4290
3,0	60	46	1,305	1,195	5750
3,5	70	47	1,491	1,305	7300
4,0	80	48	1,665	1,405	9000

COURBES DES PROFONDEURS NORMALES



La profondeur normale pour $Q = 1270 \text{ m}^3/\text{s}$ se déduit de la formule.

$$h_n = f\left(\frac{Q}{\sqrt{i}}\right)$$

$i =$ pente du coursier juste à l'aval du canal de réception = 12%

$$\frac{Q}{\sqrt{i}} = \frac{1270}{\sqrt{0,12}} = 3675 \text{ m}^3/\text{s}$$

en reportant cette valeur (3675 m³/s) à la courbe des profondeurs normales on trouve $h_n = 2,25 \text{ m}$

d'où $h_n = 2,25 < h_c = 9,0 \text{ m}$

- A l'amont immédiat du coursier on a :

$$\frac{Q}{\sqrt{i}} = \frac{1270}{\sqrt{0,06}} = 5290 \text{ m}^3/\text{s}$$

on en déduit $h_n = 2,87 \text{ m}$

La cote du niveau d'eau est donc :

- A l'entrée du coursier : $140,08 + 2,00 + 2,25 = 144,33$, 2,00 m étant la hauteur du seuil de contrôle du débit.

- A l'amont immédiat du coursier $140,08 + 2,87 = 142,95$.

Le niveau d'eau dans le canal de réception est donc fonction du niveau d'eau dans le coursier puisque $144,33 > 142,95$, mais on est sûr que le niveau d'eau dans le canal de réception, dans n'importe quelle section du canal de réception, ne dépassera pas la crête du seuil.

3.3 - Coursier

Le coursier est un canal épousant le terrain naturel, il forme la prolongation du canal de réception. Dans sa partie amont, il est formé par une section rectangulaire sur 64,5 m de longueur, puis la section devient trapézoïdale avec une largeur de radier toujours constante égale à 20 m et sur une longueur de 42,5 m, la pente pour les deux sections précédentes étant constante et égale à 12%. Une pente variable sur 21,5 m de longueur raccorde la pente amont 12% à la nouvelle pente 23% qui reste constante sur une longueur de 137 m; la section est toujours trapézoïdale et constante. De nouveau on a une pente variable sur 8 m suivie par un tronçon de 15 m de longueur et de 38 % de pente se terminant par la cuillère de dissipation de l'énergie hydraulique de 10 m de longueur.

./.

La formule de Strickler donnant la pente critique étant la suivante :

$$\frac{Q}{\sqrt{i_c}} = K_s SR^{2/3} \text{ c'est-à-dire}$$

$$i_c = \frac{Q^2}{K_s^2 (bh_c)^2 R^{4/3}} = \frac{1270^2}{80^2 (20 \times 9)^2 \times 3,1^{4/3}} = 12,24 \%$$

on déduit que $i_c < i = 12\%$, donc l'écoulement torrentiel accéléré est assuré avec comme hauteur normale $h_n = 2,25$ m

1) Hauteur du plan d'eau à la fin du tronçon de pente égale à 12%

Pour trouver la hauteur de plan d'eau à la fin du tronçon qui a une pente de 12%, on applique la théorie de Bernoulli

$$E = \frac{P}{\omega} + h + \frac{\alpha v^2}{2g \phi^2} \quad \text{avec } \frac{P}{\omega} + h : \text{ charge statique}$$

Le même $E =$ cote eau à l'amont + $\frac{v^2}{2g}$ - cote radier à la fin du tronçon

avec

$$v = \frac{Q}{S} = \frac{1270}{2,25 \times 20} = 28,6 \text{ m/s}$$

$$\text{cote du radier à la fin du tronçon} = 142,08 - 0,12 \times 107 = 129,28$$

$$E = 144,33 + \frac{28,6^2}{2g} - 129,28 = 54,85 \text{ m}$$

En prenant comme coefficient de coriolis $\alpha = 1$, et comme coefficient de débit $\phi = 0,9$, on trouve

$$h = \frac{9}{\phi \sqrt{E - h} \sqrt{2g}} = \frac{63,5}{0,9 \times 4,43 \sqrt{54,85 - h}} = \frac{16}{\sqrt{54,85 - h}}$$

$$h = 2,20 \text{ m et } v = \frac{63,5}{2,20} = 28,8 \text{ m/s}$$

2) Hauteur du plan d'eau au début du tronçon de pente 23%

La cote étant 126,20.

$$E = 129,28 + 2,25 + \frac{28,6^2}{2g} - 126,20 = 45,13$$

$$h = \frac{16}{\sqrt{45,13 - h}} = 2,44 \text{ m et } v = \frac{63,5}{2,44} = 26 \text{ m/s}$$

3) Hauteur du plan d'eau à la fin du tronçon de pente 23%

$$\text{La cote étant } 126,20 - 0,23 \times 137 = 94,8$$

$$E = 126,20 + 2,25 + \frac{28,6^2}{2g} - 94,8 = 73,45$$

$$h = \frac{16}{\sqrt{73,45 - h}} = 1,9 \text{ m} \quad \text{et } v = \frac{63,5}{1,9} = 33,4 \text{ m/s}$$

on déduit que les murs du coursier de 5 m de hauteur pourront contenir le débit des crues décennales estimé à 1270 m³/s en toute sécurité ; leur hauteur est prise pour diminuer la hauteur du terrain à déblayer.

Pertes de charge par frottement

Les pertes par frottement sont données par la formule

$$= \frac{K_{s_i}^2 \times S_i^2 \times R_i^{4/3}}{l_i}$$

$$= \frac{6}{80^2 \times 8,25^2 \times 1,52^{4/3}} + \frac{8}{80^2 \times 7,05^2 \times 0,75^{4/3}} + \frac{195}{80^2 \times 7,05^2 \times 0,75^{4/3}} + \frac{112}{100^2 \times 3,95^2 \times 0,56^{4/3}}$$

$$= 0,785 \times 10^{-5} + 1,975 \times 10^{-5} + 328 \times 10^{-5} = 330,75 \times 10^{-5} = 0,0033$$

Capacité de la prise d'eau

La capacité de la prise d'eau sous la cote des plus basses eaux est donnée par la formule :

$$Q = \frac{\text{charge disponible}}{\text{pertes de charges}} = \frac{h}{1 \frac{0,0826}{D_i^4} K_i + \frac{l_i}{K_{s_i}^2 \times S_i^2 \times R_i^{4/3}}}$$

$$h = 95,0 - 83,5 = 12,5 \text{ m}$$

$$Q = \frac{12,5}{0,0057} = 47,5 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$v = \frac{Q}{S} = \frac{47,5}{3,95} = 12 \text{ m/s}$$

la capacité de la galerie de prise sous la station de pompage devrait être supérieure au débit pompé par des groupes de pompage appropriés. On pourrait adopter des groupes de pompage identiques installés en parallèle de débit nominal unitaire 1,5 m³/s en nombre de 6, donc on aurait :

Débit nominal équipé 9 m³/s
Nombre de groupes de pompage 6.

Pour la cote des plus basses eaux, on admet une réduction d'environ 15 % du débit nominal ce qui nous mène à admettre un débit minimum de pompage de 7,5 m³/s.