

File

AG:DP/LEB/71/524
Rapport technique 1/5

DISTRIBUTION NON ENCORE
AUTORISÉE PAR LE
GOUVERNEMENT INTÉRESSÉ

DISTRIBUTION NON ENCORE
GOUVERNEMENT INTÉRESSÉ

DÉVELOPPEMENT HYDRO - AGRICOLE DU SUD DU LIBAN

LIBAN

PLAN RÉGIONAL DE DÉVELOPPEMENT HYDRO-AGRICOLE
CINQUIÈME PARTIE – LES OUVRAGES DE MOBILISATION
DES EAUX



PROGRAMME DES NATIONS UNIES POUR LE DÉVELOPPEMENT



ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR L'ALIMENTATION
ET L'AGRICULTURE

ROME, 1977

DEVELOPPEMENT HYDRO-AGRICOLE DU SUD DU LIBAN

L I B A N

PLAN REGIONAL DE DEVELOPPEMENT HYDRO-AGRICOLE

CINQUIEME PARTIE - LES OUVRAGES DE MOBILISATION DES EAUX

Rapport préparé pour
le Gouvernement du Liban
par
l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
agissant en qualité d'agence d'exécution du
Programme des Nations Unies pour le développement

PROGRAMME DES NATIONS UNIES POUR LE DEVELOPPEMENT

ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR L'ALIMENTATION ET L'AGRICULTURE

Rome, 1977

Le présent rapport est l'un des rapports techniques établis durant l'exécution du projet du PNUD/FAO identifié sur la page de titre. Les conclusions et recommandations figurant dans ce rapport sont celles qui ont été jugées appropriées lors de sa rédaction. Elles seront éventuellement modifiées à la lumière des connaissances plus approfondies acquises au cours d'étapes ultérieures du projet.

Les désignations utilisées et la présentation des données qui figurent dans le présent document et sur les cartes géographiques n'impliquent, de la part des Nations Unies ou de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, aucune prise de position quant au statut juridique des pays, territoires, villes ou zones, ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites.

FAO. Développement hydro-agricole du sud du Liban, Liban.
Plan régional de développement hydro-agricole. Cinquième
partie: Les ouvrages de mobilisation des eaux. Rome, 1977.
 106 p., 33 figures. AG:DP/LEB/71/524, Rapport technique 1/5.

RESUME

Le présent document regroupe les résultats des études relatives aux grands ouvrages appelés à régulariser, prélever et transférer les ressources en eau de la région sud, dans le cadre de la "planification hydraulique".

Dans le premier chapitre sont résumées les caractéristiques de trois nouveaux barrages projetés: Khardalé, Bisri et Beit ed Dine qui s'ajouteraient au barrage existant de Qaraaoun:

- Le barrage de Khardalé - capacité totale 128 Mm³ - avait déjà fait l'objet d'un avant-projet dans les années 1967-78. L'équipe FAO/ONL s'est préoccupée de poursuivre les études géologiques, particulièrement délicates sur ce site, et d'apporter quelques modifications de détail aux dispositions antérieurement prévues.
- Les barrages de Bisri et de Beit ed Dine, avec des capacités totales de 85 Mm³ et 30 Mm³ respectivement, sont des ouvrages nouvellement envisagés. Les études de l'équipe FAO/ONL se sont concentrées sur la géologie des sites. Sans infirmer complètement les impressions favorables données par les premières projections, ces études n'ont pu être suffisamment poussées pour conclure définitivement à la factibilité de ces deux ouvrages. Des reconnaissances et études supplémentaires resteront nécessaires dans l'avenir.

Le deuxième chapitre présente les caractéristiques principales de l'adducteur principal Qaraaoun Liban Sud. Il s'agit d'une succession de canaux, galeries et conduites, sur une longueur de 112 km, prélevant entre 11 et 14 m³/s à l'aval du réservoir de Qaraaoun pour les besoins de l'irrigation et de l'alimentation en eau potable dans la région haute du Liban Sud.

Cet ouvrage constitue la pièce maîtresse du projet d'irrigation "Sud Litani Nabatiyé" (14 300 ha) dont la réalisation avait été approuvée par le Gouvernement en 1973 et dont les études détaillées d'exécution avaient commencé en 1975.

Le troisième chapitre indique les tracés et les coûts des ouvrages d'adduction - canaux, galeries et conduites - qui compléteraient l'infrastructure hydraulique de la région, à l'aval des barrages de Khardalé et Bisri ainsi que du bassin d'Anane.

Il s'agit là d'ouvrages dont la décision d'exécution est plus lointaine.

L'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture tient à remercier vivement les organisations et personnalités qui l'ont aidée dans la réalisation du projet en lui fournissant des renseignements, avis et facilités.

TABLE DES MATIERES

	<u>Page</u>
PREAMBULE	ix
<u>Chapitre 1</u> LES OUVRAGES D'ACCUMULATION D'EAU COMPLEMENTAIRES DU BARRAGE DE QARAAOUN	1
1.1 Le barrage de Beit ed Dine	1
1.2 Le barrage de Khardalé	12
1.3 Le barrage de Bisri	21
<u>Chapitre 2</u> LES OUVRAGES DE DISTRIBUTION D'EAU: L'ADDUCTEUR PRINCIPAL QARAAOUN - LIBAN SUD	37
2.1 Cadre de l'étude	37
2.2 Le projet	42
2.3 Le fonctionnement hydraulique du canal	45
2.4 Sécurité et exploitation des ouvrages	59
2.5 Fiches synoptiques des caractéristiques de l'adducteur Qaraaoun-Liban Sud	65
<u>Chapitre 3</u> LES ADDUCTEURS DU VERSANT OUEST DU MONT LIBAN DANS L'INTERFLEUVE AOUALI - LITANI	67
3.1 Mobilisation de nouvelles ressources en eau	67
3.2 Distribution de l'eau sur le versant ouest de la chaîne du Mont Liban dans l'interfleuve Aouali-Litani	69
3.3 Dimensionnement des adducteurs du versant Ouest - hypothèses de travail	71
3.4 Les projets	74
3.5 Conclusions et recommandations	80
BIBLIOGRAPHIE	105

LISTE DES TABLEAUX

	<u>Page</u>
1. Sud Litani-Nabatiyé: Valeurs du potentiel irrigable	82
2. Besoins annuels en eau agricole	82
3. Répartition altimétrique des ensembles II	83
4. Nouvelles ressources en eau prélevées à Qaraaoun	84
5. Débit en tête de l'adducteur à réserver pour l'alimentation en eau potable du sud du Liban	84
6. Tableau récapitulatif des valeurs de base utilisées pour le calibrage du canal	84
7. Adducteur Qaraaoun-Liban Sud: caractéristiques générales	85
8. Débit d'équipement (à la prise) de l'adducteur Qaraaoun-Liban Sud	86
9. Caractéristiques et coût des ouvrages principaux de l'adducteur Qaraaoun-Liban Sud	87
10. Conséquences sur le plan énergétique des prélèvements d'eau pour l'irrigation	88
11. Construction de l'adducteur Qaraaoun-Liban Sud. Récapitulation des investissements	88
12. Récapitulation des dépenses annuelles de fonctionnement de l'adducteur Qaraaoun-Liban Sud	89
13. Calendrier des irrigations	89
14. Calendrier des travaux	90
15. Coûts actualisés sur 50 ans (année 1976 = année 1)	90
16. Valeurs du potentiel irrigable	91
17. Valeurs du potentiel irrigable: région Litani-Zahrani	91
18. Valeurs du potentiel irrigable: région Zahrani-Saitaniq	91
19. Schéma d'allocation des eaux par région	92
20. Surfaces irriguées dans la région Litani-Zahrani	92
21. Répartition des eaux allouées à la région Litani-Zahrani. Origine des eaux: Qaraaoun	93
22. Répartition des eaux allouées à la région Litani-Zahrani. Origine des eaux: Khardalé ou Bisri	93
23. Répartition des eaux allouées à la région Zahrani-Saitaniq. Origine des eaux: Khardalé ou Bisri	93
24. Prévisions concernant les débits de pointe: région Litani-Zahrani. Origine des eaux: Khardalé ou Bisri	94
25. Prévisions concernant les débits de pointe: région Zahrani-Saitaniq. Origine des eaux: Khardalé ou Bisri	94
26. Caractéristiques techniques de l'adducteur Khardalé-Saitaniq (cote 475)	95
27. Caractéristiques techniques de l'adducteur Khardalé-Saitaniq (cote 400)	96
28. Caractéristiques techniques de l'adducteur Khardalé-Saitaniq (cote 300)	97
29. Caractéristiques techniques de l'adducteur Bisri-Nabatiyé (cote 600)	98
30. Caractéristiques techniques de l'adducteur Khardalé-Zahrani (cote 475)	99
31. Caractéristiques techniques de l'adducteur Khardalé-Zahrani (cote 400)	100
32. Caractéristiques techniques de l'adducteur Anane-Zahrani (cote 600)	100
33. Evaluation du coût de l'adducteur Khardalé-Srifa	101
34. Comparaison des coûts actualisés et des dépenses de fonctionnement des adducteurs Khardalé-Saitaniq et Bisri-Nabatiyé	102
35. Coût actualisé et dépenses de fonctionnement du système d'adduction Anane-Zahrani, Khardalé-Zahrani et Khardalé-Srifa	103

LISTE DES FIGURES
(sous poche de couverture)

1. Barrage de Bisri. Barrage de Beit ed Dine. Situation
2. Barrage de Khardalé. Situation
3. Barrage de Khardalé et l'aménagement du Litani aval
4. Barrage de Khardalé. Courbe retenue-hauteur
5. Barrage de Khardalé. Courbe des volumes régularisés
6. Barrage de Khardalé. Nature de la fondation du barrage.
Coupe type sur la digue. Schéma de l'écran d'étanchéité
7. Barrage de Khardalé. Plan d'ensemble
8. Barrage de Khardalé. Evacuateur des crues et vidange de fond
9. Site de Bisri. Surface. Capacité totale de la retenue
10. Site de Bisri. Surface. Capacité totale de la retenue
11. Barrage de Bisri. Voiles d'étanchéité
12. Ensembles irrigables. Répartition hypsométrique par casier
13. Avant-projet de l'adducteur Qaraaoun-Liban Sud. Schématisation
des ensembles irrigables
14. Avant-projet de l'adducteur Qaraaoun-Liban Sud. Localisation des
périmètres
15. Avant-projet de l'adducteur Qaraaoun-Liban Sud. Repérage des
branches secondaires et des prises
16. Avant-projet de l'adducteur Qaraaoun-Liban Sud. Désignation des
ouvrages du canal-maître
17. Avant-projet de l'adducteur Qaraaoun-Liban Sud. Débit des prises
18. Avant-projet de l'adducteur Qaraaoun-Liban Sud. Capacité de transport
des ouvrages
19. Avant-projet de l'adducteur Qaraaoun-Liban Sud. Capacité de transport
des ouvrages
20. Avant-projet de l'adducteur Qaraaoun-Liban Sud. Caractéristiques des
stations de pompage
21. Avant-projet de l'adducteur Qaraaoun-Liban Sud. Caractéristiques des
stations de pompage et des brise-charge
22. Avant-projet de l'adducteur Qaraaoun-Liban Sud. Eau potable
23. Adducteur Qaraaoun-Liban Sud. Aménagement hydro-électrique existant
en amont de l'ouvrage de prise
24. Adducteur Qaraaoun-Liban Sud. Aménagement hydro-électrique existant
en aval de l'ouvrage de prise
25. Adducteur Qaraaoun-Liban Sud. Ouvrage de prise
26. Avant-projet de l'adducteur canal 800. Prise amont Markabé. Profil
en long hydraulique et caractéristiques des ouvrages
27. Avant-projet de l'adducteur canal 800. Prise amont Markabé. Profil
hydraulique et périmètres dominés
28. Avant-projet de l'adducteur canal 800. Prise amont Markabé. Tracé
des réseaux d'adduction
29. Localisation des périmètres. Situation des ensembles irrigables
30. Adducteurs Anane-Zahrani et Khardalé-Zahrani sur le versant Ouest
31. Adducteur Khardalé-Saitaniq sur le versant Ouest
32. Adducteur Bisri-Nabatiyé sur le versant Ouest
33. Adducteur Khardalé-Srifa vers la région Sud-Litani

PREAMBULE

Le projet de développement hydro-agricole du sud du Liban désigné ci-après par "Projet Liban Sud", a été constitué en 1972 avec l'assistance financière du PNUD et exécuté sous l'égide de la FAO et de l'Office national du Litani.

Trois objectifs étaient assignés au projet:

- dresser un plan régional de développement hydro-agricole à long terme, appelé parfois "planification hydraulique", couvrant la partie sud du Liban;
- élaborer un avant-projet général technico-économique du premier périmètre d'irrigation que déciderait le Gouvernement;
- apporter une assistance dans quelques domaines connexes: développement du périmètre pilote de Saïda, réorganisation du périmètre de Qasmiyé, expérimentations hydro-agricoles, mise en place de nouvelles unités à l'intérieur de l'Office national du Litani.

Commencés en janvier 1972, les travaux du projet ont été terminés en février 1976.

La région du projet a été fixée par le Gouvernement comme l'ensemble des terrains situés sous la cote 800 m sur le versant Ouest du Mont Liban, entre le nahr Beyrouth au nord et la frontière libanaise au sud.

Pour les besoins des études, divers "domaines d'études" ont été définis en fonction de la nature des investigations poursuivies. Ces domaines peuvent, suivant les disciplines, déborder le cadre ci-dessus défini ou au contraire s'inscrire à l'intérieur.

Documentation

Le projet Liban Sud a élaboré trois sortes de rapports:

- Documents de travail

De nombreux documents de travail ont été rédigés et publiés au Liban pendant la période d'activité du projet; ils ont été remis au Gouvernement au fur et à mesure de leur publication.

- Rapports techniques

Deux rapports techniques ont été élaborés en fin de projet pour synthétiser les résultats obtenus aux deux premiers objectifs:

Rapport technique 1: Plan régional de développement hydro-agricole.

Rapport technique 2: Avant-projet général du périmètre cote 800. Evaluation économique.

Le troisième objectif ne justifiait pas de rapport technique en raison de la dispersion et de l'hétérogénéité des travaux effectués par le projet dans les divers domaines en cause.

- Rapport terminal

Un rapport terminal sera remis au Gouvernement après la fin du projet, résumant les conclusions et soulignant les recommandations que la FAO juge opportun de formuler à l'intention des autorités du pays.

Le rapport technique 1: Plan régional de développement hydro-agricole, comprend cinq parties:

- Première partie: Le milieu physique
- Deuxième partie: Le cadre socio-économique
- Troisième partie: Les ressources en eau
- Quatrième partie: Les ressources en sols
- Cinquième partie: Les ouvrages de mobilisation des eaux

Le présent document constitue la Cinquième partie: Les ouvrages de mobilisation des eaux. Il a été rédigé en janvier-février 1976 par M. Bernard Michel, spécialiste en grands ouvrages hydrauliques, sur la base des travaux effectués par le groupe "grands ouvrages" du projet.

Chapitre 1

LES OUVRAGES D'ACCUMULATION D'EAU COMPLÉMENTAIRES DU BARRAGE DE QARAAOUN

1.1 LE BARRAGE DE BEIT ED DINE

1.1.1 Généralités

i. Situation géographique

Le site du barrage de Beit ed Dine se trouve à environ 2 km au sud de la localité de Beit ed Dine, près du village du même nom (cf. figure 1). Ses coordonnées sont d'après la carte topographique au 1/20 000 de Beit ed Dine:

X = 136,10 km

Y = 193,48 km

Z = 820 m

Le site se place sur l'ouadi Ain ed Dibb (ou ouadi Houssain) qui ne fonctionne que de manière épisodique, essentiellement durant la saison pluvieuse. Cet ouadi, dont le bassin versant est limité à quelques kilomètres carrés, est un de ceux qui drainent les "plateaux" vallonnés dont l'altitude est comprise entre 800 et 1 000 m de la région de Beit ed Dine, bordés au nord et au sud par les vallées profondément encaissées des nahr Damour et Aouali.

ii. Etudes antérieures

Le problème de l'alimentation en eau de la région de Beit ed Dine avait amené à prospecter de nouveaux sites de retenue dans le Mont Liban et le Chouf. L'identification du site de Beit ed Dine a été faite en 1972 dans le cadre du projet FAO LEB/68/513. Un consultant du projet, M. Barge, ingénieur à la SOFRELEC, a fait une visite le 11 mai 1972 qui a permis la définition, en accord avec les sections génie civil et hydrogéologie du projet, des grandes lignes des études et travaux de reconnaissance préliminaire à exécuter sur ce site.

Au mois de mai 1974, MM. Chardonnet et Petiteville, ingénieurs EDF, ont été appelés comme consultants par le projet FAO LEB/71/524 et ont fait le point des études en cours.

iii. Caractéristiques du barrage

Ouvrage en enrochements avec masque amont.

Volume d'eau de la retenue	30 Mm ³ 1/
Volume des remblais du barrage	2,2 Mm ³
Hauteur hors sol du barrage	75 m
Largeur à la base	280 m
Longueur en crête	550 m
Cote de la retenue normale	895 m
Cote des plus basses eaux	825 m
Superficie de la retenue	135 ha

Le remplissage de la retenue se fera par adduction des eaux hivernales des sources de Safa et de Barouq. Les eaux de la source de Safa seront dérivées vers le nahr Barouq (cours amont du nahr Auvali) par l'intermédiaire d'un canal à ciel ouvert de 4 km de long et d'une galerie de 3,2 km environ. Un petit ouvrage de prise dans la vallée du nahr Barouq, situé vers la cote 915 m, permettra de transférer les eaux du nahr Barouq grossies des débits dérivés de Safa, vers la retenue de Beit ed Dine par l'intermédiaire d'une galerie de 5,3 km environ.

Une étude hydrologique préliminaire sur les débits moyens des sources de Safa et de Barouq est faite dans le rapport AE 114 2/.

iv. Etat actuel des connaissances

Dans un premier stade, des reconnaissances ont été effectuées sur les conditions géologiques de la zone du site et de la retenue ainsi que le long des tracés des ouvrages d'amenée.

Ces études comportent des levés géologiques à l'échelle du 1/10 000, à partir d'un agrandissement du fond topographique au 1/20 000, couvrant le site et la retenue ainsi que le canal de Safa, la galerie Safa-Barouq et la galerie Barouq-Beit ed Dine.

Des travaux de reconnaissance comportant quatre sondages en carottage continu totalisant 330 m de longueur avec 62 essais d'eau de type Lugeon, ainsi que dix puits à main d'une profondeur moyenne de 3 m, ont été exécutés par la Société Nikex.

Deux séries de jaugeages simultanés sur l'ouadi Ain ed Dibb ont été réalisées le 1/2/1974 et le 26/2/1974 par la section hydrologie de l'Office national du Litani.

La description lithologique détaillée des forages et des puits de reconnaissance a été faite par M. Hachache, ingénieur de l'ONL détaché au projet LEB/71/524, qui a assuré la surveillance des travaux.

1/ Mm³ = Millions de mètres cubes.

2/ Document de travail édité par le projet: Etude hydrogéologique des sources de Safa et Barouq.

1.1.2 Géologie du site et de la retenue

i. Litho-stratigraphie

La zone d'emprise du site et de la retenue correspond principalement à des affleurements marno-calcaires de l'albien. Un peu à l'amont du site, les derniers niveaux de l'aptien supérieur affleurent en fond de vallée. Le "banc à Cardium", qui marque souvent le contact albien-aptien supérieur dans la région, est difficile à identifier sans l'aide de microfaune, aussi bien en affleurement que sur les carottes de sondage, plusieurs bancs de calcaire fin clair pouvant en effet correspondre à ce niveau repère. Cette incertitude stratigraphique sera aisément levée par des analyses micropaléontologiques qui seront aussi utiles pour vérifier les corrélations entre les coupes des sondages de reconnaissance.

La série traversée par ces sondages est régulièrement litée en bancs de quelques dizaines de centimètres d'épaisseur et excédant rarement le mètre. Elle est formée par des alternances de bancs durs à dominante calcaire et de niveaux marneux dans l'albien, et par des grès plus ou moins calcaires et des marnes souvent très argileuses dans l'aptien supérieur.

La lithologie des appuis (valable aussi pour les flancs de la retenue) peut se résumer comme suit:

- Dans leur partie haute, la proportion de bancs calcaires est importante, avec des calcaires fins clairs et des calcaires marneux compacts, fossilifères, séparés par des intercalations de marnes souvent glauconieuses.
- Dans leur partie moyenne, les faciès de calcaire marneux, souvent très compact, prédominent sur les intercalations marneuses et les passées calcaires.
- Dans la partie basse des appuis, une formation de marnes gris et chocolat d'une quinzaine de mètres d'épaisseur, repose sur des alternances de calcaires marneux, calcaires fins et de marnes; ces alternances se poursuivent une vingtaine de mètres sous le fond de l'ouadi.

Plus bas, sous le fond de vallée, apparaissent des bancs de grès plus ou moins consolidés s'intercalant entre des bancs de calcaires marneux détritiques avec des passées riches en colithes ferrugineuses, séquence lithologique type de l'aptien supérieur; cet âge est d'ailleurs confirmé par l'abondance d'Orbitolina lenticularis.

La coupure entre l'albien et l'aptien supérieur a été placée sous le banc de calcaire fin, clair, traversé au début de forage BD 2, qui a été assimilé provisoirement au "banc à Cardium", soit environ à 6,50 m sous le fond de vallée. Les coupes lithologiques détaillées des forages sont données dans le rapport HG 124 1/.

La nature et la structure des appuis ne paraissent pas poser de problèmes particuliers au point de vue stabilité.

1/ Document de travail édité par le projet: Etude géologique du site du barrage de Semqaniyé.

ii. Étanchéité

- Généralités

L'albien, avec ses alternances de bancs marneux et calcaires, est considéré comme peu perméable dans son ensemble; il joue le rôle de substratum imperméable vis-à-vis du karst cénomanien. La prospection des sites de barrages qui a conduit à l'identification du site de Beit ed Dine est la conséquence de cette caractéristique. Cependant si une formation à l'échelle d'une région et d'un étage stratigraphique peut être considérée dans son ensemble comme étant perméable, à l'échelle d'une retenue de barrage des perméabilités fortes associées à certains niveaux peuvent entraîner des fuites importantes. La première phase des sondages de reconnaissance qui a été exécutée permet de mieux apprécier ces risques éventuels de fuite. Ces éléments de réponse restent toutefois insuffisants pour confirmer d'une manière définitive l'étanchéité de la retenue.

Les pertes pouvant affecter la retenue peuvent être classées en deux catégories:

- pertes représentant des circulations essentiellement horizontales à partir des flancs de la retenue et des appuis du site;
- pertes liées à des percolations verticales à partir du fond de la retenue.
- Pertes par les flancs de la retenue et les appuis

Elles sont à envisager pour plusieurs raisons:

- structure géologique tabulaire dans laquelle s'inscrit le site de barrage et sa retenue;
- présence de bancs calcaires et gréseux dans les formations de l'albien et de l'aptien supérieur susceptibles d'être perméables;
- présence dans l'environnement de la retenue de vallées dont les fonds sont situés à des cotes plus basses que celles de l'ouadi Ain ed Dibb.

Les séquences lithologiques traversées par les deux sondages exécutés au sommet des appuis rive gauche et rive droite du site (BD 1 et BD 3 respectivement) font apparaître la prédominance des faciès de marnes et de calcaires marneux souvent très compacts, terrains par nature peu perméables. L'examen des pertes d'eau en cours de forage et les absorptions d'eau au cours des essais Lugeon confirment ce pronostic.

Sur les 150 m de terrains testés par tranche de 5 m, 30 essais Lugeon ont donné des valeurs inférieures à 5 lugeons et 10 des valeurs supérieures. Dans la première catégorie les absorptions moyennes sont d'environ 1,2 lugeon; dans la seconde, 6 passes ont eu des absorptions supérieures à 50 lugeons.

Les terrains correspondant aux passes de la première catégorie sont les calcaires marneux, les marnes, les calcaires fins compacts, et les calcaires fins fissurés mais colmatés par des recristallisations secondaires de calcite.

Les passes dans lesquelles de fortes absorptions ont été observées correspondent à des bancs calcaires fissurés avec des indices de karstification, parfois à des calcaires légèrement marneux compacts et fissurés. Avec le matériel mis en oeuvre par l'entreprise il n'a pas été possible d'atteindre les 10 kg/cm² de pression au manomètre, toutefois des pressions de 8 kg/cm² ont pu être atteintes avec des absorptions correspondantes de 80 l/min/m; cela pourrait dénoter des perméabilités fortes, mais inférieures à celles rencontrées dans un système karstique développé où l'expérience montre au Liban que des pressions en tête de 2 à 3 kg/cm² ne peuvent être atteintes.

Les niveaux où se sont produites les fortes absorptions sont localisés sur les deux forages BD 1 et BD 3 dans la partie haute des appuis au voisinage de la cote maximale de retenue (entre 880 et 890 m) et dans leur partie moyenne (entre 835 et 860 m). La partie inférieure des appuis et les 15 m situés sous la cote du fond de l'ouadi Ain ed Dibb sont étanches dans les deux forages (absorptions comprises entre 0 et 1 lugeon).

L'étude des graphes des essais Lugeon (voir Rapport de l'Entreprise) fait apparaître un phénomène particulier. Dans plusieurs passes où les absorptions ont été limitées les quantités d'eau injectées dans le terrain ont été plus faibles lors de la phase descendante du cycle de pression que durant la phase à pression croissante. Cela indiquerait un colmatage ou plus probablement une saturation progressive des terrains reflétant les très faibles perméabilités des terrains avoisinant le forage.

L'examen des fluctuations des niveaux d'eau dans les forages BD 1 et BD 3, lors de leur exécution, et en régime naturel sur la période de trois mois qui a suivi cette exécution, permet de faire les constatations suivantes:

- lors de l'exécution des forages, les niveaux d'eau apparents se sont d'abord cantonnés dans les 15 premiers mètres, puis ont baissé brutalement de 30 à 40 m;
- la chute des niveaux apparents s'est produite lors de la rencontre des zones de forte absorption localisées dans la partie moyenne des appuis;
- les niveaux statiques observés après la fin des travaux sont situés très au-dessus de la cote de l'ouadi Ain ed Dibb ce qui indique un fort gradient hydraulique vers cet ouadi.

Il faut signaler que les zones à fortes absorptions ont été cimentées, souvent d'une manière répétée, pour limiter les pertes d'eau de forage. Les niveaux d'eau dans les forages BD 1 et BD 3 ont baissé lentement puis se sont pratiquement stabilisés en octobre et novembre.

Les observations qui ont été développées ci-dessus peuvent se résumer comme suit:

- les couches de l'albien ont généralement une faible perméabilité;
- deux zones localisées dans les parties haute et moyenne des appuis ont cependant des perméabilités fortes susceptibles de localiser des fuites;

- les niveaux d'eau dans les versants tendent à se stabiliser à la base des bancs de forte perméabilité de la partie moyenne des appuis à des cotes nettement supérieures à celles du fond de vallée;
- les niveaux d'eau sont plus élevés dans les forages en rive gauche qu'en rive droite; les gradients vers la vallée restent cependant comparables.

Les points bas où pourraient se localiser les exutoires des infiltrations à partir des appuis et des flancs de la retenue sont multiples:

- ouadi Ain es Slaiyeb et ouadi Marj Baaqline, affluents rive gauche et rive droite de l'ouadi Ain ed Dibb;
- vallée du nahr Barouq;
- vallée du nahr Safa;
- ouadi Ain ed Dibb à l'aval du site.

En ce qui concerne les pertes par les ouadis latéraux au site, un rapide calcul basé sur les perméabilités estimées à partir des essais Lugeon montre qu'elles devraient être faibles en raison des gradients limités de l'ordre de 10 pour cent, imposés par la topographie de ces deux ouadis.

Les pertes vers les vallées des nahr Barouq et Safa impliquent de longues lignes de percolation. L'albien affleure à une cote plus basse dans la vallée du nahr Barouq que dans celle du nahr Safa; s'il y a des pertes très au large à craindre c'est donc plutôt en direction du sud-est qu'il faut les envisager, direction dans laquelle les gradients hydrauliques seront les plus forts et où la faille de l'ouadi Ain es Slaiyeb peut localiser des cheminements préférentiels. Cette faille pourrait favoriser aussi le drainage des eaux qui s'infiltreraient sur l'appui rive gauche du site.

Les pertes latérales les plus importantes à craindre sont celles qui éviteraient le site et qui ressortiraient immédiatement à l'aval de l'ouvrage, dans l'ouadi Ain ed Dibb; les gradients hydrauliques sont en effet élevés du fait du plongement aval des couches. Des voiles d'étanchéité d'importance réduite, traitant les zones à forte perméabilité localisées dans les sondages BD 1 et BD 3, devraient pouvoir lever cette difficulté.

Ces possibilités de fuite réduite à partir des flancs de la retenue sont basées sur l'hypothèse que les résultats des essais d'eau enregistrés sur les forages BD 1 et BD 3 sont bien représentatifs de la répartition des perméabilités au sein de l'albien pour la zone de la retenue et son environnement. Ce point devra être confirmé par une seconde campagne de reconnaissance dont il constituera un des principaux objectifs.

- Pertes par le fond de la retenue

Une des premières questions qui s'était posée lors de l'identification du site de Beit ed Dine concernait l'étanchéité du fond de la retenue, particulièrement dans la zone médiane où affleure l'aptien supérieur. L'épaisseur des terrains sous l'ouadi était-elle suffisante et leur perméabilité assez faible pour limiter les percolations

d'eau à partir du fond de la retenue vers la falaise de Blanche sous-jacente qui, par sa forte perméabilité prévisible, aurait servi de drain pour les eaux infiltrées, les faisant ensuite transiter vers son point bas d'affleurement dans la vallée du nahr Barouq.

Cette hypothèse était d'autant moins à négliger que deux séries de jaugeages simultanés exécutés en janvier 1974 ont montré des pertes de 12 l/s (sur un débit total 67 et 16 l/s) entre la partie médiane de la retenue et la zone du site. Au printemps, plusieurs visites sur les lieux ont permis de constater que l'écoulement de quelques litres par seconde qui était encore visible dans le secteur médian de la retenue disparaissait complètement à 1 ou 2 km à l'amont du site dans un tronçon où affleure la roche en place.

Les deux sondages exécutés en fond de vallée, BD 2 sur le profil du site et BD 4 dans le secteur médian de la retenue, s'ils apportent quelques éléments de réponses optimistes, ne permettent pas de trancher définitivement la question de l'étanchéité du fond de la retenue.

Les terrains concernés correspondent aux couches de base de l'albien et à l'aptien supérieur. Le sondage BD 2, qui a une profondeur de 80 m, a débuté dans l'albien et s'est arrêté dans l'aptien supérieur, probablement à 10 ou 20 m au-dessus de la falaise de Blanche. Des pertes d'eau totales et de fortes absorptions lors des essais Lugeon ont été enregistrées dans les 20 premiers mètres; au-delà de 20 m et jusqu'à la fin du forage, les absorptions ont été très faibles ou nulles, entre 0 et 1 lugeon. Le sondage BD 4, d'une profondeur de 40 m, est aussi resté dans les couches sus-jacentes à la falaise de Blanche. Il y a peu de pertes importantes lors de la perforation et les absorptions lors des essais Lugeon ont été limitées; quatre passes ont eu des absorptions entre 0 et 5 lugeons et trois passes entre 5 et 8 lugeons.

Les couches de l'aptien supérieur sus-jacentes à la falaise de Blanche sont donc en général très peu perméables au-delà des 20 premiers mètres qui ont été le siège de phénomènes d'altération superficielle.

Les niveaux d'eau qui, lors de la perforation, s'étaient cantonnés à proximité de la surface ont fortement baissé dans les jours qui suivirent l'arrêt des travaux, particulièrement dans le sondage BD 2 (près de 30 m) puis se sont pratiquement stabilisés en octobre et novembre.

La comparaison des sondages BD 2 et BD 4 permet de faire les constatations suivantes:

- les niveaux d'eau dans le terrain se stabilisent nettement sous la cote du fond de l'ouadi Ain ed Dibb;
- ce décrochement des niveaux d'eau par rapport à la surface explique les pertes qui ont été observées sur l'écoulement de l'ouadi Ain ed Dibb.
- les couches de l'aptien supérieur reconnues sont en général imperméables ou peu perméables, au-delà de la tranche superficielle des 20 premiers mètres. On doit cependant ajouter que certains bancs qui étaient imperméables dans le sondage BD 2 ont eu quelques absorptions dans le sondage BD 4.

Les résultats enregistrés sur ces deux sondages de reconnaissance laissent une impression assez favorable quant à l'étanchéité du fond de la retenue. On peut toutefois s'interroger sur la cote très basse des niveaux d'eau dans le sondage BD 2; celle-ci pourrait laisser supposer des écoulements en direction de la falaise de Blanche sous-jacente puisqu'il n'y a pas dans la topographie environnante de point bas à des cotes équivalentes.

Des sondages complémentaires et des observations piézométriques régulières devraient permettre de mieux évaluer les risques de fuite par le fond de la retenue.

1.1.3 Description du barrage

i. La digue

Le barrage projeté est un ouvrage en enrochements avec masque amont en béton ou en bitume. On trouvera à proximité du site les matériaux nécessaires à la constitution de la digue. Le volume nécessaire est de l'ordre de 2,2 Mm³.

Les études ultérieures de mécanique des sols devront permettre de préciser la situation des gîtes de matériaux, la constitution et l'organisation du massif d'enrochements.

L'étanchéité sera assurée par un masque amont en béton ou en béton bitumeux qui se raccordera à un massif de pied en béton, formant clé dans le sol et prolongé en profondeur par un écran d'injections de ciment.

Ce massif est encastré dans le bed-rock pour former parafouille sur une profondeur de 7 à 10 m. A l'intérieur du massif une galerie a été réservée à partir de laquelle pourront être effectuées les reprises d'injection du voile d'étanchéité. Elle servira ultérieurement de galerie de visite et de galerie d'accès aux chambres de vannes de tête de la galerie de vidange de fond et de la conduite de prise.

La gouttière formée au bas du talus amont par le masque et le mur de pied sera remplie en mastic bitumineux coulé à chaud à travers les enrochements déjà en place.

ii. Les ouvrages de sécurité, de vidange et de remplissage de la retenue

- La crue de projet

Le ouadi Aïn ed Dibb draine un bassin versant de quelques kilomètres carrés. On n'observe pas de débit permanent, ni superficiel, ni sous-alluvial.

Les apports parvenant à la réserve sont donc très limités et ne dépassent pas quelques dizaines de mètres cubes par seconde.

- Les ouvrages de remplissage de la retenue

Aux apports du ouadi Aïn ed Dibb il faut ajouter les débits dérivés du nahr Bisri qui sont déversés dans la retenue par la galerie Barouq-Beit ed Dine.

Le système d'adduction des eaux du nahr Bisri vers la réserve de Beit ed Dine est composé de l'amont vers l'aval d'un canal de 4,5 km qui dérive les eaux de Safa et de deux galeries: l'une de 3,3 km, l'autre de 5 km. Entre ces deux galeries se situe l'ouvrage de dérivation des eaux de Barouq.

Le débit de l'adduction sera de quelques mètres cubes par seconde. Etant donné la faible capacité de la retenue, on réduira la tranche de sécurité correspondant à la vidange du système d'adduction dans la réserve en plaçant ce système en commande aval. Une telle disposition impose donc la mise en charge des galeries. Il faudra s'assurer lors des études de détail que la géologie des galeries le permet.

- Le déversoir de sécurité

Le déversoir de sécurité du barrage sera constitué par un seuil déversant dans un chenal à écoulement libre terminé par un ouvrage à ressaut.

Il sera nécessaire de vérifier la capacité de transit de l'ouadi Ain ed Dibb en aval du déversoir afin de recalibrer éventuellement l'exutoire en fonction des débits qui peuvent être déversés.

- La vidange de fond

Cette fonction est réalisée par l'intermédiaire d'un tunnel en béton armé, ancré dans le bed-rock et traversant l'ouvrage de part en part en suivant le thalweg.

Son entrée sera obturée par deux vannes en série: une vanne de garde de type wagon et une vanne segment de réglage.

L'ouvrage est constitué d'un ovoïde en béton armé coulé dans une tranchée ouverte dans le rocher franc, les pieds droits du cadre étant bloqués en rocher.

- La prise d'eau

Dans la tranchée on posera un tuyau acier noyé dans le béton et raccordé à l'amont à une tour de prise. Cette conduite constitue la prise de l'adduction en eau potable de la région de Beit ed Dine à laquelle sont destinées les eaux de la retenue.

La nature et le tracé de cette adduction feront l'objet d'études spécifiques.

En amont de la conduite une chambre de commande des vannes de tête communique avec les deux galeries rive droite et rive gauche placées dans le massif de pied en béton qui forme parafouille et sur lequel bute le masque amont.

En aval la conduite se ramifie en deux branches: l'une correspond à l'adduction d'eau potable; par l'autre des lâchures pourront être faites à l'aide d'ouvrages de décharges (vannes papillon et robinet à jet creux) regroupés dans une chambre de manoeuvre.

1.1.4 Les ouvrages d'aménée

i. Canal de Safa

La géologie le long du tracé a été interprétée sur base d'un levé régional au 1/20 000.

Le canal est accroché sur un versant taillé dans les formations de l'aptien supérieur et localement des "grès du Liban". Les pentes topographiques sont généralement moyennes à faibles. Les recouvrements quaternaires, fluages, colluvions de pente, éboulis sont fréquents le long du tracé mais ne devraient pas entraîner des problèmes de stabilité trop délicats. Certains secteurs du tracé où les recouvrements sont argileux et épais, ou sur les affleurements de grès du Liban devront faire l'objet d'études de détail. Il faudra aussi étudier les risques d'éboulement locaux alimentés par la falaise de Blanche qui forme corniche au-dessus de la partie aval du tracé.

ii. Galerie Safa-Baroug

D'après les études géologiques de surface la galerie devrait suivre la falaise de Blanche sur la plus grande partie de son tracé, c'est-à-dire une formation ne posant pas de problèmes particuliers de perforation. Il n'est pas exclu cependant qu'en raison de légères fluctuations de pendage qui n'ont pu être mesurées en surface, la galerie sorte de cette formation calcaire pour traverser les bancs argilo-gréseux sus-jacents ou les marnes et calcaires marneux sous-jacents; ce changement lithologique pourrait être à l'origine de quelques difficultés de perforation.

D'autres difficultés pourraient être rencontrées lors du passage de la faille de l'ouadi Aïn es Slaiyeb vers le point 1,5 km (à compter de l'entrée) à cause de la dislocation des couches. Passée cette faille, la galerie traverserait des couches marno-calcaires de l'albien jusqu'à son extrémité aval.

Des venues d'eau se produiront lors de la traversée de la falaise de Blanche probablement fissurée et karstifiée; elles ne devraient cependant pas être très importantes.

Les venues d'eau associées à la faille de l'ouadi Aïn es Slaiyeb devraient aussi être limitées en raison de la proximité du versant.

iii. Galerie Baroug-Beit ed Dine

Les conditions géologiques qui seront rencontrées le long de son tracé peuvent se résumer ainsi:

- structure géologique sub-tabulaire avec de molles ondulations faisant varier les pendages entre 0° et 10°;
- la galerie ne recoupera qu'une faille dont le rejet est faible;
- elle sera exclusivement cantonnée dans les couches de l'albien qu'elle suivra presque parallèlement au plan de stratification. Ces terrains doivent avoir une bonne tenue;

- la couverture au-dessus de la galerie aura une épaisseur de l'ordre de 150 m, sauf près de son extrémité aval;
- cette couverture est formée par les couches terminales de l'albien et par le cénonanien qui affleure sur le Ard Maskifa.

De par sa disposition topographique, le cénonanien qui est posé en calotte sur l'albien est parfaitement drainé sur ses bordures et par les ouadis qui l'incisent; aussi, bien que les signes de karstification soient bien développés en surface, les risques de venues d'eau importantes lors du percement ne sont pas à craindre en dehors de la saison pluvieuse. Durant la saison pluvieuse, la cinquantaine de mètres de terrains albiens au-dessus du toit de la galerie devrait constituer un écran suffisant. Cependant, certaines structures karstiques de surface dans le cénonanien pourraient se prolonger dans l'albien et entraîner des venues d'eau localisées. L'éparpillement des dolines, leur distribution irrégulière et la multiplicité des exutoires possibles s'opposent à une concentration des écoulements souterrains, sauf éventuellement le long de la faille qui sera traversée vers le point 2,7 km à partir de l'entrée de la galerie.

1.1.5 Conclusions et recommandations

L'étude géologique préliminaire de surface et la première campagne de sondages de reconnaissance ont montré, en particulier, que la nature lithologique des terrains concernés par le site et la retenue, leur structure et leurs caractéristiques hydrauliques étaient plutôt favorables à la création d'un lac artificiel dans la zone envisagée. Cet avis devra toutefois être confirmé par des reconnaissances complémentaires qui devraient comprendre:

- un levé géologique détaillé de la zone du site à l'échelle du 1/1 000 ou de 1/2 000, qui fera apparaître, notamment, la trace en affleurement des bancs perméables identifiés dans les sondages BD 1 et BD 3, tant dans la vallée de l'ouadi Ain ed Dibb que dans les vallées latérales;
- un levé géologique complémentaire de la zone de retenue à l'échelle de 10 000 qui s'étendra vers le sud-est jusqu'à la vallée du nahr Barouq. Il sera accompagné de coupes lithologiques détaillées de l'aptien supérieur et de l'albien.

Ces levés géologiques permettront de localiser en affleurement et définir la géométrie des bancs susceptibles d'entraîner des pertes latérales.

Des mesures régulières des fluctuations piézométriques seront faites sur les sondages exécutés avec quelques nouveaux jaugeages simultanés dans le lit de l'ouadi Ain ed Dibb. Des essais d'injection d'eau dans les sondages BD 2 et BD 4 pourraient aussi être éventuellement réalisés à partir de prélèvements sur le débit de l'ouadi Ain ed Dibb.

Ces nouvelles études sur le terrain permettront la mise au point d'un avant-projet détaillé dans le cadre duquel une campagne de reconnaissance par sondages plus importants pourrait être réalisée. Ces sondages auront pour but de vérifier la structure dans la

zone du site et de la retenue, les distributions latérales et verticales de perméabilité au sein de l'albien et de l'aptien supérieur, et les informations piézométriques afin de mieux préciser les risques de fuites éventuelles. Un certain nombre de sondages devraient aussi être consacrés à reconnaître le tracé des galeries d'amenée, particulièrement la galerie Safa-Barouq.

C'est aussi dans la phase d'étude correspondante à un avant-projet détaillé que pourrait être décidée l'exécution d'une digue d'essai pour tester le fond de la retenue; cette digue d'essai pourrait être constituée par une première phase de construction du barrage qui serait associée au percement de la galerie Barouq-Beit ed Dine, le remplissage étant assuré par les seules eaux dérivées du nahr Barouq.

1.2 LE BARRAGE DE KHARDALE

1.2.1 Généralités

i. Site du barrage

Le site de Khardalé se trouve en aval du barrage existant de Qaraaoun près du coude du Litani au pied du château de Beaufort à l'altitude de 230 m environ (cf. figure 2).

La route principale Nabatiyé-Marjayoun passe actuellement sur l'appui rive gauche du barrage à 30 m environ sous le niveau de la crête.

Le barrage projeté doit mobiliser les apports naturels du Litani en aval de Qaraaoun (cf. figure 3).

Deux sites ont été reconnus dans les années 1950 par le "Bureau of Reclamation", Etats-Unis.

Le site actuel a été choisi par l'ONL, sur proposition des spécialistes de l'Electricité de France au terme de plusieurs missions effectuées de 1967 à 1969.

Le groupe ONL/FAO du "Projet de développement hydro-agricole du sud du Liban" s'est intéressé à ce barrage en raison de son importance dans le cadre de la planification des eaux au sud du Liban.

ii. Remplissage et capacité de la retenue de Khardalé

Le bassin versant intermédiaire entre Qaraaoun et Khardalé couvre une surface de 270 km². Ses apports naturels à la station de Khardalé (altitude 239 m) sont de l'ordre de 270 Mm³ en année moyenne.

Une partie de ces apports proviennent de la source d'Ain Zarqa à l'altitude de 660 m environ.

Cette source peut cependant être captée en tête de la galerie de Aouali et dérivée sur le bassin versant du Aouali pour être utilisée soit à des fins de production d'énergie électrique, soit à des fins d'alimentation en eau potable ou en eau agricole.

Sur le site de Khardalé une diguée de 77 m de hauteur (crête arasée à la cote 310) permet le stockage de 128 Mm^3 (cf. figure 4).

La cote de la retenue normale est de 305 m et la surface de la cuvette est alors de $4,2 \text{ km}^2$.

Suivant que les apports d'été d'Aïn Zarqa sont affectés ou non au remplissage de la retenue de Khardalé, le volume régularisé par le barrage est de 152 Mm^3 ou de 112 Mm^3 (cf. figure 5).

iii. Utilisation des eaux de la retenue de Khardalé

Les eaux stockées dans la retenue de Khardalé pourront être utilisées d'une part pour l'irrigation des terres agricoles situées aux altitudes 300 - 500 sur les plateaux de Nabatiyé et du sud du Liban, d'autre part pour l'irrigation du périmètre côtier de Qasmiyé.

L'alimentation du canal côtier de Qasmiyé se fera par des lâchés directs dans le lit aval du Litani. L'alimentation des réseaux situés sur le plateau de Nabatiyé se fera à partir d'une station de pompage située au pied du barrage et refoulant à l'altitude 500 environ en un ou plusieurs étages les eaux stockées dans la tranche 252 - 305 de la retenue. L'alimentation des réseaux de Srifá sur le plateau du sud du Liban se fera par refoulement depuis le lit du Litani des eaux lâchées au barrage de Khardalé, la station de pompage étant située à la confluence du ouadi Ghandouriyé et du Litani, approximativement sur le site du barrage projeté de Kfar Sir à l'altitude 110.

Le présent projet ne traite que du barrage et des ouvrages qui lui sont directement liés, tels que la conduite de prise des irrigations.

L'utilisation des eaux stockées à Khardalé fait l'objet du chapitre 2 du présent rapport: les ouvrages de distribution.

1.2.2 Caractéristiques du site du barrage

i. Géologie du site

Le barrage projeté sera construit sur le prolongement d'un accident majeur de l'écorce terrestre: la grande faille de Roum qui constitue avec les failles de Yammouné et de Hasbaïya le prolongement de la faille occidentale du sillon de la Mer Morte.

La zone des sites prospectés est à moins de 6 km du noeud de ces failles qui peut correspondre à une accumulation de contraintes internes génératrices de mouvements sismiques.

Les caractéristiques du site sont liées à la présence de cette faille majeure.
Signalons:

ii. Séismicité du site

Le Chouf qui borde à l'ouest cette faille a été le siège de tremblements de terre fréquents. Le dernier en date étant celui de 1956, de force 9 suivant l'échelle de Mercalli révisée et dont l'épicentre se situe sur la faille de Roum.

iii. Complexité de la géologie du site

La faille de Roum s'accompagne de failles secondaires (outre la faille principale, trois sont reconnues en fond de vallée). Elles sont parallèles à l'axe de la rivière et traversent d'amont en aval le site du barrage.

Chacune de ces failles abaisse le compartiment ouest par rapport au compartiment est. Elles mettent en contact des terrains de natures géologiques très différentes après des rejets pouvant atteindre 150 à 200 m.

En particulier l'appui rive droite du barrage est rocheux (calcaire marneux, calcaire et marne), tandis que celui rive gauche est composé de sables en partie consolidés (grès et marnes gréseuses).

Il en résulte une dissymétrie de la nature des appuis qui risque d'entraîner des mouvements différentiels dans la masse du barrage et ce, aussi bien en l'absence de sollicitations extérieures (tassements des appuis) que sous l'action des mouvements sismiques.

1.2.3 Etanchéité de la retenue (cf. figure 6)

i. Au droit du barrage l'étanchéité est assurée:

a) en rive droite par un voile au large dans les calcaires. L'étendue de ce voile reste à déterminer en sachant qu'il n'est pas possible de le fermer à l'ouest sur une formation plus étanche; tout au plus peut-on espérer allonger les lignes de percolation.

Les premiers essais Lugeon sont favorables (2 à 5 lugeons dans sept essais) bien qu'un essai ait donné une perméabilité de 10 lugeons vers 20 m de profondeur. Ils confirment l'aspect sain et compact de ces calcaires observés dans les galeries de reconnaissance actuellement creusées.

Toutefois afin de s'assurer de la faible perméabilité du massif et pour préciser l'importance du traitement à prévoir, une nouvelle galerie de reconnaissance longue de 200 m et des sondages verticaux avec essais d'eau dans l'axe de la galerie seront prochainement exécutés.

b) en rive gauche par un écran anti-renard constitué par une paroi continue plastique argile-ciment moulée dans les grès. Elle se raccordera sur le voile rive droite mais son développement en rive gauche et en profondeur reste à définir.

Cet écran visera à l'allongement des lignes de fuites des circulations pouvant se produire le long des bancs de sable pratiquement non cimentés inclus dans les séries de transition et dans les grès. Ces bancs sont en effet susceptibles d'être largement alimentés en amont du noyau et affleurent sous la recharge aval du barrage.

Cette paroi sera prolongée jusqu'à ce qu'elle recoupe la totalité des plans sub-verticaux des failles.

c) Dans le lit de la rivière, sous les alluvions par un voile profond et serré, destiné:

- au traitement par injection du lambeau de calcaire (falaise de Blanche) très fracturé coincé entre deux failles au pied de la rive gauche sous le lit du Litani;
- au clavage des failles parallèles à l'axe de la rivière et qui traversent les fondations du barrage. La profondeur de ces claveaux d'étanchéité reste à définir.

Ce voile encagera à sa partie supérieure la paroi moulée.

ii. En amont du barrage

a) La faille de Roum est noyée par la retenue sur une distance de 2 km environ. Une faille est une zone de broyage intense. Elle représente, du fait de la présence d'éléments fins dans la structure des matériaux qui la composent, un écran d'étanchéité vis-à-vis des cheminements transversaux. Cependant les épontes (lèvres) de la faille généralement fracturées favorisent les circulations et peuvent être le siège d'une karstification plus ou moins intense.

Deux points bas peuvent servir d'exutoire à ces fuites éventuelles: le lit du Litani et la dépression de Houlé. Il est cependant très improbable que la karstification s'étende très profondément et l'exutoire le plus naturel est le lit du Litani. Pour l'atteindre les circulations doivent traverser le site du barrage au droit duquel l'étanchéité est assurée.

b) La cuvette repose en grande partie sur des formations gréseuses qui s'étendent en rive gauche et sous le lit du Litani. La faible perméabilité verticale de ces séries semble jusque-là acquise du fait de la présence de nombreux bancs marneux et marno-gréseux interstratifiés.

Leur pendage vers l'Ouest conduit à concentrer les infiltrations éventuelles vers la faille de Roum et nous avons vu de quelle manière cette dernière était traitée au droit du barrage.

c) Très en amont la cuvette est en contact avec deux formations très karstifiées:

- des calcaires massifs du jurassique actuellement drainés par le Litani en amont du barrage (source de Guellé). La présence de la retenue ne devrait pas modifier le système hydro-géologique;

- le banc calcaire de la falaise de Blanche qui affleure dans l'ouadi Zraïqoun. Ces calcaires sont drainés par l'ouadi et l'existence d'un pendage local vers le nord-est empêche toute fuite à travers cette barre.

d) Au droit du site la retenue noie les formations de l'albien et du cénonanien-turonien.

L'albien est normalement imperméable; 49 essais Lugeon ont été réalisés. La perméabilité obtenue est comprise entre 1 et 3 lugeons sauf dans la partie superficielle altérée et dans une passe à 80 m de profondeur qui correspond sans doute à une zone fracturée.

Les seules pertes importantes qui peuvent se produire dans la retenue sont celles qui auraient lieu dans le cénonanien-turonien. Cette formation n'a fait l'objet que de sept essais Lugeon dont les résultats sont plutôt favorables (2 à 5 lugeons sauf au cours d'un essai qui a donné 10 lugeons vers 20 m de profondeur).

Faute de pouvoir faire la preuve de l'absence de karstification de ce massif on peut noter seulement l'absence de structures favorables à des fuites vers l'ouest et l'éloignement des exutoires. Le seul point bas reste le lit du Litani mais dans ce cas les fuites sont étanchées au droit du barrage. La galerie de reconnaissance projetée et les essais qui pourront être réalisés à partir de cette galerie ne feront certes pas la preuve de l'absence de cheneaux karstiques mais aideront à la meilleure connaissance de l'état du massif.

iii. Etat de la nappe au voisinage du site

Les niveaux des eaux souterraines qui ont pu être mesurés dans différents forages montrent que au droit du site le Litani est une rivière drainante. Le gradient en rive gauche dans les grès est très fort - de l'ordre de 25 pour cent alors qu'en rive droite dans l'albien il n'est que de 2,5 pour cent.

1.2.4 Dispositions constructives retenues

i. Le projet

Séismicité et géologie ont conditionné le parti du barrage: c'est un ouvrage en remblais, constitué par une digue en enrochements avec noyau étanche en terre compactée.

Au terme des études préliminaires, la connaissance acquise des données géologiques d'ensemble est satisfaisante et a permis de définir sommairement les dispositions constructives essentielles relatives à la fondation et à l'étanchéité du barrage (cf. figure 7). Cependant les campagnes de reconnaissance entreprises jusque-là n'ont pas permis de déterminer avec certitude l'étendue des traitements à réaliser pour assurer l'étanchéité au droit du barrage.

En ce qui concerne la séismicité du site aucune information ne permet à ce jour d'écartier l'hypothèse d'une micro-activité de la faille de Roum.

Cette lourde sujétion a orienté le projet du barrage sur les points suivants:

- élargissement de l'assise du barrage;
- indépendance totale entre le barrage et ses ouvrages de sécurité (vidange et évacuateur des crues). Ces derniers ont été reportés dans le massif rive droite. Ainsi des désordres éventuels dans le barrage ne risqueraient pas de rendre inopérants les organes de sécurité;
- séparation des organes de sécurité: déversoir de surface et vidange de fond débitent dans deux galeries distinctes. Notons l'importance de la fonction sécurité de la vidange de fond qui est calibrée pour évacuer une part non négligeable du débit de crue ($300 \text{ m}^3/\text{s}$ sur $1\,100 \text{ m}^3/\text{s}$) et dont le fonctionnement permettra une vidange rapide et la maîtrise de la montée du plan d'eau quelle que soit la cote de remplissage de la retenue;
- création dans l'appui rive droite d'un puits incliné pénétrant profondément sous le niveau de fondation du barrage et à partir duquel une série de forages permettront les reconnaissances, les traitements éventuels et la surveillance des failles qui traversent le site.

ii. Matériaux constitutifs de la digue

Le barrage projeté est un ouvrage en remblais, constitué par une digue en enrochements avec noyau étanche en terre compactée.

Le batardeau amont est incorporé à la digue.

Le volume des remblais à réaliser est de $3\,050\,000 \text{ m}^3$ dont $380\,000 \text{ m}^3$ pour le noyau, $120\,000 \text{ m}^3$ pour les filtres, et $2\,550\,000 \text{ m}^3$ pour les recherches amont et aval.

Une prospection par puits et tranchées des gites possibles de matériaux, complétée par une étude très préliminaire en laboratoire de leurs caractéristiques géomécaniques, ont permis de localiser en quantité suffisante les matériaux argilo-sableux nécessaires à la constitution du noyau.

Il s'agit d'argile fin à indice de plasticité élevé dont la mise en oeuvre sera délicate.

L'utilisation de ces argiles dans un ouvrage terre-enrochement nécessite l'utilisation de filtres.

Les matériaux sablo-graveleux constitutifs des terrasses alluviales pourront sans doute jouer le rôle de filtre mais leur présence en bancs hétérogènes nécessitera l'installation d'une station de lavage-criblage.

Enfin des emplacements de carrières permettant l'extraction des enrochements constitutifs des massifs de stabilisation amont et aval ont été reconnus.

Les fruits de ces massifs étant déterminés plus par les caractéristiques propres de la fondation que par celles des matériaux qui doivent constituer les recharges, on pourra s'orienter vers la recherche d'enrochements à structure plus terreuse que ceux reconnus actuellement et dont les carrières d'emprunt sont assez éloignées du site.

iii. Crue de projet, ouvrages de vidange et d'évacuation des crues

La crue de projet est estimée à $1\ 100\ \text{m}^3/\text{s}$. Cette valeur a été calculée par les ingénieurs américains du Bureau of Reclamation qui ont proposé en 1954 un aménagement du Litani comprenant à Qaraaoun un barrage de 60 m de hauteur stockant $195\ \text{Mm}^3$ (le barrage actuellement construit a une capacité de $220\ \text{Mm}^3$) et un barrage à Khardalé de 60 m de hauteur stockant $82,5\ \text{Mm}^3$.

Le débit de crue n'a pas été réestimé depuis cette première étude.

Dans le projet que propose le présent document les fonctions évacuation des crues et vidange de fond ont été, pour des raisons de sécurité, diversifiées et deux galeries distinctes, forées dans l'appui rive droite, totalement indépendantes du corps de la digue, concourent au transit de la crue de projet (cf. figure 8).

La galerie de fond est utilisée en dérivation provisoire pendant la durée des travaux, en vidange de fond après la mise en eau. Elle est alors obturée par deux séries de vannes en parallèle placées dans une chambre des vannes disposée derrière l'écran d'étanchéité du barrage. Elle est calibrée pour 300 à $400\ \text{m}^3/\text{s}$.

L'évacuateur de crues est constitué d'un déversoir de surface placé en rive droite de la retenue. Il débite dans une galerie à écoulement libre qui restitue les débits au Litani en aval du barrage. Il peut évacuer 700 à $800\ \text{m}^3/\text{s}$.

1.2.5 Fiche synoptique des caractéristiques du barrage de Khardalé

i. Caractéristiques principales de la digue

Type: ouvrage en remblais, constitué par une digue en enrochements avec noyau étanche en terre compactée.

Nature de la fondation - rive droite calcaires marneux, calcaires et marnes de l'albien et du cénomanién-turonien

- rive gauche - grès et marnes gréseuses de l'aptien inférieur et supérieur.

Hauteur au-dessus du terrain naturel	77 m
Longueur en crête	303 m
Largeur en crête	10 m
Largeur maximale au niveau du terrain naturel	445 m
Fruit du parement amont	3 H/1 V
Fruit du parement aval	2,5 H/1 V
Altitude de la crête de digue	310 m
Altitude du seuil du déversoir de crue	305 m
Volume du corps de la digue	$3\ 050\ 000\ \text{m}^3$

Batardeau amont incorporé à la digue

Hauteur au-dessus du terrain naturel	21 m
Longueur en crête	85 m
Largeur maximale au niveau du terrain naturel	135 m
Altitude de la crête du batardeau	255 m
Altitude du seuil de la prise de dérivation provisoire	240 m
Volume du corps du batardeau (quantité incluse dans le volume de la digue)	133 000 m ³

ii. Caractéristiques principales de la retenue

Altitude de la retenue normale	305 m
Altitude de la retenue maximale	308 m
Aire de la retenue normale	4,2 km ²
Capacité totale de la retenue	128 Mm ³

iii. Caractéristiques hydrologiques

Aire du bassin versant Qaraaoun-Khardalé	270 km ²
Altitude des sommets	1 720 m
Altitude de la station limnigraphique de Khardalé	239 m

en année moyenne

Pluie locale nette (moins évaporation)	220 Mm ³ /an
Apports souterrains extérieurs au bassin versant et déversements de Qaraaoun	50 Mm ³ /an
Apports naturels du bassin versant à Khardalé	270 Mm ³ /an
<u>dont</u> apports annuels de la source Ain Zarqa - Altitude 660	91 Mm ³ /an
" apports d'été d'Ain Zarqa	38 Mm ³

en année sèche

Pluie locale nette	50 Mm ³ /an
Vidange des aquifères souterrains alimentés par le bassin versant	60 à 90 Mm ³ /an
Apports naturels du bassin versant à Khardalé	110 à 140 Mm ³ /an
<u>dont</u> apports annuels d'Ain Zarqa	60 Mm ³ /an
" apports d'été d'Ain Zarqa	28 Mm ³

Volume régularisé par la digue de 75 m de hauteur

- avec les apports d'été d'Ain Zarqa	152 Mm ³
- sans les apports d'été d'Ain Zarqa	112 Mm ³

Estimation des crues

Crue de projet	1 100 m ³ /s
Débit de la dérivation provisoire	300 à 400 m ³ /s

iv. Caractéristiques des ouvrages de vidange, d'évacuation des crues et de prise

Pertuis de fond

Galerie forée dans l'appui rive droite

fonctionne - en dérivation provisoire pendant travaux

- en vidange du fond après mise en eau

Débit d'équipement	300 à 400 m ³ /s
Diamètre	ø 7,00 m
Longueur	740 m
Cote prise	240
Cote restitution	237

Chambre des vannes

placée derrière l'écran d'étanchéité

équipée de deux séries de vannes plates en parallèle

- pertuis des vannes nombre 2 longueur 40 m blindés
section 3,00 x 3,00

- puits d'aération de la lame d'eau hauteur 70 m
section ø 3,00 m

Evacuateur de crues - débit d'équipement

700 à 800 m³/s

comprend - un déversoir latéral, longueur du seuil
cote du seuil
hauteur lame d'eau

90 à 100 m
305
3,00

- une galerie d'évacuation à écoulement libre
diamètre variable
longueur
pentes

13 à 10,00 m
830 m
2% amont et
10% aval

- un ouvrage de restitution en saut de ski
cote restitution

235

Ouvrage de prise

conduite placée en radier de la galerie de fond

débit d'équipement
cote de prise

10 m³/s
252

v. Quantités caractéristiquesDigue et batardeau amont incorporé

Ces quantités se rapportent à la figure 8 du présent rapport et comprennent celles du batardeau amont.

Volume des déblais en grande masse		910 000 m ³
	<u>m³</u>	
Volume du noyau	380 000	
Volume des filtres	120 000	
Volume des recharges amont et aval	2 550 000	
	<hr/>	
Volume des remblais	3 050 000	
		<u>m²</u>
Surface des tapis drainants - rive gauche aval		20 000
Surface des tapis étanches - rive gauche amont		26 000
Surface paroi moulée		20 000
Surface voile injecté - forages verticaux		30 000
forages inclinés		4 500
forages sub-horizontaux réalisés en fond de puits de reconnaissance		3 000

Batardeau amont seuil

Volume déblais		114 000 m ³
	<u>m³</u>	
Volume noyau	20 000	
Volume filtres	6 000	
Volume recharges	107 000	
	<hr/>	
Volume remblais	113 000	

1.3 LE BARRAGE DE BISRI

1.3.1 Généralitési. Situation géographique

Le site de barrage de Bisri se trouve dans la vallée du nahr Aouali, à 23 km de l'embouchure de cette rivière (cf. figure 1). Il se place immédiatement à l'amont du village de Bisri et à environ 1,5 km à l'amont du grand effondrement de Anane qui a barré la vallée. Le site et l'essentiel de la retenue couvrent la plaine d'accumulation qui s'est constituée derrière ce barrage naturel.

Le nahr Aouali est un torrent côtier qui entaille profondément le versant ouest de la chaîne du Liban. C'est une rivière permanente dont le débit est assuré en étiage par plusieurs sources karstiques dont la plus importante est la source de Barouq, située à une altitude de 1 080 m et qui est un des principaux exutoires de l'aquifère jurassique du jabal Barouq-Niha. Cependant le bassin versant associé au site de Bisri est en grande

partie le domaine d'affleurement des terrains peu perméables du crétacé inférieur qui assurent un ruissellement élevé durant la saison hivernale et provoquent des crues pouvant être importantes. Ces mêmes terrains alimentent un débit solide élevé estimé à $133\,500\text{ m}^3$ par an actuellement et réduit à $40\,000\text{ m}^3$ /an après la construction du barrage. La zone montagneuse couverte par le bassin versant est restreinte et la part de la fusion neigeuse dans l'écoulement de la rivière est limitée.

Les coordonnées du site sont, d'après les cartes topographiques de la DAG 1/ à l'échelle du 1/20 000, de Jezzine et de Mazraat ech Chouf:

x = 132,0
y = 183,5
z = 394 m

ii. Rappel des études antérieures

Le Bureau de Reclamation des Etats-Unis avait étudié entre 1951 et 1954 l'aménagement hydraulique du bassin du Litani qui incluait une dérivation vers le nahr Aouali. L'aménagement de cette rivière avait donc été aussi pris en considération et deux sites de barrage avaient été successivement sélectionnés. Des travaux de reconnaissance par forages et des levés topographiques détaillés au 1/1 000 avaient été exécutés sur les deux sites.

Le site A, à l'aval du village de Bisri et à environ 500 m à l'amont de la masse principale de l'effondrement de Anane avait été abandonné à la suite des résultats défavorables des neuf forages de reconnaissance exécutés en rive gauche. Ces forages avaient en effet montré un appui de très mauvaise qualité formé de terrains glissés et extrêmement cassés. L'appui rive droite, bien que plus sain, laissait prévoir des difficultés d'étanchement. Les deux forages foncés en fond de vallée avaient indiqué une épaisseur maximale de remplissage alluvio-lacustre voisine de 115 m constituée de matériaux en grande partie imperméables.

Le site B, à l'amont du village de Bisri et à environ 1 km au-dessus du site A, avait été finalement adopté. Un projet d'ouvrage avait été tracé pour ce site, avec une crête à la cote 432 m et un volume de retenue utile de $13,8\text{ Mm}^3$ entre les cotes de remplissage 430 m et 422,55 m (cf. figures 9 et 10). Le type d'ouvrage choisi était une digue en terre construite à partir des matériaux alluviaux disponibles sur place.

La dérivation provisoire était prévue en rive droite par galerie, celle-ci étant utilisée par la suite pour l'évacuation des crues et la vidange de fond.

La reconnaissance géologique effectuée lors de cette étude comportait 14 sondages de reconnaissance de 25 à 100 m de profondeur répartis sur les appuis rive gauche et rive droite et en fond de vallée. Ils avaient permis le tracé d'une coupe géologique dans l'axe du site.

En mai 1974, deux ingénieurs EDF appelés comme consultants par le projet FAO LEB/71/524 ont fait une mission sur le site B confirmé comme le plus favorable et ont défini, en accord avec les responsables du projet, les grandes lignes des reconnaissances complémentaires à exécuter sur ce site.

iii. L'étude actuelle

L'étude géologique a pris pour base le site B tel que défini dans les études antérieures, ce site apparaissant comme le plus propice pour l'édification d'un ouvrage de retenue.

Les études sur le terrain ont toutefois débordé assez largement le site afin de permettre des déplacements éventuels de l'axe précédemment retenu en fonction des caractéristiques de l'ouvrage qui sera finalement adopté.

Les travaux de cartographie géologique ont été exécutés durant le mois de juin 1974 par l'équipe de la section "hydrogéologie" du projet LEB/71/524. Ils ont comporté:

- Carte géologique de la retenue à l'échelle du 1/20 000, à partir du fond topographique édité par la DAG à cette échelle, couvrant une superficie d'environ 50 km².
- Carte géologique de l'appui rive droite, à l'échelle du 1/5 000, à partir d'un agrandissement du fond topographique au 1/20 000, couvrant une superficie de 1,5 km².
- Carte géologique du site à l'échelle du 1/1 000, à partir d'un levé topographique exécuté pour le Bureau of Reclamation, couvrant une superficie de 0,7 km² environ.
- Carte géologique de l'appui rive gauche, à l'échelle du 1/5 000, à partir d'un agrandissement du fond topographique au 1/20 000 couvrant une superficie de 1,5 km².

Un programme de travaux de reconnaissance a été préparé en vue de reconnaître les caractéristiques géo-mécaniques du remplissage alluvial.

Les grandes lignes d'une seconde phase de reconnaissance destinée à permettre le choix d'un mode d'étanchement pour les appuis rive gauche et rive droite sont également définies.

1.3.2 Etanchéité de la retenue

i. Le fond de vallée

Du fait de la morphologie de la vallée, la retenue noiera essentiellement les dépôts alluviaux ou alluvio-lacustres de fond de vallée.

L'épaisseur du remplissage ancien varie d'une centaine de mètres à l'aplomb du site à une dizaine de mètres en queue de retenue. Ces dépôts, de par leur nature silto-argileuse peuvent être réputés imperméables. On peut donc considérer que le fond de la retenue est étanche.

Les dépôts alluviaux récents à fraction grossière dominante, plus perméables, n'ont aucune influence car ils se résument à un tapis peu épais emboîté dans les dépôts anciens et cela sur toute l'emprise de la retenue.

D'autre part l'étanchéité du fond de la retenue est encore accentuée par le fait que l'essentiel du substratum, sous le remplissage alluvial, est constitué par les séries marno-gréseuses du crétacé inférieur de perméabilité négligeable.

La zone de retenue est traversée par de nombreuses failles dont certaines ont des rejets de plusieurs dizaines de mètres, dépassant même la centaine de mètres pour certaines d'entre elles. Le passage de ces failles n'a aucune influence sur l'étanchéité de la retenue car dans la zone d'emprise de celle-ci elles mettent en contact des formations imperméables du crétacé inférieur.

A proximité du site, le passage de la flexure de Roum a pour principale conséquence de faire plonger les couches karstiques du crétacé moyen sous le niveau de la retenue.

ii. Le flanc droit de la retenue

Il est constitué dans sa partie amont par les terrains arénacés et néritiques du crétacé inférieur, recouverts, localement, par des formations de pente des éboulis plus ou moins consolidés. Dans sa partie aval, les eaux seront en contact avec l'albien sur environ 500 m, et dans le voisinage immédiat du site, avec la partie inférieure du céno-manien.

Au niveau des affleurements du crétacé inférieur, l'étanchéité est assurée, d'une part parce que la séquence lithologique qui le constitue peut globalement être considérée comme imperméable, d'autre part du fait de la présence, dans les horizons plus perméables de cette série, de "nappes" dont la surface piézométrique est inclinée vers la vallée comme en témoignent plusieurs petites sources qui jalonnent le pied du versant. Les calcaires perméables de la falaise de Blanche ne peuvent constituer une zone de fuites éventuelles car la vallée du Aouali constitue leur point d'affleurement le plus bas dans la région.

L'albien est généralement considéré comme étant imperméable et constitue dans l'ensemble du Liban le substratum du karst crétacé moyen; cela s'explique par son profil lithologique où de nombreux lits de marnes et de calcaires marneux s'intercalent entre les bancs calcaires.

Des infiltrations importantes ne sont donc pas à craindre car elles ne pourraient se produire qu'au droit des bancs calcaires et, ainsi que pour la falaise de Blanche, la vallée du Aouali constitue leur point bas d'affleurement régional.

Le principal problème concernant l'étanchéité du flanc de la retenue est localisé au droit des affleurements du céno-manien. Ce problème est analogue à celui posé par l'étanchement de l'appui rive droite du barrage et devra être résolu d'une façon globale par un voile d'étanchéité. Le crétacé moyen a été l'objet d'une karstification qui s'est approfondie au fur et à mesure que les vallées s'encaissaient dans le versant ouest de la chaîne libanaise, celles-ci constituant un de leurs exutoires principaux. Cette karstification s'est développée en profondeur jusqu'à l'albien en dépit des formations marneuses et marno-calcaires qui s'intercalent dans le crétacé moyen.

Dans la partie aval de la retenue, le pendage des couches est tel que le karst cénomanien s'enfoncé progressivement sous les dépôts de la haute terrasse sans atteindre toutefois la base du remplissage alluvial. Cette zone de karstification importante, dont la perméabilité est encore augmentée par la tectonisation intense, abrite une nappe effondrée par rapport à la nappe alluviale. L'absence de sources au contact des alluvions est là pour en témoigner. Des pertes importantes sont donc prévisibles, même dans le cas où les dépôts fins alluviaux auraient pu colmater partiellement le karst profond lors du remplissage alluvial, par migration vers l'intérieur des versants.

iii. Le flanc gauche de la retenue

Il est presque exclusivement formé par les grès du Liban sauf à proximité du site où affleurent des couches du jurassique terminal. Les grès de base sont fréquemment recouverts par des colluvions et de petits glissements locaux qui tapissent le bas-versant. Pour les raisons signalées dans l'étude du flanc droit de la retenue, cette formation peut être considérée comme étant imperméable dans sa masse et les petites nappes d'eau qu'elle renferme, associées à des bancs de grès perméables, ont des surfaces piézométriques en forte pente vers la vallée. Les risques de perte au large sont nuls.

Le jurassique qui affleure sur 500 m à compter de l'axe du barrage, correspond à la série terminale de cet étage composé d'alternances de marne et de calcaires marneux (J7) et de calcaires fins et dolomies cristallines à silex (J6). Si le J7 ne présente que très peu de signes de karstification, ceux-ci abondent par contre au niveau du J6, associés à une fracturation importante. Le jurassique est d'un point de vue général un des deux principaux aquifères karstiques du Liban. Cependant plusieurs considérations permettent de penser que, du fait des conditions locales, structurales et morphologiques, le jurassique n'est pas profondément karstifié pour les raisons suivantes:

- Le jurassique qui affleure ne couvre qu'une superficie restreinte de quelques kilomètres carrés seulement, et sa couverture crétacée n'a été dégagée que vers le milieu du quaternaire; les processus d'altération karstique n'ont donc pu se développer en profondeur, ils ont essentiellement dégradé les assises calcaires du jurassique terminal, du J4 au J7.
- Ce karst jurassique est complètement déconnecté au point de vue hydrologique de celui du jabal Barouq-Niha. Si tel n'était pas le cas, le jurassique de Bisri constituerait le point bas du système karstique et le principal exutoire du système devrait donc lui être associé. Or les principales sources drainant le karst jurassique du jabal Barouq-Niha sont celles de Safa et de Barouq situées vers 1 000 m d'altitude.
- Les petites sources qui jalonnent le contact jurassique-quaternaire sont en fait les exutoires des eaux qui se sont infiltrées à la surface des affleurements jurassiques de Bisri; ces sources sont pour la plupart des sources de type débordement, l'écoulement des eaux souterraines étant bloqué soit par les dépôts quaternaires imperméables soit par la flexure de Roum. La pente de la nappe est orientée vers la vallée et le jurassique situé sous les exutoires est saturé.

- Quelques sources sont localisées au contact des calcaires de la falaise de Bikfaya (J6) et des marnes de Bahnès (J5). De cette localisation on peut déduire que cette formation de Bahnès a un comportement d'écran imperméable et qu'elle constitue un substratum pour les eaux s'écoulant à l'intérieur des calcaires du J6. On peut aussi voir là un nouvel indice du développement imparfait du karst dans le jurassique de Bisri et son caractère peu évolué, ce complexe marneux, pourtant peu épais, ayant sinon bloqué, du moins fortement limité les processus d'altération profonds.

L'étanchement des affleurements jurassiques de la retenue sera résolu par le voile au large de l'appui rive gauche.

iv. Stabilité des formations bordant la retenue

Aucun glissement important n'a été identifié dans les limites de la retenue à l'exception de paquets de falaise de Blanche en rive droite du nahr Aouali près de la confluence du nahr Aaray. Ces glissements sont d'ailleurs anciens et n'ont été que peu remaniés après leur mise en place.

Les grandes coulées de solifluxion affectant les grès du Liban sont situées en dehors de la zone de la retenue.

Des glissements susceptibles de mobiliser des volumes de terrain tels qu'ils puissent mettre en danger la digue ne sont donc raisonnablement pas à craindre, d'autant que les fluctuations du niveau d'eau dans la retenue n'affecteront qu'une tranche relativement restreinte. Des petits glissements localisés sont toutefois prévisibles.

1.3.3 Description du site du barrage

Les principales caractéristiques du site sont les suivantes:

- épaisseur très élevée du remplissage alluvial en fond de vallée;
- nature litho-stratigraphique et comportement hydrogéologique différents pour les appuis rive gauche et rive droite;
- passage d'un grand accident régional à travers le site, la flexure de Roum.

i. Le fond de vallée

- Lithostratigraphie

La largeur de la vallée est de l'ordre de 350 m dans la zone d'emprise du barrage, mais le lit moyen ne couvre qu'une centaine de mètres, le reste du fond de vallée est occupé par un système de terrasses étagées sur 20 m.

Les renseignements dont on dispose actuellement sur la nature et sur l'épaisseur du remplissage alluvial, proviennent de l'ancienne campagne de forages de reconnaissance exécutée par le Bureau of Reclamation et des observations faites lors du levé du plan

géologique au 1/1 000. Une nouvelle campagne comportant trois sondages doit être exécutée essentiellement en vue de préciser le comportement géo-mécanique de ces matériaux de remplissage.

L'épaisseur maximale du quaternaire dans la zone du site est comprise entre 90 et 100 m. Les forages foncés dans le lit majeur ont traversé environ 4 m d'alluvions grossières actuelles perméables - formées de blocs, de galets et de sable. Entre 4 et 10-11 m de profondeur, ils ont rencontré des alluvions récentes plus fines mais encore perméables, composées de galets, de sable et de silt. Au-dessous de 11 m jusqu'au bed-rock, les matériaux sont constitués par des argiles modérément plastiques avec des passées silteuses, complètement imperméables. Les couches du bed-rock identifiées dans les forages appartenaient au crétacé inférieur. Il n'est pas fait mention des niveaux d'eau mais les matériaux situés sous le niveau du lit mineur doivent être saturés, une nappe devant exister dans les dépôts plus grossiers des alluvions récentes et actuelles.

Le résultat de ces forages de reconnaissance et la géologie de surface permettent de reconstituer la structure du dispositif alluvial.

Après l'effondrement qui a barré la vallée, la retenue naturelle ainsi créée a été progressivement remblayée par des dépôts fins alluvio-lacustres, depuis les environs de la cote 300 m, fond de l'ancienne vallée, jusqu'à la cote 418-420 (zone du site).

Après cette phase de remplissage, l'effondrement a été entaillé par la circulation des eaux superficielles et une érosion régressive a entaillé le remplissage ancien, laissant accolées au versant de hautes terrasses qui dominent le lit actuel d'une vingtaine de mètres. Des dépôts plus récents, à dominante sablo-caillouteuse, se sont emboîtés dans le remplissage ancien. Cette moyenne terrasse est localement dédoublée, son épaisseur est d'une dizaine de mètres.

L'abaissement du lit de la vallée a ensuite permis la sédimentation de la basse terrasse à fraction limono-sableuse dominante, qui repose en partie directement sur le remplissage ancien silto-argileux. Enfin des alluvions grossières tapissent le lit majeur actuel. L'épaisseur de ces dépôts récents est comprise entre 7 et 10 m dont 2 à 4 m d'alluvions grossières et 4 à 8 m pour les formations limono-sableuses sous-jacentes.

- Caractéristiques géo-mécaniques de la fondation

Les problèmes posés par l'importance de ce remplissage alluvial ne sont pas des problèmes d'étanchéité, celui-ci pouvant être considéré comme imperméable, mais des problèmes de stabilité. Si ses caractéristiques géo-mécaniques sont telles que la vitesse de consolidation sera lente sous l'ouvrage, les tassements qui pourraient se produire par la suite risqueraient de mettre en danger l'ensemble de l'ouvrage de retenue. Les quelques mesures de laboratoire exécutées sur des échantillons prélevés dans le remplissage alluvial par le Bureau of Reclamation laisseraient supposer que les caractéristiques géo-mécaniques sont favorables à l'édification d'une digue en terre.

Remplissage alluvio-lacustre ancien

Poids unitaire sec	1 820 kg/m ³
Poids unitaire saturé	2 130 kg/m ³
Poids unitaire submergé	1 130 kg/m ³
Poids unitaire humide	2 090 kg/m ³
Résistance à la compression simple	(aucune)
Angle de friction interne	20°

Alluvions récentes et actuelles

Poids unitaire sec	1 280 kg/m ³
Poids unitaire humide	1 680 kg/m ³
Angle de friction interne	0°
Résistance à la compression simple	1,27 kg/cm ²

La nouvelle série d'essais de laboratoire prévue dans le programme de reconnaissance aura pour objet de vérifier et de compléter ces premières caractéristiques.

ii. L'appui rive droite

La structure de cet appui est complexe. Si l'on considère l'ensemble du massif d'appui, un double système d'accidents apparaît. La retombée de la flexure de Roum induit un pendage moyen de 25 à 30° vers le sud-ouest des couches du cénomaniens. Cette flexure est découpée par un système de failles d'orientation comprise entre OE et OSO-ENE, qui limitent des panneaux à rejets étagés, parfois légèrement basculés.

La plus importante de ces failles transversales est la faille de Qalaat el Hamra qui limite vers le nord le massif d'appui proprement dit et qui passe au pied de la corniche supérieure du versant. Vers l'est cette faille passe sous le remplissage alluvial de la vallée puis réapparaît sur le versant gauche de la vallée où elle décale toute la série du crétacé inférieur. Vers l'ouest elle se poursuit à mi-versant sur plusieurs kilomètres. Le rejet de cette faille est de l'ordre de 80-100 m dans la zone étudiée et le plan de faille est soit vertical, soit incliné vers le sud (10 à 15° par rapport à la verticale); le compartiment sud qui constitue le massif d'appui, est abaissé par rapport au reste du versant.

De nombreuses autres cassures de rejet plus faible tronçonnent en oblique les panneaux séparés par les failles transversales.

- Etanchéité au droit de l'appui rive droite

Les affleurements sur l'ensemble du massif d'appui, jusqu'à la faille de Qalaat el Hamra, sont formés par les couches du cénomaniens inférieur et moyen karstifiées, dans lesquelles la nappe est abaissée par rapport à la haute terrasse.

Les couches de l'albien, qui forme normalement le substratum du karst crétacé moyen, sont à une profondeur croissante sous l'appui du NE vers le SO du fait du plongement des couches lié au passage de la flexure de Roum. A l'aplomb de l'axe du site, la position de l'albien est présumée être vers la cote 380 m. En direction du NNE, vers

l'intérieur de l'appui, cette cote remonte pour atteindre environ la cote 400 m au contact de la faille de Qalaat el Hamra; sur la lèvre nord de la faille, le contact est situé vers la cote 500 m, c'est-à-dire largement au-dessus de la cote maximale de retenue envisageable.

Ces cotes du toit de l'albien, extrapolées à partir du levé géologique de surface, devront être précisées par des sondages de reconnaissance. Quoiqu'il en soit ces travaux ne modifieront pas la solution à adopter pour assurer l'étanchéité de cet appui ainsi que celle de la partie aval du flanc droit de la retenue où affleure le céno-manien. Un voile au large devra être tendu entre l'appui du barrage et la faille de Qalaat el Hamra et descendu jusqu'aux couches imperméables de l'albien. Un schéma provisoire d'implantation du voile est donné à la figure 11. Les injections seront exécutées à partir d'une galerie d'une longueur de 350 m environ, orientée NS, la cote de tête de la galerie et sa longueur dépendront de la position de l'axe du barrage et de la cote de sa crête. Les profondeurs de traitement seront de l'ordre de 100 m en contact de l'appui et de 50 m à l'extrémité de la galerie, soit une superficie de 27 500 m². Le traitement des zones de failles, en particulier de la faille de Qalaat el Hamra devront faire l'objet d'un soin particulier.

L'étanchement de l'appui exigera un voile, descendant environ 50 m sous le lit actuel de la rivière et entrant largement dans les couches de l'albien. La superficie de ce voile est estimée à 6 000 m².

La superficie totale des voiles en rive droite est de 33 500 m². Cette estimation est provisoire; elle pourra être modifiée d'une manière importante par les résultats des sondages de reconnaissance ultérieurs qui permettront de fixer avec plus de précision le toit de l'albien et sa perméabilité.

- Stabilité de l'appui rive droite

En rive droite, la proximité du grand glissement de Anane qui a affecté les couches du céno-manien attire l'attention sur cette série qui, bien que karstique dans sa masse, comporte cependant plusieurs intercalaires marneuses et marno-calcaires épaisses pouvant, si le dispositif structural est favorable, constituer autant de niveaux de décollement pour des glissements en masse.

Le massif d'appui rive droite n'a pas été affecté de glissements en masse malgré un dispositif structural avec des pendages orientés généralement vers la vallée et la présence de grandes failles.

La stabilité d'ensemble du massif d'appui rive droite semble être due paradoxalement au compartimentage par les failles, chaque panneau jouant un rôle de butée pour celui situé en contrebas, et les couches marneuses, morcelées, n'ont pu jouer le rôle de surface de décollement interne pour un glissement généralisé. Un autre élément favorable est l'inversion de la direction des pendages au pied du versant de la vallée fossile, dans la partie recouverte par les dépôts quaternaires; ils sont en effet orientés vers l'intérieur de l'appui.

Il existe cependant plusieurs indices de glissements locaux généralement associés à des failles. Mais les signes les plus inquiétants apparaissent dans la partie haute du massif d'appui et un léger décollement par rapport à la corniche supérieure apparaît au passage de la faille de Qalaat el Hamra. De nombreuses fissures ouvertes ou partiellement concrétionnées de calcite sont visibles aussi sur la dalle massive dolomitique (C4b3) qui caparaçonne la partie haute du massif d'appui. Tout se passe comme si des tassements différentiels s'étaient produits le long des plans de faille, accompagnés d'un certain ripage des couches vers la vallée. Ces déplacements tangentiels semblent toutefois très limités et peut-être n'ont-ils affecté que la dalle dolomitique (C4b3), les assises sous-jacentes étant restées stables.

Des études structurales plus détaillées seront nécessaires concernant l'appui rive droite, en particulier un relevé de la fracturation et de l'état des fractures.

On peut aussi signaler les risques de poinçonnement des galeries d'évacuation des eaux en cas de tassements différentiels, consécutifs par exemple à un séisme de forte intensité.

iii. L'appui rive gauche

Les affleurements sur le massif d'appui rive gauche sont formés par la série terminale du jurassique composée d'alternances de marnes et de calcaires marneux (J7) et de calcaires fins et de dolomies cristallines à silex (J6). D'un point de vue général le jurassique est un des deux principaux aquifères karstiques du Liban. Nous avons vu à propos de l'étanchéité de la retenue au droit du site que les signes de karstification abondent au niveau de J6 associés à une fracturation importante.

L'étanchement des affleurements jurassiques sur l'appui rive gauche peut s'envisager de deux manières:

- voile d'étanchéité se raccordant en profondeur aux couches du J5 (marnes de Bahnès);
- fermeture de l'ouvrage de retenue sur les affleurements des grès du Liban.

- Première solution d'étanchement de l'appui rive gauche

Elle est schématisée à la figure 11. Le voile au large orienté NNO-SSE aurait une longueur moyenne de 250 m et une profondeur moyenne de 75 m soit une superficie traitée de l'ordre de 19 000 m². Ce voile qui sera ancré dans les couches du J5 réputées imperméables devrait bloquer complètement les circulations dans les couches karstiques du J6. Il a été défini à partir d'une carte schématique reconstituant la topographie du toit du J5 dans le massif d'appui rive gauche. Les zones de faille et la charnière anticlinale devront faire l'objet d'un soin particulier et peut-être d'un traitement plus profond à cause des perméabilités importantes qui leur sont associées.

Le voile sous l'appui proprement dit du barrage est plus difficile à définir et ses caractéristiques géométriques dépendent des reconnaissances ultérieures par forage. En première approche, un voile traitant le J6 affleurant et celui recouvert par le remplissage alluvial jusqu'à 50 m de profondeur sous le lit actuel a été défini. Les couches supérieures du J5 impliquées dans la charnière anticlinale et la faille qui lui est associée sont aussi largement traitées afin de tenir compte d'une perméabilité de fissure qui a pu s'y développer. La superficie de ce voile sous l'appui tel que défini ci-dessus est de l'ordre de 5 000 m².

La superficie totale à injecter est donc évaluée, en première estimation, à 24 000 m².

- Deuxième solution d'étanchement de l'appui rive gauche

La modification de l'axe de barrage qu'elle entraîne risque d'augmenter fortement le volume de l'ouvrage.

D'autre part un affleurement de J7 et de J6 faillé, situé en dehors de la zone d'emprise du barrage, ne pourra pas être inclus dans le dispositif de raccordement entre le corps de l'ouvrage et les affleurements de grès du Liban. Un voile d'étanchéité devrait donc aussi être prévu dans ce cas d'extension difficile à définir avant les reconnaissances complémentaires par forage. D'autre part, il faut signaler que si, globalement, la formation des grès du Liban peut être considérée comme étant imperméable, quelques mètres de cette formation risquent de constituer un écran beaucoup moins étanche.

Sous l'appui du barrage proprement dit un voile d'injection devra être descendu à 100 m de profondeur en moyenne et sur une longueur de 50 m pour bloquer les pertes à travers-bancs dans les couches du J6 qui affleurent et celles qui sont recouvertes par les dépôts quaternaires de la haute terrasse.

1.3.4 Le projet

i. La fondation du barrage

Un problème majeur posé par la réalisation du barrage de Bisri réside dans la nature des terrains alluviaux de remplissage qui constituent la plus grande partie des fondations de l'ouvrage et dans leurs caractéristiques mécaniques.

Il n'est pas exclu en effet que celles-ci soient telles qu'un ouvrage important ne puisse être construit dans des conditions économiques acceptables.

Les résultats de la campagne de sondages et les mesures de laboratoire exécutées sur des échantillons prélevés dans le remplissage alluvial par le Bureau of Reclamation laissent supposer que les caractéristiques géo-mécaniques étaient favorables à l'édification d'une digue en terre (cf. 1.3.3 i - Deuxième alinéa).

Les ingénieurs américains s'étaient cependant limités à une hauteur de digue de 35 m (côte du barrage à la cote 432 m), soit 15 m au-dessus du niveau des anciennes terrasses alluviales (cote 417). On peut penser en effet que les risques d'un tassement important sous l'ouvrage sont réduits car le remblai mis en oeuvre est à peine

plus haut que les terrasses qui marquent le niveau maximal atteint par le remplissage sous l'action duquel la consolidation des matériaux silto-argileux s'est déjà produite.

La campagne de sondages entreprise par le projet ONL/FAO au printemps 1975 pour la reconnaissance du remplissage alluvial consiste dans trois sondages recoupant la totalité du remplissage et pénétrant dans le rocher sous-jacent. La technique de sondage employée a permis le prélèvement d'échantillons non remaniés qui ont été transmis à un laboratoire de mécanique des sols pour y subir les essais suivants: essais d'identification, densité en place, teneur en eau, compressibilité, mesure des résistances au cisaillement soit direct, soit au triaxial non consolidé, non drainé, consolidé non drainé ou consolidé et drainé, essais de perméabilité, détermination de la nature des argiles.

La description des sondages et le résultat des essais n'ont pas pu nous être communiqués. Leur interprétation manque par conséquent aux conclusions de ce rapport.

Les visites que nous avons faites sur le site pendant l'exécution des sondages nous ont permis d'établir que du fait de l'extrême finesse des silts qui constituent le remplissage certaines passes présentaient des manques sur plusieurs mètres, les matériaux ayant été lavés par les circulations d'eau, et qu'une nappe captive existait qui n'était pas mentionnée dans les rapports américains.

Il faut noter enfin que des matériaux tels que les alluviaux silto-argileux qui constituent la fondation de l'ouvrage peuvent voir leurs caractéristiques considérablement altérées en présence d'une activité sismique importante.

ii. La séismicité du site

La région de Bisri est une région assez instable qui a connu en 1956 un tremblement de terre destructeur. D'après l'observatoire de Ksara, l'épicentre se situait près de Azour, à environ 2 km du sud du site de Bisri. L'intensité du séisme à l'épicentre a atteint le degré 9 de l'échelle Mercalli. Il fut ressenti jusqu'à Alep et Alexandrie.

Un village a particulièrement souffert, Roum, localisé à 3 km au sud du site. On a considéré que c'est un rejet de la faille de Roum, ou d'une des failles qui lui sont associées, qui est à l'origine de ce séisme.

D'autre part des études récentes ont montré une forte anomalie gravimétrique pour la région située entre les vallées du Aouali, du Zahrani et la flexure de Roum. Cette région serait actuellement en cours d'exhaussement.

Ces considérations amèneront à utiliser des coefficients de sécurité élevés dans les calculs, peut-être plus confortables que ceux mentionnés dans le rapport du Bureau of Reclamation (accélération de 0,1 g avec une période d'une seconde).

iii. Caractéristiques de la digue

Le barrage projeté est du type remblai. Il est probable qu'on trouvera dans la cuvette toute une gamme de matériaux permettant la construction dans de bonnes conditions. La prospection des gîtes et les essais de matériaux restent à entreprendre.

Etant donné la qualité médiocre de la fondation, la digue sera en terre homogène butée par un massif de pied aval en enrochements. La pente des talus amont et aval sera très faible, de l'ordre de 3,5/1 à l'amont et 2,75/1 à l'aval.

La hauteur de la digue dépend essentiellement des caractéristiques géo-mécaniques de la fondation. En l'absence des résultats de la dernière campagne de reconnaissance nous retiendrons comme hypothèse minimale la digue projetée par les ingénieurs américains du Bureau of Reclamation dont les caractéristiques sont les suivantes:

- hauteur de la digue 37 m
- largeur à la base 295 m
- niveau de la crête 432 m
- longueur en crête 425 m
- niveau des plus hautes eaux 430
- capacité 1/ totale de la retenue 37 Mm³
- volume utilisable 17 Mm³
- surface de la retenue 1,5 km²

Les conditions géologiques ne sont pas sensiblement modifiées pour des digues dont la crête reste au-dessous de la cote 450-452. On adoptera donc comme niveau maximal de la digue de projet la cote 452. Ses caractéristiques sont les suivantes:

- hauteur de la digue 55 m
- largeur à la base 420 m
- niveau de la crête 452 m
- longueur en crête 480 m
- niveau PHE 450
- niveau de la retenue normale 447 m
- capacité totale 85 Mm³
- volume utilisable 65 Mm³
- surface de la retenue 3,4 km²

Cette hypothèse est celle retenue pour l'élaboration de rapport de planification hydraulique.

Les digues dont les caractéristiques sont présentées ci-avant sont implantées sur le site B suivant un même axe.

Un tapis drainant sera disposé sous le massif de butée aval et se prolongera sous la recharge aval de la digue.

1/ La différence entre les valeurs du volume de la retenue qui figurent au présent rapport et celles présentées dans l'étude du Bureau of Reclamation (capacité totale 32 Mm³ - volume utile 13,8 Mm³) provient de ce que les planimétrages permettant d'établir les courbes de remplissage ont été effectués à partir de cartes d'échelles différentes, donc avec des précisions différentes. Les valeurs figurant au présent rapport ont été obtenues par planimétrage sur carte au 1/20 000.

La clef d'ancrage de la digue dans sa fondation se prolongera par une paroi verticale continue en argile-ciment moulée dans le sol. Cette paroi est à développer sur une hauteur à préciser et doit assurer le raccordement entre les voiles d'injection des appuis droit et gauche définis aux sections 1.3.3 ii. et 1.3.3 iii.

iv. Les ouvrages annexes

- La crue de projet

La crue de projet a été estimée par les ingénieurs américains du Bureau of Reclamation à $775 \text{ m}^3/\text{s}$. Aucune mesure complémentaire ne nous permet de préciser ce chiffre.

- Les ouvrages de sécurité

La conception des ouvrages de sécurité sera différente suivant l'altitude de la crête du barrage.

Pour une digue arasée à la cote 432

L'évacuateur de crue devra être placé en galerie dans l'appui rocheux rive droite. Cette galerie totalement indépendante de la fondation du barrage restera opérationnelle quels que soient les désordres qui puissent affecter la digue.

La galerie se raccordera en amont à un seuil de surface déversant non vanné fondé en rive droite.

Cependant le forage de cette galerie risque d'être difficile du fait du double système de fracturation qui affecte l'appui rive droite dont les pendages sont orientés vers la vallée. Dans la partie haute du massif un léger décollement par rapport à la corniche supérieure apparaît au passage de la faille de Qalaat el Hamra. Il semble qu'à l'intérieur du massif des tassements différentiels se soient produits le long des plans de faille accompagnés d'un ripage des couches vers la vallée.

Pour une digue arasée à la cote 452

L'évacuateur de crue pourra être placé en surface sur l'appui rive gauche en profitant de l'incision provoquée immédiatement en amont du barrage par la vallée du ouadi Berdé. L'ouvrage est composé d'un seuil semi-circulaire d'environ 50 m de longueur déversant dans un bassin qui entonne l'eau dans un coursier collecteur passant en tranchée dans le massif rive gauche et se terminant par bassin d'amortissement.

La restitution à l'ouadi devra être étudiée de manière à limiter les dimensions de la fosse d'érosion et à supprimer les affouillements en aval de la digue.

Afin de faciliter l'implantation de l'évacuateur on pourra être amené à décaler l'axe du barrage de 100 m environ vers l'aval. Les caractéristiques de la digue resteront les mêmes, sa longueur en crête variera de 480 m à 520 m, sa largeur à la base sera de 430 m au lieu de 420 m.

- Vidange de fond et prise d'eau

Pour des raisons de sécurité on dissociera ouvrage d'évacuation des crues et vidange de fond. Dans le cas de la digue 432 on n'utilisera pas la même galerie pour assurer les deux fonctions. Comme il est peu probable que les qualités de l'appui rive droite permettent d'y placer deux galeries parallèles, la vidange de fond sera constituée d'un tunnel en béton armé construit en tranchée et recouvert ensuite par le remblai de la digue. Le point bas de la retenue se situe en rive gauche dans le lit de l'ouadi. L'ouvrage sera placé sur l'appui et fondé au sol en place. La tête de l'ouvrage sera raccordée au lit de l'ouadi par un chenal.

Dans le cas de la digue 452, la vidange de fond sera placée soit en galerie dans l'appui rive droite si la qualité de la roche le permet dans des conditions économiques satisfaisantes, soit également sous remblai en rive gauche.

La vidange de fond sera dimensionnée pour transiter une part notable du débit de crue de manière à pouvoir maîtriser la montée du plan d'eau quel que soit le niveau de la retenue.

Son entrée sera obturée par deux vannes en série, une vanne de garde de type wagon et une vanne-segment réglable.

La chambre de vanne sera accessible par une descenderie soit creusée en puits et galerie si l'ouvrage est en rive droite, soit construite à l'air libre en tranchée et fondée au sol en place si l'ouvrage est en rive gauche.

L'ouvrage de tête de la vidange de fond est surmonté d'une tour de prise arasée au niveau 422,50 et raccordée à une conduite métallique placée soit en radier soit dans un tunnel parallèle à l'ouvrage sous remblai. La conduite alimente en aval soit une station de pompage placée en pied de barrage, soit un ouvrage de décharge permettant d'effectuer des lâchés dans le lit de l'ouadi et équipé d'une vanne papillon et d'un robinet à jet creux.

Une vanne papillon de garde est également prévue à l'amont de la conduite de prise.

- La dérivation provisoire

La vidange de fond sera utilisée pendant les travaux comme dérivation provisoire.

Le batardeau amont est arasé à la cote 410 et est incorporé à la digue principale du barrage.

1.3.5 Recommandations et conclusions

Deux phases ont été prévues, la première concernant le remplissage alluvial, la seconde les appuis.

Première phase. Elle a consisté en trois sondages en carottage continu, au double et triple-carottier, traversant tout le remplissage alluvio-lacustre et entrant d'une dizaine de mètres dans le bed-rock. Des essais d'eau de type Lefranc dans le quaternaire et de type Lugeon dans le substratum ont dû être exécutés à intervalles réguliers. Des échantillons de terrains non remaniés ont été envoyés à un laboratoire de mécanique des sols aux fins d'essais de classification, de cisaillement et de consolidation à l'oedomètre. Les résultats de cette campagne n'ont pas pu nous être communiqués.

Deuxième phase. Elle doit comprendre:

En rive gauche: L'exécution de trois sondages en carottage continu avec essais Lugeon systématiques par passes descendantes, qui devront en particulier tester la perméabilité de la formation marneuse du J5 et le sommet du J4. La profondeur de ces forages sera de l'ordre de 150 m.

En rive droite: Le percement d'une galerie de reconnaissance vers la cote 450-455 m, orientée perpendiculairement à la faille de Qalaat el Hamra ou légèrement décalée vers le nord (l'orientation définitive dépendra de la position de l'axe du site et des études géologiques de surface complémentaires). La longueur totale de la galerie sera de 350 m environ. Cependant au niveau de la reconnaissance seuls les 150 premiers mètres pourraient être exécutés.

Dans ce tronçon trois sondages verticaux seront réalisés, en carottage continu au double carottier, avec essais Lugeon systématiques par passes descendantes. Ils devront reconnaître et tester les perméabilités du cénomaniens inférieur et de l'albien. La profondeur de ces sondages devrait être de 150 m. Ils seront équipés en piézomètres.

Ces travaux de reconnaissance devront être accompagnés d'une étude structurale détaillée de l'appui rive droite à partir de relevés de surface.

Les conditions géologiques du site et de la retenue de Bisri sont, d'après les études préliminaires de surface, favorables à l'implantation d'un ouvrage de retenue.

Il n'y a pas de changement significatif des conditions géologiques si l'on envisage d'augmenter la capacité de la retenue, au moins jusqu'à la cote 450 m.

Les campagnes de travaux de reconnaissance proposées ont pour but:

- de préciser la nature lithologique et les caractéristiques géo-mécaniques du remplissage alluvial qui doit constituer le terrain de fondation d'une bonne partie du barrage;
- d'évaluer la perméabilité des formations calcaires jurassiques et cénomaniennes constituant les appuis rive droite et rive gauche afin de définir leur mode d'étanchement à adopter et d'en évaluer leur coût;
- de vérifier la stabilité de l'appui rive droite.

Les résultats des travaux de reconnaissance, particulièrement ceux concernant le remplissage alluvial, permettront de s'assurer, en définitive, de la factibilité de l'ouvrage de retenue ou d'en définir la cote limite imposée par les caractéristiques géo-mécaniques des terrains.

Chapitre 2LES OUVRAGES DE DISTRIBUTION D'EAU:
ADDUCTEUR PRINCIPAL QARAAOUN-LIBAN SUD

2.1 CADRE DE L'ETUDE

2.1.1 Rappel des données et décisions de basei. Etude antérieure

La comparaison des tracés de l'adducteur principal Qaraaoun-Liban Sud a fait l'objet d'une étude détaillée remise au Gouvernement en avril 1973 (Dossier GO-007 1/).

Sur la base de données pédologiques très préliminaires (reconnaisances provisoires au 1/50 000 pour la partie Sud Litani) indiquant l'ordre de grandeur des superficies des sols irrigables, l'étude a comparé trois tracés d'adducteur amenant l'eau du barrage de Qaraaoun ou du bassin de compensation d'Anane aux régions situées en-dessous de la cote 800 de part et d'autre du Litani (Nabatiyé, Marjayoun, jabal Aamel):

- | | | |
|---|-------------------------|-------------|
| - | tracé Markabé-Baraachit | (Canal 800) |
| - | " Anane-Baraachit | (Canal 600) |
| - | " Qelia-Baraachit | (Canal 500) |

Les trois tracés desservaient des périmètres d'irrigation identiques à des altitudes strictement comparables.

ii. Décision du Conseil des Ministres

Après examen des recommandations du Conseil d'administration de l'ONL à ce sujet, le Conseil des Ministres du 29 août 1973 a pris la décision "d'exécuter la première étape du projet d'irrigation du sud du Liban et qui comprendra les terres aptes à l'irrigation situées entre les cotes 500 et 800 m en adoptant la cote 800 et ceci dans les limites des possibilités techniques disponibles".

iii. Rapport de base GO-109 "Caractéristiques techniques de l'adducteur Qaraaoun-Liban Sud" Proposition. Avril 1974

Conformément à l'esprit de la décision du Conseil des Ministres, le projet Liban Sud a porté son effort sur l'étude du canal cote 800, c'est-à-dire l'adducteur principal dont le tracé relie Markabé à Marjayoun. L'identification définitive des ressources en

1/ Adducteur principal Qaraaoun-Liban Sud. Etude comparative des tracés.

sols irrigables du versant Ouest, notamment dans les zones desservies par l'adducteur, leur position géographique et altimétrique ont permis d'établir un tracé schématique des réseaux d'adduction à l'intérieur des zones irrigables. Les points d'alimentation de ces réseaux étant définis, leur desserte par l'adducteur principal ne présentait plus d'incertitudes.

2.1.2 Hypothèses de travail

L'adducteur Qaraaoun-Liban Sud est l'axe principal de l'aménagement hydro-agricole du sud du Liban.

Les études d'avant-projet du canal et celles concernant la planification hydraulique ont été menées simultanément puisque le plan d'aménagement hydraulique régional s'articule autour des possibilités offertes par l'adducteur tandis que le dimensionnement et le tracé du canal résultent en partie des options proposées pour l'ajustement des ressources en eau et des ressources en sol.

Nous avons donc dû conduire les études d'avant-projet sommaire du canal sur la base de valeurs provisoires concernant:

- les ressources en sols - rapport IR 101 - "potentiel des sols irrigables", janvier 1974
- les besoins en eau - note IR 10/73, décembre 1973
- la répartition des eaux d'irrigation "proposition pour un plan d'aménagement hydraulique régional", avril 1974.

2.1.3 Les deux fonctions de l'adducteur Qaraaoun-Liban Sud

L'adducteur Qaraaoun-Liban Sud est un ouvrage de transport à la fois d'eau agricole et d'eaux industrielle et potable.

Ces deux usages impliquent un mode de fonctionnement spécifique de l'ouvrage au niveau de la journée, de la saison ou de l'année.

La quantité d'eau nécessaire aux irrigations du sud du Liban est beaucoup plus importante que celle nécessaire à l'alimentation en eaux potable ou industrielle et doit être transportée dans une période de l'année déterminée (saison d'irrigation: six mois environ) avec une pointe pendant la journée (pointe des irrigations: 18 h).

Les besoins en eaux potable et industrielle sont, eux, beaucoup plus constants pendant l'année avec une légère pointe cependant en été.

2.1.4 L'adducteur Qaraaoun-Liban Sud: ouvrage de transport des eaux d'irrigation

Pour étudier le tracé du canal et son calibre, il est nécessaire de définir les zones à desservir et la quantité d'eau à leur affecter.

i. Les régions dominées

L'ouvrage alimente en eaux agricoles les régions suivantes:

- la région Sud-Litani située en aval du barrage de Qaraaoun, en rive droite du fleuve entre la frontière et le Litani.
Le terme Sud-Litani s'applique aux plateaux du sud du Liban (région d'altitude supérieure à 200 m) à l'exclusion de la plaine côtière repérée B6 sur la figure 12 des ensembles irrigables.
- les terres hautes (au-dessus de 450-500 m) du plateau du Nabatiyé, situées en rive gauche à l'intérieur du coude du Litani.

ii. Les ressources en sols irrigables

La prospection pédologique concentrée sur la zone du périmètre Sud-Litani-Nabatiyé a permis de définir et de cartographier à l'échelle 1/20 000 des unités de sols homogènes du point de vue de la lithologie, pente, série pédologique, pierrosité, aménagements et cultures existantes.

Ces unités ont été regroupées suivant leur aptitude à l'irrigation au sein d'ensembles irrigables (cf. figure 13) dont on a déduit les quelques périmètres d'irrigation actuellement en exploitation et qui sont disséminés dans la région qui nous occupe, pour obtenir le "potentiel irrigable" de la région Sud-Litani-Nabatiyé (Rapport IR 101).

La figure 12 des ensembles irrigables à laquelle nous avons déjà fait référence donne la position géographique, la répartition hypsométrique et l'aptitude à l'irrigation de ces ensembles.

On a distingué:

- les ensembles II qui regroupent une majorité de sols de classe 2 (au moins 70 pour cent) d'aptitude moyenne à l'irrigation et des sols de classe 3 d'aptitude marginale à l'irrigation mais inclus au milieu des terrains de classe 2;
- les ensembles III qui groupent une majorité de sols d'aptitude marginale à l'irrigation.

Les sols très favorables à l'irrigation ne se rencontrent pratiquement que dans la plaine de Marjayoun.

Pour la région Sud-Litani-Nabatiyé, les valeurs du potentiel irrigable sont indiquées au tableau 1.

iii. Besoins en eau agricole

Seuls les besoins annuels en eau agricole, en tête de l'adducteur, nous intéressent; nous les reportons dans le tableau 2. Ils sont déduits des besoins à la tête de la parcelle (Note IR 10/73) en supposant des pertes en eau de 10 pour cent dans les réseaux de distribution et de 5 pour cent le long de l'adducteur.

Pour calibrer le canal, nous avons fait des hypothèses sur la modulation saisonnière des débits appelés. Nous avons supposé que les besoins en eau du mois de juillet sont égaux à 25 pour cent des besoins annuels et que pendant les dix jours les plus chauds du mois de juillet, les besoins sont supérieurs de 10 pour cent à la moyenne du mois.

iv. Allocation des ressources en eau

- Alimentation en eau agricole de la région Sud-Litani

Dans la région Sud-Litani, l'adducteur irrigue la totalité du potentiel compris dans les ensembles II défini au rapport IR 101.

Les ensembles II représentent une surface de 13 485 ha dont la quasi-totalité est comprise entre les altitudes 500 m et 800 m (cf. tableau 3).

Quelques ensembles II (366 ha) compris dans le casier central M₆ (cf. figure 12) sont trop éloignés de la zone d'influence de l'adducteur pour être alimentés économiquement. Ils ne sont pas inclus dans les 13 485 ha dominés.

Les besoins en eau de la région Sud-Litani étant de 6 600 m³/ha (note IR 10/73 de décembre 1973), la quantité d'eau agricole que doit transporter l'adducteur vers cette région est donc de 13 485 ha x 6 600 m³/ha = 89 Mm³.

- Alimentation en eau agricole de la région de Nabatiyé

Le volume d'eau disponible à Qaraaoun est très insuffisant pour irriguer la totalité du potentiel compris dans les ensembles II sur le plateau de Nabatiyé (7 017 ha - évaluation IR 101) après qu'aient été satisfaits les besoins prioritaires définis, soit:

- par décret (N° 14522)
- par décision du Conseil des Ministres (priorité aux régions d'altitude supérieure à 500 m)

et qu'aient été sauvegardées les fonctions essentielles des aménagements existants (production d'énergie électrique de pointe).

Pourtant techniquement le plateau de Nabatiyé pourrait être entièrement irrigué gravitairement à partir de l'adducteur Qaraaoun Liban Sud alors que la mise en oeuvre de l'un des autres schémas d'aménagement proposés dans la suite du présent rapport: barrage de Khardalé ou barrage de Bisri et leurs adducteurs afférents, nécessite la mobilisation d'une puissance électrique importante pour alimenter des stations de pompage refoulant sur le plateau (altitude maximale 500 m) depuis le pied d'un des barrages (230 m Khardalé, ou 395 m Bisri).

Dans le plan d'allocation des eaux présenté par l'équipe ONL/FAO en avril 1974 sous le titre "propositions pour un plan d'aménagement hydraulique régional", 11 Mm³ d'eau issus de Qaraaoun sont attribués à la région de Nabatiyé et sont transportés par l'adducteur Qaraaoun-Liban Sud. Dans d'autres schémas d'aménagement développés dans la proposition discutée en juillet 1975, la quantité d'eau allouée à la région, toujours à partir de l'adducteur, varie de 9 à 20 Mm³.

L'avant-projet sommaire de l'adducteur a été établi en accord avec la proposition d'avril 1974 - allouant 11 Mm³ à Nabatiyé. Les besoins en eau de la région étant de 7 000 m³/ha, la surface qui peut être irriguée est de 1 600 ha. C'est à peu près la surface des ensembles II situés sur le plateau de Nabatiyé au-dessus de 450-500 m d'altitude.

Ce mode d'allocation est conforme à la décision du Conseil des Ministres du 29 août 1973 qui demande "d'exécuter la première tranche du projet d'irrigation du sud du Liban, comprenant les terres aptes à l'irrigation situées entre les cotes 500 et 800 m en adoptant la cote 800".

2.1.5 L'adducteur Qaraaoun-Liban Sud: ouvrage de transport des eaux potable et industrielle

i. Besoins globaux annuels

Les études de planification hydraulique ont permis d'arrêter l'état des besoins à assurer en l'an 2000 pour l'alimentation en eaux potable et industrielle du Liban Sud.

Ces besoins seront couverts d'une part grâce au développement des ressources existantes, d'autre part, en mobilisant de nouvelles ressources.

Pour la région Sud-Litani-Nabatiyé, ces nouvelles ressources sont prélevées à Qaraaoun et transportées par l'adducteur. Leurs valeurs sont reportées au tableau 4.

ii. Besoins en période de pointe

Les besoins en eau potable répartis sur toute l'année ont été estimés à 150 l/hab/j. Les besoins de pointe des mois d'été sont de 200 l/hab/j. En conséquence, le débit (24 h/24) à admettre pendant le mois de pointe en tête de l'adducteur pour la réalimentation des réseaux d'eau potable est déterminé comme suit:

Nombre de secondes dans une année: 31 millions

$$17 \text{ Mm}^3 \times \frac{1}{31} \times \frac{200 \text{ l/hab/j}}{150 \text{ l/hab/j}} = 0,735 \text{ m}^3/\text{s}$$

Le débit en tête de l'adducteur à réserver pour l'alimentation en eau potable du sud du Liban est indiqué au tableau 5.

2.1.6 Les valeurs de base utilisées pour le calibrage du canal

On les trouvera récapitulées au tableau 6.

2.2 LE PROJET

L'adducteur Qaraaoun-Liban Sud transporte les eaux stockées dans le barrage de Qaraaoun (220 Mm^3) jusqu'au sud du Liban sur une distance de 112 km.

Les eaux du barrage sont actuellement utilisées à la production d'énergie électrique dans trois usines disposées en cascade. Ces eaux devront, dans l'avenir, se partager entre la production hydro-électrique et les besoins du Liban Sud (irrigation, eaux potable et industrielle).

Le canal se pique sur la galerie alimentant les usines hydro-électriques en amont de la première usine (Markabé).

2.2.1 Le mode de prélèvement des eaux pour l'irrigation

Dans le document de projet G.O 109 "caractéristiques techniques de l'adducteur Qaraaoun-Liban Sud" nous avons comparé l'adducteur "cote 800" à une variante, toujours située en rive gauche du Litani et desservant strictement les mêmes régions, mais ayant sa prise à l'aval direct de l'usine de Markabé à la cote 650 environ.

Le but de l'étude du second tracé était de préserver la production hydro-électrique de l'usine de Markabé en lui permettant de turbiner les eaux destinées aux irrigations.

Nous avons constaté que cet intérêt était mineur. En effet:

- la capacité de production de l'usine de Markabé est la plus faible des trois usines de la chaîne (Markabé $0,4 \text{ kWh/m}^3$, Aouali $0,9 \text{ kWh/m}^3$);
- l'énergie produite lors du passage à travers l'usine de Markabé des eaux d'irrigation destinées au sud du Liban est une énergie non concentrable aux heures de pointe puisque produite au fil de l'eau. Il s'agit d'une énergie bon marché dite "de base". Par contre, des dispositions ont été prises pour que les prélèvements n'affectent pas la puissance maximale possible des usines du Litani, aux heures de pointe. Cette puissance assure en effet la production de l'énergie de pointe qui est une énergie chère.

L'un et l'autre des modes de prélèvement en amont ou aval Markabé entraînent une perte de production d'énergie qui est estimée à 196 GWh/an ^{1/}(prise amont) et à 146 GWh/an (prise aval). Il en résulte un manque à gagner pour l'ONL, qui varie de $5,77$ millions de LL par an en ce qui concerne la prise amont à $4,39$ millions de LL par an pour la prise aval (évaluation juillet 1973).

2.2.2 Influence du prélèvement d'eau pour l'irrigation et l'alimentation en eau potable sur la production électrique et le plan d'équipement thermique du Liban

Cette étude a fait l'objet d'un rapport d'un consultant de la FAO dans le domaine de la production électrique, dans le cadre des activités du projet LEB 524. Elle a

^{1/} 1 GWh: 1 million de kWh.

pour but de préciser l'influence des prélèvements d'eau en aval du barrage de Qaraaoun à des fins d'irrigation du sud du Liban et d'alimentation en eau potable de la ville de Beyrouth et des villages du Liban Sud, sur les programmes d'investissements de l'Office d'électricité du Liban.

Les résultats de cette étude peuvent être résumés comme suit:

Dans les conditions actuelles, toutes les eaux stockées à Qaraaoun sont disponibles pour les centrales hydrauliques et les volumes finalement turbinés chaque année ne dépendent donc que des volumes d'eau disponibles et des besoins énergétiques de l'EDL. Ces volumes turbinés couvrent aussi bien la production hydro-électrique hors pointe que l'énergie produite pendant les heures de pointe.

L'évolution de la consommation d'électricité au Liban augmentera de plus en plus la valeur énergétique des eaux modulables pendant la pointe du soir étant donné que chaque défaillance sur la demande d'énergie de pointe nécessitera un complément d'équipement du parc thermique.

Les volumes d'eau nécessaires à la production de l'énergie minimale concentrable (Ec), soit donc l'énergie à produire pendant la pointe du soir, seront en 1990 pour la période sèche de juin à octobre de 3,13 Mm³ à 7 Mm³ en fonction de l'année historique (1972, 1973 ou 1974) choisie comme point de départ pour les calculs d'extrapolation au taux de 10 pour cent par an de la puissance maximale de la pointe du soir et de l'énergie totale produite.

Les volumes d'eau ainsi trouvés dépendent fortement du choix des taux de progression: une combinaison de 8 pour cent comme taux de progression pour la pointe avec le même taux que ci-dessus de 10 pour cent pour l'énergie totale nécessiterait en 1990 un volume d'eau de 50 Mm³ disponibles à Qaraaoun au lieu des 3 Mm³ trouvés ci-dessus pour le "cas" 1972. Fort heureusement il est improbable que cette combinaison se produise avant 1980 étant donné la forte industrialisation qui serait nécessaire pour pouvoir justifier un tel changement de régime journalier de consommation.

Les eaux non utilisables pour la production de l'énergie de pointe sont utilisées pour la production hors pointe et serviront à ce moment deux buts:

- augmenter les bénéfices de l'ONL
- économiser du fuel des centrales thermiques.

Le développement des irrigations et de la demande en eau potable diminuera considérablement cette production hors pointe même en année d'hydraulicité moyenne, mais n'aura une influence sur la production de l'énergie de pointe que vers l'année 1990 lorsque ces prélèvements auront atteint leur régime de croisière.

2.2.3 Le tracé du canal

Nous avons distingué l'ouvrage de transport proprement dit "canal-maître" et les branches d'adduction ou "branches secondaires" qui, au-delà de l'éclatement du canal maître alimentent chaque périmètre (cf. figures 14 et 15). Les périmètres situés le long de l'adducteur sont alimentés à partir d'une "prise".

Les figures 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, illustrent les caractéristiques de ces ouvrages.

Le canal chemine en rive gauche du Litani dans une bande très étroite bordée à l'est par la frontière, à l'ouest par les gorges du Litani d'abord, puis par les gorges profondes de l'ouadi Ghandouriyé, orientées sensiblement NS.

Le canal-maitre est long d'environ 56 km - et les branches secondaires d'environ 56 km. La longueur de l'ensemble des ouvrages est de quelque 112 km.

Après avoir été prélevée en rive droite du Litani sur la galerie de Markabé, en amont de l'usine, l'eau destinée au sud est acheminée en rive gauche du Litani sur le flanc ouest du Jabal Bir ed Dahr.

Dans toute la traversée du jabal Bir ed Dahr le canal n'alimente aucune prise.

Cette tête morte longue de 14 km est composée d'une galerie et d'un canal à écoulement libre qui conduit les eaux jusqu'à l'extrême pointe sud du massif.

Au-delà, l'adducteur doit transporter les eaux destinées aux irrigations depuis la hauteur du jabal Bir ed Dahr jusque sur les plateaux du Liban Sud au pied des hauteurs de Bent Jbaïl après avoir franchi l'importante dépression qui constitue le seuil de Marjayoun.

Ce franchissement s'effectue dans un système en charge long de 29 km composé de conduites et de galeries et équipé sur son parcours de trois ouvrages de régulation-brise-charge importants.

A l'aval, le système déverse à Markaba dans un canal à écoulement libre qui joue le rôle de réserve de modulation. L'adducteur se partage ensuite en deux tronçons qui franchissent en siphon l'ouadi Ghandouriyé pour atteindre deux réserves ponctuelles, l'une de 30 000 m³, l'autre de 80 000 m³ au-delà desquelles naissent les branches secondaires.

Les deux points d'éclatement du canal se situent l'un au nord de Chaqra à la hauteur de Tibnine, l'autre au sud de Chaqra à la hauteur de Baraachit.

2.2.4 Tracé des branches secondaires

Nous distinguerons trois branches:

- La branche de Srifa qui prolonge un des tronçons du canal-maitre après son franchissement de l'ouadi Ghandouriyé au nord de Chaqra. Cette branche se pique sur la réserve ponctuelle de Madjel Selm et donne naissance très près de sa prise à la branche de Madjel Selm. Un débit de 1,33 m³/s est destiné aux irrigations de Srifa; 0,58 m³/s sont destinés au périmètre de Madjel Selm. Le débit total de la branche est de 1,91 m³/s.

- La branche de Bent Jbaïl plus au sud est alimentée à partir de la réserve ponctuelle de Chaqra. Elle dérive $1,27 \text{ m}^3/\text{s}$ qui sont relevés successivement par deux stations de pompage importantes jusqu'aux hauteurs de Bent Jbaïl (894 m).
- La branche d'Aïta ech Chaab contourne au nord-ouest la partie haute (Bent Jbaïl) des plateaux du Sud-Liban. Elle se pique également sur la réserve de Chaqra et se prolonge sans pompages jusqu'à l'extrême sud-ouest du Liban par la branche de Yarine.
La branche d'Aïta ech Chaab transite $2,30 \text{ m}^3/\text{s}$ en tête, dont $0,81 \text{ m}^3/\text{s}$ sont destinés à l'alimentation de la branche de Yarine, et $0,19 \text{ m}^3/\text{s}$ réalimentent les réseaux d'eau potable dominés par le réservoir de Kafra (764 m).

Notons que l'adducteur Qaraaoun-Liban Sud est calé très haut par rapport au périmètre de Srifa situé sur le versant du plateau du sud du Liban fortement penté vers le Litani. Sur les 1 510 ha du périmètre, 25 ha seulement sont situés au-dessus de 500 m cependant que 1 000 ha se trouvent dans la tranche d'altitude 400-500 m.

La charge statique en tête de la branche de Srifa (amont siphon Slouqui) est de 735 m. Il est nécessaire de briser 150 m de cette charge dans un ouvrage (brise-charge de Madjel Selm) avant d'alimenter avec une pression optimale les conduites. C'est la seule part du débit prélevé à Qaraaoun dont l'énergie potentielle reste inutilisée.

Nous proposerons dans la suite du présent rapport un autre mode d'alimentation des réseaux de Srifa: par refoulement depuis le lit du Litani des eaux lâchées au barrage de Khardalé, la station de pompage étant située à la confluence de l'ouadi Ghandouriyé et du Litani, approximativement sur le site du barrage projeté de Kfar Sir à l'altitude 110 m.

Les réseaux de Yarine sont également situés en grande partie au-dessus de la cote 500 puisque sur les 1 483 ha que totalise le périmètre, 64 ha seulement sont placés au-dessus de 500 m. L'énergie potentielle des eaux stockées à Qaraaoun est dans ce cas utilisée au transport de cette eau sur de longues distances (100 km), l'irrigation de la région de Yarine ne pouvant pas être assurée dans des conditions économiques raisonnables à partir de la nappe souterraine côtière.

2.3 LE FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE DU CANAL

2.3.1 La régulation des débits

Nous avons donné au paragraphe précédent la valeur du débit fictif continu du mois de pointe (tableau 6). Il est de $10,7 \text{ m}^3/\text{s}$ en tête de l'adducteur (9,98 irrigations + 0,74 eau potable).

Ce débit est transité 24 h/24 pour les irrigations et l'eau potable. Pour que le débit aux prises puisse suivre la loi réelle de la demande agricole, il faut:

- soit surdimensionner le canal pour qu'il puisse transiter la pointe journalière des irrigations;
- soit créer des réserves le long du canal.

Pour calculer la valeur de ce surdimensionnement ou le volume des réserves, une approche sommaire de la loi de consommation des débits consiste à prévoir le transit du volume journalier pendant 18 heures.

Le débit en tête du canal devient $13,30$ irrigations + $0,74$ eau potable = $14 \text{ m}^3/\text{s}$ (l'eau potable est toujours transitée 24 h/24).

La fourchette de calibrage du canal varie donc de $10,7 \text{ m}^3/\text{s}$ à $14 \text{ m}^3/\text{s}$.

Pour pouvoir mobiliser à l'appel des prises les débits nécessaires et gérer les stocks d'eau en transit le long du canal il faut disposer d'un système hydraulique ou télémechanique de régulation des débits.

Nous proposons d'appliquer à l'adducteur Qaraaoun-Liban Sud un système de régulation:

- de type amont aux ouvrages de tête: siphon de franchissement du Litani et galerie de Yohmor de manière à assurer une stabilité de fonctionnement de l'usine hydro-électrique de Markabé en rendant indépendante la prise des ouvrages hydro-agricoles des fluctuations de la demande des irrigations;
- de type aval aux systèmes Marjayoun-Markabé, Jaziré et Slouqui constitués de siphons et galeries en charge, ainsi qu'aux branches secondaires;
- les biefs du canal de tête à écoulement libre de Qelia constitueront une coupure hydraulique entre les deux types de régulation du mouvement des eaux: ils seront à berges horizontales pour constituer des réserves linéaires;
- le canal de Houla et les réserves ponctuelles de Chaqra et Madjel Selm situés en aval de l'adducteur Qaraaoun-Liban Sud constitueront des réserves de modulation permettant de stocker le volume transité pendant les 6 heures (24 h - 18 h) creuses des irrigations pour le restituer à la pointe du soir.

Cette dernière disposition permet de sous-dimensionner certains tronçons d'adducteur et en particulier les conduites acier ou amiante-ciment dont le coût est élevé.

Nous avons calculé le prix du tronçon Marjayoun-Nord/Chaqra dans deux hypothèses extrêmes de dimensionnement.

<u>Débit transité</u>	<u>Coût (millions de LL)</u>
18 h/24	68
24 h/24	58

Ces prix ne concernent que les ouvrages linéaires de transport (conduites, canaux et galeries).

On mesure tout l'intérêt qu'il y a à créer des réserves réparties le long du canal.

Pour ne pas multiplier le nombre de ces réserves dont les sites sont rares, nous nous sommes limités dans cette voie: seuls les périmètres situés à l'aval de Taïbé seront alimentés 24 h sur 24 et disposeront de réserve de tête. Les périmètres amont de Marjayoun-Sud, Nabatiyé et Taïbé totalisant 4 792 ha seront alimentés 18 h sur 24.

Le calibre de l'adducteur Qaraaoun-Liban Sud sera donc situé dans la fourchette annoncée $10,7/14 \text{ m}^3/\text{s}$ - Il est de $11,7 \text{ m}^3/\text{s}$.

2.3.2 Les ouvrages de prise de l'adducteur Qaraaoun-Liban Sud

i. Description des ouvrages

Le prélèvement des eaux pour l'irrigation et l'eau potable du sud du Liban s'effectue sur l'aménagement hydro-électrique du Litani existant (cf. figure 23).

L'aménagement comporte trois chutes: les chutes de Markabé, d'Aouali et de Joun.

Celle de Markabé a sa prise d'eau dans la retenue de Qaraaoun; elle comprend une galerie d'amenée en charge de 6 km de longueur alimentant la conduite forcée de la centrale de Markabé qui peut turbiner $22 \text{ m}^3/\text{s}$ dans deux groupes sous une hauteur de 199 m.

En aval de la galerie de Markabé (cf. figure 24) on trouve successivement dans les 600 derniers mètres qui précèdent l'entonnement dans la conduite forcée, une fenêtre d'attaque longue de 166 m environ, isolée de la galerie par un bouchon blindé étanche, une cheminée d'équilibre équipée en puits avec chambre d'expansion, une chambre des vannes.

L'ouvrage de prise de l'adducteur Qaraaoun-Liban Sud doit être construit en bout de la fenêtre d'attaque après que celle-ci ait été réalisée, blindée et équipée d'une cheminée d'équilibre en puits.

La cote du radier de la galerie de Markabé au point de piquage de la fenêtre d'attaque est de 797,417.

L'ouvrage de prise (cf. figure 25) comprend de l'amont vers l'aval un divergent blindé raccordant la galerie de prise à deux pertuis de vannes, un bassin de dissipation d'énergie avec poutre écrêteuse d'onde et l'ouvrage d'entonnement du siphon de franchissement des gorges du Litani.

Le brise-charge est équipé de deux vannes à jet creux utilisées en vannes de régulation de débit, protégées par deux vannes de sectionnement. Un système de batardeaux aval permet d'assurer l'isolement de chacune des passes. Un bâtiment abrite les verrins de manoeuvre des vannes, les dispositifs d'asservissement et de télécommande.

ii. Fonctionnement de la galerie de Markabé

La galerie de Markabé est un tronç commun aux ouvrages d'irrigation et à ceux de production d'électricité. Or il y a juxtaposition des besoins de ces deux modes d'exploitation de la réserve de Qaraaoun, à savoir:

- même lorsque les irrigations auront atteint leur plein développement les usines du Litani devraient être toujours en service;
- les besoins en irrigation et en eau potable se situent dans la période sèche en même temps que le maximum de production d'électricité (avec peut-être un léger décalage entre juillet pour les irrigations, septembre-octobre pour l'énergie);
- à l'échelle de la journée, la répartition est la même: besoins nuls ou peu élevés la nuit (de 24 h à 6 h) pointe le matin et le soir (il peut y avoir un décalage du fait du temps de transit des eaux pour le Liban Sud).

En conséquence, chacune des exploitations peut gêner l'autre et il y a lieu de vérifier que la galerie Qaraaoun-Markabé peut transiter la somme des débits nécessaires aux irrigations, à l'eau potable et à l'énergie. Le débit appelé sur l'adducteur Qaraaoun-Liban Sud est de $11,7 \text{ m}^3/\text{s}$. Le débit équipé de l'usine de Markabé est de $22 \text{ m}^3/\text{s}$. La somme est de $33,7 \text{ m}^3/\text{s}$.

D'après les documents de l'Office national du Litani relatifs à l'aménagement hydro-électrique du Litani la perte de charge en régime établi à $22 \text{ m}^3/\text{s}$ dans la galerie de Markabé est de 9,70 m. Il y aura lieu de vérifier le coefficient de perte de charge de la galerie par des mesures de débits.

Nous avons déterminé en fonction des données précédentes une courbe de débit de la galerie en fonction de la cote du plan d'eau dans le barrage (cf. figure 23).

Nous supposons que la charge aval sur la galerie en tête de la conduite forcée évolue progressivement avec la vitesse de l'eau dans la galerie de manière à éviter le déjaugeage de cette dernière en cas de manoeuvre intempestive sur les groupes de la centrale, la valeur de base adoptée étant celle retenue par l'Electricité de France lors des études d'exécution. - soit 13,07 m par un débit de $22 \text{ m}^3/\text{s}$.

Nous constatons que, dans les conditions exprimées plus haut, la galerie est capable de transiter un débit cumulé de $34 \text{ m}^3/\text{s}$ pour tout niveau de la retenue de Qaraaoun supérieur à 840,79 m. Or le niveau de la réserve interannuelle est de 840 m. On peut conclure que la galerie est capable de véhiculer les débits cumulés nécessaires à couvrir les besoins de la production d'énergie et des irrigations tant que le niveau de la retenue est supérieur à celui de la réserve interannuelle actuellement définie. En-dessous de ce niveau de 840 m il y aura lieu de gérer des pénuries en définissant des priorités.

Si le débit de la galerie était limité à $22 \text{ m}^3/\text{s}$ on perdrait $11,70 \text{ m}^3/\text{s}$ pour l'énergie soit environ 73 MW sur les trois usines, ce qui représente un manque à gagner estimé à 30 MLL. En concentrant au maximum la production d'Aouali et de Joun grâce aux bassins de compensation on pourrait peut-être réduire ce coût à environ 20 millions de LL.

Il serait sans doute plus économique de laisser les 22 m³/s à la production d'énergie en heures de pointe et de prévoir sur les ouvrages de transport de l'eau pour l'irrigation une capacité de stockage suffisante pour adapter les débits aux besoins.

Encore faudrait-il vérifier que la limitation de la puissance en dehors des heures de pointe n'empêche pas de fournir l'énergie minimale concentrable. La courbe de charge ou la monotone permettrait de savoir pendant combien d'heures la puissance hydraulique appelée est supérieure à telle ou telle valeur et si les prélèvements sont compatibles avec ce fonctionnement.

L'ajustement des débits cumulés appelés pour la production d'énergie et pour l'irrigation à la débitance de la galerie est cependant trop rigoureux pour que l'on puisse se contenter des valeurs théoriques du coefficient de perte de charge annoncé lors de la construction de la galerie. Il y a lieu de vérifier expérimentalement ces valeurs qui ont sans doute évolué avec l'état de vieillissement de la galerie.

Il est de toute manière probable qu'en fin d'année sèche exceptionnelle des mesures seront à prendre pour préserver le potentiel de production électrique des centrales.

Une solution consistera alors à créer une réserve d'écrêtement en extrémité du canal de Qelia, soit répartie le long d'un ou plusieurs biefs, soit ponctuelle.

Les réserves réparties le long du canal dans différents onglets créés par la construction de régulateurs (becs de canard ou vannes AMIL) pourront être mobilisées par la mise en oeuvre d'un système de régulation tel que défini dans la suite du présent rapport. La création de réserves ponctuelles en fin de canal peut être prévue lors du calage hydraulique des ouvrages en réservant une perte de charge supplémentaire associée à un site exploitable. Cette réserve sera construite à l'issue du plein développement du projet Liban Sud.

iii. Fonctionnement simultané de l'adducteur Qaraaoun-Liban Sud et de l'usine hydro-électrique de Markabé

Tout appel ou refus de débit sur la prise des irrigations provoque une variation brusque de la charge en tête de la conduite forcée et risque de perturber le fonctionnement des groupes de la centrale.

Un déclenchement ou une mise en marche de groupe provoque une variation brusque de la charge en tête de la prise des irrigations et risque de ce fait de créer des fluctuations importantes dans le débit appelé.

Deux cheminées d'équilibre, l'une existante sur la galerie de Markabé, l'autre à créer sur la fenêtre qui précède l'ouvrage de prise des irrigations protègent la galerie contre les surpressions résultant des variations de débit.

Afin d'éviter que toutes les fluctuations de la demande se répercutent sur les appels de débit au niveau de la prise des irrigations nous proposons d'utiliser le canal de Qelia, long de 8 km comme une réserve-tampon placée entre le système en charge Marjayoun-Chaogra qui fonctionne en commande aval et les ouvrages de tête du canal.

Ainsi tout appel ou refus sur les réseaux sera transmis vers l'amont par le système en charge et satisfait grâce à des prélèvements ou à des stockages sur le canal de Qelia dont l'état de remplissage pourra être géré comme celui d'une réserve ponctuelle grâce au système de régulation centralisé proposé dans la suite du présent rapport.

A intervalles de temps réguliers et compatibles avec la stabilité de fonctionnement de la centrale, la position des vannes à jet creux sur l'ouvrage de prise des irrigations sera réajustée en fonction de l'état de remplissage du canal de Qelia.

Pour constituer un volume-tampon suffisant le canal de Qelia a été décomposé en trois biefs successifs à berges horizontales séparés par des ouvrages de régulation et totalisant 30 000 m³ de réserves supplémentaires à débit maximal.

Dans le cas d'un déclenchement de groupe la remontée brusque de la ligne de charge en tête des vannes à jet creux provoquera une brusque augmentation du débit prélevé.

Si ce débit peut être transité par le siphon de franchissement du Litani et la galerie de Yohmor le volume d'eau prélevé pendant le temps nécessaire au réajustement de la position de la vanne sera stocké dans la réserve de Qelia. Le temps nécessaire à l'établissement d'un nouvel état d'équilibre en amont des vannes à jet creux peut être assez long du fait des oscillations à l'intérieur des cheminées d'équilibre.

Si le débit est plus important que celui qui peut être absorbé par les ouvrages de tête, une partie du volume d'eau peut être déchargée dans le Litani et récupérée au niveau de la prise d'Ain Zarqa.

2.3.3 Système en commande amont - Siphon de franchissement du Litani et galerie de Yohmor

Nous traitons du fonctionnement des ouvrages de tête de l'adducteur Qaraaoun-Liban Sud: le siphon de franchissement du Litani et la galerie de Yohmor.

Ces derniers sont conçus comme un ensemble siphonnant dans lequel la branche descendante est l'ouvrage de franchissement et la branche montante est constituée par la galerie de Yohmor (cf. figures 26 et 27).

i. Etude du fonctionnement du système amont à différents régimes

Nous distinguons quatre régimes de fonctionnement:

- A débit maximum: le siphon fonctionne entièrement en charge; les têtes amont et aval de l'ouvrage constituées par le bassin de dissipation de l'ouvrage de prise et par l'extrémité amont du canal de Qelia sont calées de manière à ce que la ligne piézométrique joigne les surfaces libres des écoulements amont et aval.
- A débit nul: le niveau dans le bassin amont se stabilise au niveau réglé par le seuil qui précède l'entonnement du siphon. Dans le siphon la ligne d'eau s'établit au même niveau statique que dans le canal situé à l'aval du siphon.

- Pour des débits intermédiaires: la ligne d'eau dans le siphon s'établit entre la ligne piézométrique à débit maximal et celle à débit nul.
- A débit partiel: l'écoulement en tête du siphon se fait à surface libre, puis à partir d'une certaine cote (fonction du débit) un ressaut se forme.

Examinons le fonctionnement du siphon dans deux cas particuliers qui risquent de provoquer l'instabilité du système:

- Débit partiel constant

La formation du ressaut risque de provoquer des entraînements d'air dans la conduite, si la perte de charge de fonctionnement du siphon est suffisante pour engendrer une vitesse supérieure à 0,50 m/s.

La quantité d'air entraînée augmente avec la vitesse jusqu'à ce que le ressaut se situe suffisamment haut près de la tête du siphon pour que le dégazage se produise plus facilement.

L'air entraîné se rassemble dans les points hauts de la conduite et provoque une réduction de la section et des pertes de charges supplémentaires, donc une remontée du ressaut à l'amont.

Lorsqu'une bulle d'air se dégage vers l'aval elle provoque une brusque diminution des pertes de charge et création d'une onde positive vers l'aval et une descente du niveau à l'amont du siphon.

Ainsi s'amorcent des oscillations qui sont une gêne pour la régulation.

- Débit partiel variable

Dans ce cas, aux phénomènes d'entraînement d'air vient s'ajouter une variation de débit qui peut encore accroître les oscillations.

En effet, à chaque variation de débit l'inertie de l'eau dans les conduites crée des oscillations.

Ces oscillations dépendent de la rapidité des variations de débit. La partie amont de la conduite joue le rôle de cheminée d'équilibre. Nous désignerons ce phénomène du nom "d'effet cheminée".

- ii. Dispositions constructives à retenir pour les ouvrages fonctionnant en "siphon": Siphon de franchissement du Litani et galerie siphonnante de Yohmor

Disposé immédiatement en aval du brise-charge de prise, cet ouvrage est directement soumis aux variations du débit de la galerie de prise de l'usine de Markabé. Ces variations de débit peuvent être assez brutales et imprévisibles puisqu'elles sont dues au déclenchement des groupes de l'usine de Markabé.

Réciproquement le système hydraulique que constitue le siphon du Litani et la galerie de Yohmor doit être suffisamment stable pour ne pas gêner le fonctionnement de l'usine de Markabé par des réajustements trop fréquents du débit à la prise.

Pour éliminer les entraînements d'air et réduire les "effets cheminée" nous proposons de disposer à l'aval du siphon de franchissement du Litani une chambre de dégazage avec cheminée d'équilibre. La cheminée sera dimensionnée de manière à réduire les fluctuations à une valeur qui sera jugée acceptable.

Le dégazage est alors assuré de manière efficace. Indépendamment des contraintes de fonctionnement hydraulique cette cheminée peut être utilisée comme puits d'attaque de la galerie de Yohmor qui constitue la branche remontante du siphon.

C'est la seule attaque amont possible puisque la cote 800 de prise du canal se trouve dans la falaise en rive gauche du Litani et qu'il est impensable d'envisager une attaque directe de la galerie.

Ce puits devant servir à la remontée mécanique de déblais de galerie et à l'accès du matériel de foration est largement dimensionné. Il constituera donc dans son utilisation finale une cheminée d'équilibre très efficace.

Le point haut de la galerie de Yohmor, situé près de l'attaque intermédiaire, est bien entendu équipé d'un tube reniflard.

2.3.4 Régulation par l'aval du système en charge Marjayoun-Markabé et des siphons de Jaziré et de Slouqui

L'adducteur Qaraaoun-Liban Sud comprend une très longue adduction en charge Marjayoun-Markabé constituée de conduites acier ou Eternit ϕ 1 500 ou 1 700 mm et de courtes galeries. La longueur totale de l'adduction est de 24 000 m. Les débits transités varient de 6,8 m³/s à 11,4 m³/s suivant les tronçons considérés.

La charge statique maximale que doit supporter le système est de 26 bars.

A l'aval du canal-maître deux autres adductions en charge relient la cuvette de Houla à la réserve de Chaqra et à la réserve de Madjel Selm. La première, constituée de deux conduites posées en parallèle sur une distance de 7 000 m, franchit par un siphon sous forte charge (250 m) l'ouadi Jaziré. Son débit d'équipement est de 4 m³/s.

La seconde d'une longueur de 5 600 m franchit l'ouadi Slouqui et transite un débit de 1,4 m³/s. La charge maximale sur le siphon de Slouqui est de 180 m.

L'importance des pressions mises en jeu et des débits à transiter nécessite une conception particulière des ouvrages de régulation disposés le long de ces adductions pour limiter la charge que doivent supporter les conduites et les galeries et régler une charge constante en tête des prises.

L'utilisation des vannes automatiques à niveau aval constant type Avis ou Avio est limitée à des charges amont faibles. Aussi les brise-charge importants disposés sur les adductions que nous venons de décrire devront-ils être équipés de vannes spéciales assurant une régulation par l'aval mais seront manoeuvrés par des vérins à huile ou à air comprimé et seront asservis au niveau du plan d'eau aval mesuré par un capteur.

Trois ouvrages de régulation sont prévus le long de l'adduction en charge Marjayoun-Markabé: les brise-charge de Marjayoun, Taïbé et Markabé. Ils sont équipés pour des débits respectifs de $11,4 \text{ m}^3/\text{s}$, $8 \text{ m}^3/\text{s}$ et $6,8 \text{ m}^3/\text{s}$.

Sur l'adduction en conduite de Jaziré un seul brise-charge est prévu à Chaqra. Il est équipé pour un débit de $4 \text{ m}^3/\text{s}$.

Le brise-charge situé à l'aval de l'adduction en conduite de Slouqui qui transite un débit de $1,4 \text{ m}^3/\text{s}$ est un obturateur à disque de conception classique.

i. Conception des ouvrages de régulation

Nous définirons leur fonction et leur forme; nous décrirons leurs équipements en insistant sur les conditions d'une sécurité efficace de fonctionnement de ces ouvrages.

Le rôle de ces brise-charge est de:

- contrôler les débits et les régler à la valeur du débit appelé par l'aval;
- régler un plan d'eau constant en tête de chaque prise et du bief aval;
- limiter la charge que doivent supporter les conduites et les galeries et les protéger contre les surpressions dues aux changements de régime d'écoulement.

Chacun de ces ouvrages comprend de l'amont vers l'aval:

- une cheminée d'équilibre déversante;
- un seuil pertuis de vannage équipé d'une vanne secteur et d'une vanne de garde type wagon, mues par vérins hydrauliques. Des rainures à batardeaux sont prévues pour la mise hors d'eau du pertuis;
- un by-pass permet de transiter les débits d'hiver nécessaires à l'eau potable. Le by-pass est équipé d'une vanne de sectionnement et d'une vanne de régulation avec servo-moteur;
- un bassin de dissipation d'énergie dans lequel seront éventuellement disposés des blocs de dissipation et une poutre écrêteuse. Ces éléments devront être définis sur modèle hydraulique.

Les débits nécessaires à l'alimentation des prises et des branches secondaires sont prélevés dans les bassins de dissipation.

Ces débits peuvent être importants: par exemple au brise-charge de Marjayoun sont dérivés $1,4 \text{ m}^3/\text{s}$ sur Nabatiyé et $1,90 \text{ m}^3/\text{s}$ sur Marjayoun Sud, tandis que le débit transité vers l'aval est de $8 \text{ m}^3/\text{s}$.

On obtiendra une plus grande stabilité de fonctionnement en augmentant le volume du bassin de dissipation de manière à assurer pour chaque prise une tranche de régulation.

Le système disposé en amont est en charge et réagit donc immédiatement sur un appel ou un refus de l'aval.

Le surdimensionnement du bassin de dissipation ne dépend donc que du temps de manoeuvre de la vanne de régulation.

Si la manoeuvre est rapide le volume de régulation est peu important mais la cheminée d'équilibre doit être dimensionnée en conséquence. A titre indicatif, le temps de manoeuvre d'une vanne de réglage pour 100 pour cent de course peut atteindre 750 secondes (ordre de grandeur). Dans ces conditions, le volume maximal de la tranche de régulation à prévoir dans le cas du brise-charge de Marjayoun est de $4\ 300 \text{ m}^3$.

ii. Principes généraux relatifs à l'équipement des brise-charge

Les ouvrages de régulation que nous venons de décrire sont équipés d'un seul pertuis et d'un by-pass. Cette disposition est justifiée par le fait que le canal du sud du Liban ne transite un débit important que pendant sept mois de l'année. L'entretien du matériel peut donc se faire pendant le chômage du canal et il n'est pas nécessaire de doubler les équipements. Pendant l'hiver, les 750 l/s destinés à réalimenter les réseaux d'eau potable sont véhiculés par le by-pass.

Ce by-pass devra aussi permettre en cas d'incident sur le pertuis principal de transiter pendant le temps de l'intervention une partie du débit d'équipement de manière à assurer un service partiel sur les réseaux, en jouant à la fois sur les réserves et sur l'alimentation de secours.

La conception des ouvrages de régulation que nous avons adoptée au niveau de l'avant-projet sommaire (1 seul pertuis + 1 by-pass) devra faire l'objet d'une décision de principe qui guidera les études d'avant-projet détaillé.

Cependant l'autonomie du système fonctionnant en secours est de courte durée (6 heures si l'incident se produit en début de pointe c'est-à-dire si les réserves sont pleines).

Les équipements des ouvrages de régulation devront donc être conçus de manière à:

- réduire les risques d'incidents de fonctionnement;
- réduire la durée des interventions en cas d'incident.

Le premier de ces points concerne la conception des matériels de régulation, le second la conception des organes de coupure.

iii. Matériels de régulation hydraulique

La régulation des débits sur les ouvrages que nous venons de décrire est réalisée à l'aide de vannes-secteurs manoeuvrées par des servo-moteurs hydrauliques.

Ces vannes sont commandées:

- en local par commande manuelle sur pupitre
- à distance en commande automatique par l'intermédiaire d'un système d'asservissement local.

Le rôle essentiel d'une vanne de régulation est d'assurer le contrôle des débits. Sa courbe caractéristique ne doit pas conduire, dans certaines plages de fonctionnement, à des coefficients de débit qui évoluent de façon trop brutale pour de faibles variations de l'ouverture de la vanne.

Le système en charge situé à l'amont de la vanne doit être protégé contre les conséquences des oscillations engendrées par les manoeuvres de la vanne. La vitesse d'ouverture et de fermeture de celle-ci doit donc être connue avec précision et rester constante dans le temps.

Examinons les incidents de fonctionnement qui peuvent se produire sur une vanne-secteur. Ils sont peu nombreux. On peut citer notamment:

- un défaut sur les paliers dû à une usure anormale. Il en résultera une augmentation des débits de fuite et une imprécision dans l'ajustement de positions de la vanne qui rendra imparfait le réglage des débits. Cet incident ne mettra pas la vanne hors d'usage et il sera possible d'attendre la fin de la période d'irrigation pour procéder à la réparation;
- un coincement de la vanne en position par un corps étranger. Il sera nécessaire d'interrompre le débit avec la vanne de garde mais l'intervention sera de courte durée.

Par contre les causes de non-fonctionnement ou de défaut de fonctionnement des mécanismes d'asservissement (vérin) sont plus nombreuses. Citons:

- les pannes provenant du secteur d'alimentation électrique;
- une fuite sur le circuit hydraulique des vérins;
- une défaillance dans le système de détection des niveaux.

On remédiera au premier défaut par l'installation dans chaque ouvrage de régulation d'un groupe électrogène. Son entretien sera particulièrement soigné et on s'assurera de son efficacité au cours de périodes de fonctionnement fréquentes et systématiques.

On peut dire que les deux autres défauts produiront la fermeture plus ou moins lente de la vanne sous l'effet de son propre poids, mais rarement son arrêt en position. Il est en tout cas improbable, sauf avec un automatisme purement électrique, qu'un incident se traduise par une ouverture totale.

Même si celle-ci se produit, elle ne peut être instantanée, et il est possible d'intervenir avec la vanne de garde.

iv. Organes de coupure

- Vanne de garde

Les vannes automatiques ne peuvent pas servir d'organe de coupure de débit parce qu'elles ne sont pas étanches et qu'elles se prêtent mal à la réalisation d'un dispositif complémentaire de manoeuvre manuelle.

Pour l'entretien et l'isolement du pertuis ou pour pallier un incident sur les vannes automatiques, il convient donc d'équiper des vannes de coupure ou vannes de garde.

Une vanne de garde assure trois rôles principaux:

- sécurité: en cas d'incident sur le tronçon aval, elle permet la coupure brusque du débit avec une vitesse suffisamment lente pour ne pas provoquer d'ondes trop importantes pour la sécurité du bief amont;
- isolement du pertuis pour raisons de maintenance ou d'exploitation;
- réglage du débit nécessité par une déficience de la vanne de régulation.

Il est important de noter que la vanne de garde doit pouvoir régler avec une précision suffisante les débits en cas d'incident sur la vanne de régulation.

Cette disposition représente une sécurité essentielle pour le brise-charge. Elle permet en effet de réguler sur la vanne-wagon en attendant le remplacement des pièces défectueuses sur le système d'asservissement de la vanne-secteur par exemple. Elle justifie à elle seule l'équipement d'un seul pertuis de l'ouvrage de régulation.

Grâce à cette sécurité, le pertuis principal peut ne comporter qu'une seule passe au lieu de deux d'égale importance.

La commande de la vanne de garde doit pouvoir se faire en local ou à distance pour permettre une action rapide.

La vanne est munie de servo-moteurs capables de la décoller sous toutes charges et de la freiner à la descente sur le débit maximal. A la descente, elle peut être stoppée à n'importe quelle position intermédiaire sans engendrer ni vibration ni coup de bélier.

- Batardeaux

Les batardeaux amont et aval isolent le pertuis pour des nécessités de maintenance.

Alors que la vanne de garde peut être manoeuvrée en eau vive, un batardeau ne peut être manoeuvré qu'en eau morte et à cet effet comporte un système d'équilibrage des pressions.

Le batardeau aval est un batardeau à simples glissières travaillant sous faible charge. Il est manoeuvré à partir de la piste située autour du bassin de dissipation à l'aide d'un engin de levage.

Le batardeau amont est situé dans la cheminée. Il travaille sous forte charge. Pour éviter de devoir batardeau jusqu'au niveau du plan d'eau qui est situé à la partie supérieure de la cheminée ($Q = 0$), l'un des éléments comporte une étanchéité frontale qui s'applique contre la paroi de la cheminée au-dessus du pertuis à obturer et évite ainsi le contournement du batardeau.

Le batardeau amont est manoeuvré à partir de la plate-forme supérieure de la cheminée à l'aide d'un monorail.

- Manoeuvres de coupure

On associera toujours un organe de coupure permettant de travailler en eau vive à un ou plusieurs organes travaillant en eau morte.

Ainsi en cas d'incident sur une vanne de régulation, on interrompra le débit à l'aide de l'organe de coupure travaillant en eau vive (vanne de garde) et ensuite on isolera le pertuis à l'aval à l'aide des organes travaillant en eau morte (batardeaux).

De la même manière, pour assurer l'entretien de la vanne-wagon, on interrompra le débit à l'aide de la vanne de régulation et on batardera en eau morte dans la cheminée en amont de la vanne-wagon.

Un autre critère d'implantation de ces organes de coupure est la nécessité de maintenir en charge les galeries d'un tronçon en cas d'incident nécessitant la vidange du tronçon aval. En effet la vidange rapide d'une galerie présente toujours des risques du fait des sous-pressions s'exerçant sur le revêtement et d'autre part elle conduit fatalement à des pertes d'eau.

v. Protection des galeries et des conduites contre les surpressions

Une adduction en charge doit être protégée contre les surpressions dues aux changements du régime d'écoulement.

Cette protection limite les efforts de pression interne auxquels doivent résister les conduites et les revêtements des galeries.

Pour les débits transités dans le tronçon en charge Marjayoun-Markabé, cette protection doit être assurée par des cheminées d'équilibre.

Le choix du type de la cheminée est lié entre autres à la situation de l'ouvrage de régulation, à la valeur des débits qu'il devra contrôler et à la fonction que devra assurer cet ouvrage.

- Le brise-charge de Marjayoun est disposé en extrémité du tronçon en deux conduites ϕ 1 700 mm Marjayoun Nord/Marjayoun. Nous l'avons équipé d'une cheminée d'équilibre en béton armé de 28 m de hauteur.

La topographie du site impose une cheminée en relief et ne permet donc pas d'envisager une cheminée de type à expansion. Nous avons cependant aménagé un déversoir latéral de sécurité qui entonne dans un tuyau acier solidaire du fût de la cheminée et restitue les débits déversés dans le bassin de dissipation.

- Le brise-charge de Taïbé situé en extrémité de la galerie de Taïbé est équipé d'une cheminée en puits de 45 m de hauteur qui déverse dans un bassin de récupération.

- Le brise-charge de Markabé est également situé en bout d'une galerie. Il est équipé d'une cheminée exécutée en puits de 14 m de hauteur. Cette cheminée est du type à expansion.

Les trois principales variables qui interviennent dans la détermination du point culminant des oscillations sont:

- l'amplitude de la variation des débits;
- la charge sur la vanne avant la manoeuvre;
- le temps de manoeuvre.

Pour définir les formes des ouvrages au niveau de l'avant-projet sommaire, nous avons dimensionné les sections des cheminées en supposant une fermeture brusque du débit maximal transité. Cette hypothèse est pessimiste en fonctionnement normal sur un canal d'irrigation où les variations de demande sont lentes et le plus souvent amorties par les ongllets existant entre les lignes d'eau en canal. Cette hypothèse tient cependant compte des cas de fausse manoeuvre sur les vannes.

Les études définitives devront faire intervenir les trois variables que nous avons définies ci-dessus. Ces grandeurs sont à la fois liées et indépendantes. La variation de la section de passage sous la vanne est linéaire dans le temps, par contre le débit qui transite est fonction de cette section mais aussi de la charge dans la cheminée, charge généralement oscillante.

Ces remarques mettent en évidence la nécessité de maîtriser le temps de fermeture des vannes. Si ces vannes sont couplées à un régulateur automatique, il faut redouter l'instabilité du système.

Ces problèmes devront être résolus au niveau de l'avant-projet détaillé. Le temps de manoeuvre des vannes, établi en fonction des études de surpression sera imposé au constructeur et devra être défini dans le cahier des charges des commandes de matériel.

vi. Stabilité de fonctionnement du système en commande aval

La régulation hydraulique par l'aval d'un système n'est pas toujours stable.

Tout système d'autorégulation quel qu'il soit - et les vannes hydrauliques n'échappent pas à cette difficulté - peut présenter des phénomènes de pompage.

Les galeries en charge ont une période d'oscillation en masse assez courte voisine de la période propre des vannes.

De plus, les variations de pression dans ces galeries à la suite d'une manoeuvre se traduisent par de fortes variations de débit sous les vannes.

Les risques de pompage ne peuvent manquer de se produire avec interaction entre vannes successives.

La stabilité de la régulation par l'aval dépend d'un certain nombre de paramètres:

- les uns fixes, tels que les sections des cheminées d'équilibre, les volumes des bassins de dissipation d'énergie;
- les autres réglables, tels que les constantes de régulateurs à servo-moteur, les décréments des vannes.

La détermination de ces paramètres doit être abordée au niveau de l'avant-projet détaillé.

Quant à la stabilité d'ensemble du système elle est difficilement abordable par le calcul étant donné le grand nombre de vannes, de galeries et de canaux à prendre en considération.

Deux méthodes peuvent néanmoins fournir les résultats recherchés: le modèle réduit ou le modèle mathématique.

2.4 SECURITE ET EXPLOITATION DES OUVRAGES

La nécessité d'une sécurité efficace dans le fonctionnement d'un ouvrage tel que le canal du sud du Liban est évidente. Cependant il ne paraît pas inutile de préciser certains aspects de cette question.

D'abord le canal du sud du Liban doit assurer la desserte en eau, non seulement des périmètres agricoles qu'il domine mais encore des villages qu'il alimente en eau potable.

Par ailleurs, du fait de la commande par l'aval des réseaux de distribution, ce sont les utilisateurs qui prélèvent la quantité d'eau qu'ils désirent, dans la limite de leurs contrats, sans que le service exploitation puisse en quelque sorte réduire ou arrêter la demande.

La souplesse de fonctionnement que procure ce type de régulation implique, en contrepartie, un contrôle rigoureux et permanent.

En effet, si la régulation n'est pas réalisée en un point quelconque du canal, tout se passe comme si l'amont n'était plus en concordance avec l'aval, il risque donc d'y avoir un débordement des ouvrages ou au contraire vidange des biefs. Ce dernier cas peut entraîner la vidange totale des réseaux d'irrigation.

Le remplissage des réseaux importants est une opération longue et délicate car elle nécessite de prendre de nombreuses précautions pour éviter les coups de bélier.

Compte tenu de la longueur importante du canal du sud du Liban, et de la topographie accidentée des sites dans lesquels il chemine il n'est pas pensable d'assurer la sécurité de cet ensemble par des ouvrages de régulation automatiques à commande hydraulique ou par des systèmes à commande locale.

Seules les télétransmissions d'informations et d'ordres peuvent permettre une exploitation ordonnée du système que constitue le canal du sud du Liban.

2.4.1 La télésurveillance d'exploitation et de sécurité

En régime d'exploitation normal, les ouvrages sont autonomes et les vannes qui les équipent se règlent automatiquement, soit par simple équilibre hydrostatique (vannes Avis - Avio), soit sous l'action d'un mécanisme asservi par relais au niveau du plan d'eau aval.

Les capteurs relèvent la position des vannes, le niveau du plan d'eau et parfois le débit, transmettent périodiquement ces informations à un centre de télécontrôle où elles s'affichent et sont enregistrées.

Ces indications permettent au centre de télécontrôle de vérifier à tout instant que le mouvement des eaux est normal sur l'ensemble des ouvrages dont il est chargé. Mais elles prennent un intérêt beaucoup plus grand en cas d'incident.

L'intervention directe ou par télécommande permettant de parer aux conséquences graves d'un dérèglement de la régulation ou d'une rupture des ouvrages de transport, est déclenchée par l'affichage au centre de télécontrôle d'une information constatant un mouvement intempestif du plan d'eau, une position anormale des vannes ou une variation inexplicable du débit.

La constatation directe de l'incident par un tiers suivie d'un appel téléphonique peut évidemment alerter le centre régional, mais son caractère trop aléatoire ne permet pas de compter sur une information d'aussi faible probabilité.

Seules les télémessures sont donc à même d'actionner normalement le dispositif de sécurité.

Il importe donc que les grandeurs relevées par les capteurs soient transmises avec sûreté et exactitude au centre régional. Celui-ci pourra agir:

- en dépêchant sur place les équipes attachées au centre prêtes à intervenir;
- en actionnant simultanément par télécommande les vannes de sécurité pour interrompre ou réduire le débit, pour ouvrir une vidange ou limiter le débit arrivant dans une réserve.

Cette seconde mesure conservatoire est indispensable pour minimiser les conséquences de l'incident.

Si l'incident affecte seulement la régulation, le risque encouru se réduit à une perte d'eau par déversement ou à une interruption partielle ou totale de la desserte. Le rétablissement de l'écoulement normal est cependant une opération délicate.

Si l'avarie consiste en une rupture de berge ou de siphon risquant d'amorcer le déversement destructeur d'un débit important, dans des zones cultivées ou habitées, tout retard peut avoir des suites très graves.

Il importe donc que la manoeuvre de certaines vannes (vannes secteur à vérins des brise-charge principaux, vannes de garde) nécessitant un apport d'énergie, puisse se faire même en cas de défaut d'alimentation sur le secteur. Faute de quoi la télécommande reste impuissante.

La garantie de cette fourniture devra être recherchée d'une part au moyen d'une alimentation en bouclage des ouvrages les plus importants, d'autre part en dotant les régulateurs d'une source d'énergie ou d'une réserve locale (groupe électrogène à démarrage automatique, fluide sous pression).

On devra donc pouvoir considérer comme nulle la probabilité d'une panne privant totalement d'énergie un régulateur. D'une manière générale les dispositions de sécurité adoptées lors de la conception des ouvrages doivent permettre de réduire considérablement les conséquences d'incidents d'ordre mécanique ou électrique.

2.4.2 Télécontrôle de gestion

En même temps que les informations intéressant la sécurité des ouvrages, le centre de télécontrôle recevra un certain nombre de valeurs relatives aux débits des branches et aux niveaux des réserves. Il connaîtra les débits soutirés aux diverses réserves et pourra enregistrer les variations mensuelles et journalières de la demande en eau. Cet ensemble d'informations permettra au central de tenir à jour un programme de gestion de réserves, conciliant au mieux sur les plans techniques et économiques les deux conditions qui sont:

- d'une part la desserte permanente des usagers;
- d'autre part le partage le mieux ajusté entre les eaux destinées à être turbinées et les eaux destinées aux irrigations.

Ce télécontrôle de gestion des réserves et des branches secondaires pourra être mis en place dans un stade de développement ultérieur, lorsque les débits transités seront importants. Il permettra une gestion plus précise du mouvement des eaux par application d'une régulation programmée.

2.4.3 Organisation du système de télésurveillance

Pour assurer son rôle, la télésurveillance du canal du Liban Sud comprendra des équipements spéciaux répartis sur l'ensemble de l'aménagement:

- des points de mesure,
- des stations locales de télétransmission,
- des centres régionaux d'exploitation à Chaqra, Bent Jbaïl, Markabé,
- un central général de Marjayoun,
- et pour assurer la liaison entre les divers postes, un réseau de câbles et de faisceaux hertziens.

i. Les points de mesure

La mesure des grandeurs à retransmettre sera réalisée au moyen d'appareils électriques dont la tension de sortie sera proportionnelle aux variations à mesurer.

La mesure du niveau pourra être effectuée par un transmetteur ou par une cellule de pression.

La position d'une vanne-secteur ou wagon sera relevée au moyen d'un transmetteur de position monté sur l'axe de la vanne.

La différence de pression permettant la mesure d'un débit ou du colmatage d'une grille sera retransmise. Chaque point de mesure sera relié par fil à une station locale de télétransmission dont il dépend en raison de sa situation géographique.

ii. Stations locales de télétransmission

Les informations disponibles sous forme analogique (courant ou fréquence d'impulsions) au droit des points de mesure sont codées et munies d'une adresse au niveau des stations locales de télétransmission.

iii. Les centres régionaux d'exploitation

Ces centres sont situés à Chaqra, Bent Jbaïl et Markabé (usine hydro-électrique). Le central général de Marjayoun joue également le rôle de centre régional pour la région qu'il domine.

L'unité de commande du centre régional n'effectue aucun calcul ni aucune opération sur les informations qu'il centralise et garde disponibles sous forme numérique dans des mémoires permanentes.

Ces informations peuvent être à tout moment affichées sur le synoptique ou communiquées au central général.

Les centres régionaux d'exploitation ont essentiellement une fonction de sécurité. Ils interviennent en local en cas de défaillance du centre de Marjayoun.

iv. Organisation du central général de Marjayoun

Le central est installé à Marjayoun et regroupe les informations que lui fournissent à sa demande les divers centres régionaux.

Les diverses stations de télétransmission et les centres régionaux sont branchés en parallèle sur un câble téléphonique omnibus, comportant un seul canal et relié à l'unité de commande du centre régional d'exploitation et du central général.

Le système permet trois types de cycles:

- des cycles de surveillance. Le centre régional appelle successivement chaque voie de chaque station de télétransmission qui, en réponse, envoie l'information correspondante;
- des cycles de commande. Ceux-ci interrompent momentanément les cycles de surveillance sur lesquels ils ont priorité pour envoyer un signal de commande (marche ou arrêt) à une adresse déterminée;
- des cycles de télé réglage. Ils permettent de positionner un organe de réglage à partir du centre en faisant se succéder un cycle de commande (ordre de marche) et des cycles d'appel de la grandeur réglée (qui en retour amènent l'affichage de la position).

Le cycle de télé réglage se termine par un dernier cycle de commande transmettant un ordre d'arrêt.

Les stations de télétransmission et le central étant parfois distants de plusieurs dizaines de kilomètres et la pose du câble étant une opération onéreuse, on pourra aussi utiliser une transmission par faisceaux hertziens compatible avec le mode de fonctionnement des unités équipant les centres.

2.4.4 La régulation programmée

Le procédé de télécommande et de télésurveillance précédemment décrit permet une gestion globale du système de transport d'eau grâce à une commande centralisée au dispatching de Marjayoun.

La tête morte du système de transport fonctionnant en commande amont pour que la demande soit satisfaite il est donc nécessaire de prédéterminer les besoins et de connaître à chaque instant l'état du réseau et le temps de transit de l'eau.

L'outil qui permet d'atteindre cet objectif est un ordinateur.

i. Le ordinateur

Ses deux principaux rôles sont:

- l'acquisition de données et la surveillance en temps réel des canaux;
- le traitement des données avec recherche de corrélation pour aboutir à la mise au point d'un modèle mathématique.

Ces deux fonctions peuvent difficilement être remplies par un seul ordinateur. Un ordinateur est plus apte à effectuer les calculs scientifiques et dispose d'une plus grande capacité de mémoire nécessaire au stockage et au traitement des données d'exploitation du réseau.

Pour cela, nous avons proposé l'utilisation d'un ordinateur central situé à Beyrouth et possédant un terminal à Marjayoun. Cette disposition facilitera le recrutement du personnel spécialisé.

Le ordinateur industriel installé à Marjayoun effectuera le traitement des données en temps réel. Il les restituera à l'ordinateur en temps différé pour en recevoir ultérieurement des consignes.

Dans un premier stade l'ordinateur pourra élaborer des ordres de gestion qu'il proposera sous forme écrite sur le terminal. Le responsable de l'exploitation pourra les exécuter s'il juge ces ordres judicieux.

Dans une version plus sophistiquée, lorsque le modèle mathématique aura atteint un degré suffisant de perfection, l'ordinateur pourra être couplé avec le ordinateur qui donnera directement aux ouvrages les ordres de gestion.

ii. Le modèle mathématique

Le modèle mathématique est établi à partir des études de stabilité d'ensemble et par simulation de la propagation sur les biefs des ondes de débit et de l'évolution liée des niveaux et des vitesses en différents points courants, en tenant compte des singularités éventuelles comme les seuils déversants, les vannes et les passages en charge.

Pour calculer le taux d'ouverture à donner aux organes de réglage, le programme ne s'appuie pas seulement sur les informations des niveaux relatifs aux biefs intéressés par la vanne qu'il veut régler mais prend en compte la totalité des informations caractérisant le réseau hydraulique (gestion globale).

Une variation de la demande prenant naissance et constatée par les capteurs de mesures placés au point concerné, entraîne un réajustement de la position de la vanne de réglage située immédiatement à l'amont. La particularité du procédé consiste, grâce au programme mathématique, à calculer les corrections à apporter immédiatement aux positions des vannes situées plus à l'amont, alors que le phénomène hydraulique ne s'est pas encore manifesté dans les biefs qu'elle contrôle. Le programme permet l'anticipation du phénomène hydraulique.

De plus, les ordres transmis aux vannes ne sont pas directement fonction des débits qui passent à l'instant t mais de ceux qui sont estimés devoir passer à l'instant $t + dt$.

Cette anticipation des besoins futurs est rendue possible par le fait que le programme extrapole la valeur d'un débit à l'instant $t + dt$ à partir des valeurs mesurées aux instants t et $t - dt$ en s'appuyant sur la connaissance statistique des lois de consommation et compare la valeur calculée à celle qui sera effectivement demandée pour déterminer le terme correctif à prendre pour le réglage suivant.

C'est grâce à cette anticipation (régulation dynamique) que le procédé permet de disposer au moment voulu des quantités d'eau nécessaires.

Le mode de réglage par ajustages successifs séparés par des temps d'immobilisation en position des organes de commande de débits confère une très grande stabilité hydraulique d'ensemble aux ouvrages.

2.5 FICHES SYNOPTIQUES DES CARACTERISTIQUES DE L'ADDUCTEUR QARAAOUN-LIBAN SUD

On se reportera à la figure 28 pour le détail du tracé des réseaux d'adduction.

2.5.1 Caractéristiques générales

Voir tableau 7.

2.5.2 Débit d'équipement (à la prise)

Voir tableau 8.

2.5.3 Caractéristiques et coût des ouvrages principaux

Voir tableau 9.

2.5.4 Conséquences sur le plan énergétique des prélèvements d'eau pour l'irrigation

Voir tableau 10.

2.5.5 Construction de l'adducteur. Récapitulation des investissements

Voir tableau 11.

2.5.6 Récapitulation des dépenses annuelles de fonctionnement

Voir tableau 12.

2.5.7 Calendrier des irrigations

Voir tableau 13.

2.5.8 Calendrier des travaux

Voir tableau 14.

2.5.9 Coûts actualisés sur cinquante ans (année 1976: année 1)

Voir tableau 15.

Chapitre 3

LES ADDUCTEURS DU VERSANT OUEST DU MONT LIBAN DANS L'INTERFLEUVE AOUALI-LITANI

Le présent chapitre vise à l'identification des différents systèmes d'infrastructure hydraulique nécessaires à la mobilisation et à la distribution des eaux sur le versant Ouest de la chaîne du Liban compris entre les fleuves Aouali et Litani.

Ces aménagements devront être complémentaires de la première infrastructure hydro-agricole mise en place: le barrage de Qaraaoun et l'adducteur Qaraaoun-Liban Sud.

Au terme de la première étape Qaraaoun-Liban Sud la totalité des ressources en eau disponibles à Qaraaoun aura été affectée. Trois barrages permettent de mobiliser de nouvelles ressources: le barrage de Khardalé qui stocke les eaux du bassin versant intermédiaire du Litani, les barrages de Bisri et de Beit ed Dine qui stockent les eaux du nahr Aouali. Ces ouvrages ont fait l'objet d'une étude détaillée dans le premier chapitre du présent rapport.

3.1 MOBILISATION DE NOUVELLES RESSOURCES EN EAU

3.1.1 Le barrage de Beit ed Dine

De l'étude de planification publiée en avril 1974 il ressort que les eaux de la retenue de Beit ed Dine doivent être réservées en priorité à l'alimentation en eau potable de sa région.

3.1.2 Le barrage de Khardalé

Le barrage projeté de Khardalé est situé sur le nahr Litani à proximité du coude du Litani à l'altitude 230. Il permet de mobiliser les apports naturels du fleuve en aval de Qaraaoun qui sont de l'ordre de 270 Mm^3 en année moyenne.

Une partie de ces apports provient de la source d'Aïn Zarqa à l'altitude 660. Le débit de cette source (apport d'été 30 Mm^3 en année moyenne) peut être soit affecté au remplissage de la retenue de Khardalé, soit transféré gravitairement sur le versant Ouest par la galerie existante d'Aouali appartenant au système hydro-électrique du Litani. Les eaux d'Aïn Zarqa sont alors restituées dans le bassin d'Anas à l'altitude 630.

Le niveau de la retenue normale de Khardalé correspondant à l'hypothèse présentée dans le rapport de planification de juillet 1975 (réserve garantie de 85 Mm^3 pour une capacité utile de 100 Mm^3 sans les apports d'Ain Zarqa) est de 298. L'altitude de la crête du barrage est alors de 303.

L'ouvrage retenu au terme des études de planification est donc plus petit que celui qui est présenté au chapitre 1 du présent rapport dont l'altitude en crête est de 310 (capacité utile 128 Mm^3). Ce dernier correspond à l'utilisation maximale qui peut être faite du site sans que les conditions géologiques varient notablement.

Les eaux stockées derrière le barrage de Khardalé recevront trois affectations:

- alimentation du canal côtier de Qasmiyé (altitude 30). Les eaux de la retenue sont lâchées dans le lit aval du Litani et dérivées lorsqu'elles atteignent l'altitude de la plaine côtière;
- irrigation du versant Ouest de la chaîne du Liban dans l'interfleuve Auouali-Litani. Ce plateau régulièrement penté vers la mer domine la retenue à l'altitude 715 au château de Beaufort. L'eau de la retenue (tranche comprise entre les cotes 252 et 298) est refoulée sur le plateau par une station de pompage située au pied du barrage;
- certaines hypothèses de planification prévoient également l'alimentation des réseaux situés en rive gauche du Litani entre les cotes 450 et 200 (Srifa) à partir d'une station de pompage installée dans les gorges du Litani à l'altitude 110 (site de Kfar Sir) près de l'embouchure de l'ouadi Ghandouriyé et alimentée par des lâchés effectués à partir de Khardalé dans le lit du Litani.

A chacune de ces affectations correspond un système de distribution.

3.1.3 Le barrage de Bisri

Le barrage projeté de Bisri est situé sur le nahr Auouali, immédiatement à l'amont du village de Bisri. Le pied du barrage est à l'altitude 394 m. Le niveau de la retenue normale correspondant à l'hypothèse retenue dans le rapport de planification de juillet 1975 (réserve d'accumulation de 55 Mm^3 pour une capacité utile de 65 Mm^3) est de 447. L'altitude de la crête du barrage est de 452. Cette solution correspond au projet de barrage le plus haut compatible avec les caractéristiques du site présenté au chapitre 1 du présent rapport.

Les eaux stockées derrière le barrage de Bisri reçoivent quatre affectations:

- alimentation en eau potable de la ville de Beyrouth;
- alimentation en eau agricole et en eau industrielle des régions situées au nord du nahr Auouali dans les interfleuves nahr Beyrouth-Damour et Damour-Aououali;
- alimentation du périmètre pilote de Saïda;

- irrigation du versant Ouest de la chaîne du Liban en rive gauche du nahr Aouali successivement entre le nahr Saïtaniq et le nahr Zahrani puis entre le nahr Zahrani et le nahr Litani.

Pour satisfaire cette dernière fonction, l'eau stockée dans la retenue de Bisri dans la tranche comprise entre 422,50 et 447 doit être refoulée par une station de pompage située au pied de barrage dans une conduite longue de 2,7 km qui débouche dans le bassin d'Anane à l'altitude 635 m.

Dans tous les cas l'eau de Bisri vient en complément de celle qui transite par la galerie d'Aouali en provenance de Qaraaoun et de Ain Zarqa.

3.2 DISTRIBUTION DE L'EAU SUR LE VERSANT OUEST DE LA CHAÎNE DU MONT LIBAN DANS L'INTERFLEUVE AOUALI-LITANI

L'aménagement futur des eaux du système Aouali-Litani a été réparti en trois étapes successives, chacune marquée par la mise en service d'un barrage réservoir.

Première étape: Qaraaoun.

Le deuxième barrage pouvant être soit Khardalé, soit Bisri on est amené à considérer les deux possibilités.

Deuxième étape: Qaraaoun + Khardalé ou Qaraaoun + Bisri.

Troisième étape: Qaraaoun + Khardalé + Bisri.

La planification hydraulique s'est concentrée sur les deux premières étapes. On a considéré que la troisième étape était trop lointaine pour pouvoir établir des prévisions valables sur les besoins en eau.

3.2.1 Pendant l'étape Qaraaoun

Dans l'étape Qaraaoun, il est prévu d'allouer à la région de Nabatiyé de 9 à 20 Mm³ suivant les schémas d'aménagement développés dans le rapport de planification de juillet 1975.

Ce volume d'eau est issu de Qaraaoun et transporté par l'adducteur Qaraaoun-Liban Sud.

L'étude détaillée des caractéristiques techniques de cet adducteur a été conduite dans le présent rapport en supposant que 11 Mm³ étaient alloués à la région de Nabatiyé.

Ce volume est dérivé de l'adducteur par la branche de Nabatiyé qui a sa prise au brise-charge de Marjayoun à l'altitude 771 m. Elle est constituée d'un siphon travaillant sous forte charge (450 à 500 m maximum) et calibré pour un débit de pointe de 1,38 m³/s.

Deux tracés ont été étudiés, l'un franchit le Litani au voisinage du site du barrage de Khardalé, l'autre traverse la retenue dans sa partie extrême amont, en aval de Demechkiyé. Les deux tracés aboutissent sur le plateau de Nabatiyé, au nord de Kfar Tibnit en un point d'altitude 668, pour dominer 1 600 ha de terres irrigables comprises dans la tranche d'altitude 460-600 m.

3.2.2 Pendant l'étape Qaraaoun + Khardalé ou Qaraaoun + Bisri

Le développement des irrigations sur le plateau de Nabatiyé s'appuie essentiellement sur la mobilisation de ressources complémentaires de celles de Qaraaoun dans l'un des deux barrages réservoirs de Khardalé ou de Bisri.

Quel que soit le barrage mis en oeuvre, l'utilisation de ces nouvelles ressources nécessite la mise en oeuvre d'une puissance électrique importante pour alimenter des stations de pompage refoulant les eaux depuis le pied d'un des barrages sur le plateau de Nabatiyé.

i. Etape Qaraaoun + Khardalé

L'altitude du pied du barrage de Khardalé est de 230 m. La tranche d'eau utilisable se situe entre les altitudes 298 et 252 m. La configuration topographique du versant Ouest du plateau de Nabatiyé régulièrement penté vers la mer et se relevant jusqu'à l'altitude 715 au château de Beaufort qui domine le site du barrage nécessite de refouler les eaux de la retenue jusqu'à l'altitude 550 m au moins pour passer l'un des cols au nord ou au sud de Borj Ej Jaaiyat.

Les terres du versant Ouest du plateau de Nabatiyé non irriguées au terme de l'étape Qaraaoun s'étagent entre les altitudes 200 m et 460 m. Si la totalité du volume d'eau qui leur est destiné doit être relevé à l'altitude 550 m, on conçoit que la perte d'énergie soit importante dans un tel système.

Une autre solution consiste dans le transfert de l'eau de la retenue vers le versant Ouest par une galerie à écoulement libre traversant la crête qui forme la bordure Est du plateau dominant le Litani. Suivant l'altitude de la sortie de galerie un volume plus ou moins important d'eau devra être relevé par étages vers les terres qui ne sont pas dominées gravitairement. Plus la galerie sera calée bas, plus l'ajustement des besoins en énergie nécessaire à l'irrigation de chaque tranche d'altitude pourra être rigoureux, mais aussi plus la galerie sera longue donc son coût de premier investissement élevé. Dans la suite du présent rapport nous comparerons pour différentes altitudes de galerie, les coûts respectifs de premier investissement et les dépenses de fonctionnement.

ii. Etape Qaraaoun + Bisri

L'altitude du pied du barrage de Bisri est de 395 m. La tranche d'eau utilisable est placée entre les altitudes 447 et 422,50. A proximité du barrage de Bisri, sur la corniche supérieure de l'effondrement d'Anane qui a affecté le versant rive gauche de la vallée du nahr Aouali, se trouve le bassin d'Anane, à l'altitude 635 m (crête des digues fermant le bassin).

Cet ouvrage appartient au système hydro-électrique Litani-Aouali, il est placé en tête de la conduite forcée de l'usine d'Aouali et en aval de la galerie d'Aouali qui, elle-même, se raccorde à la galerie de fuite de l'usine de Markabé. La galerie d'Aouali récupère également les eaux d'Ain Zarqa auxquelles s'ajoutent des apports intermédiaires provenant du drainage de la nappe que traverse la galerie.

La situation géographique et l'altitude du bassin d'Anane permettent à un adducteur qui en serait issu de dominer la quasi-totalité des terres irrigables du versant Ouest puisque près de Nabatiyé, soit à 27 km de sa prise l'adducteur serait à l'altitude 525 et pourrait ainsi prendre le relais de l'alimentation issue de l'adducteur Qaraaoun-Liban Sud, pour l'irrigation de la tranche des altitudes inférieures à 500 m.

La tranche d'eau 422,50-447 mobilisable dans le barrage de Bisri est refoulée dans le bassin d'Anane par une station de pompage située en pied de barrage débitant dans une conduite forcée longue de 2,7 km. Ce volume vient en complément des apports prélevés, au fil de l'eau, à Ain Zarqa et dans la galerie d'Aouali.

Sur le bassin d'Anane se pique également l'alimentation du périmètre pilote de Saïda.

3.3 DIMENSIONNEMENT DES ADDUCTEURS DU VERSANT OUEST - HYPOTHESES DE TRAVAIL

Les adducteurs du versant Ouest sont destinés au transport de l'eau d'irrigation et de l'eau potable dans la région comprise entre le fleuve Aouali et le fleuve Litani.

3.3.1 Alimentation en eau potable

Un volume de 5 Mm³ est alloué à l'alimentation en eau potable de la région de Nabatiyé. Le réservoir régional est situé à l'altitude 540 près de Nabatiyé. Il doit être réalimenté sous un débit de 0,4 m³/s.

3.3.2 Irrigation du versant Ouest entre le Litani et l'Aouali

Dans la suite de la présente étude on distinguera dans cette région les trois interfleuves: Litani-Zahrani, Zahrani-Saïtaniq, Saïtaniq-Aouali. Le dernier interfleuve Saïtaniq-Aouali comprend le périmètre pilote de Saïda, actuellement alimenté directement à partir du réservoir d'Anane. On conservera donc à cette région le même type d'alimentation.

i. Les ressources en sols irrigables

La prospection pédologique effectuée à l'échelle du 1/20 000 a permis de définir et de cartographier des unités de sols homogènes qui ont été regroupées suivant leur aptitude à l'irrigation au sein d'ensembles irrigables.

Les ensembles II groupent une majorité de sols d'aptitude moyenne à l'irrigation.

Les ensembles III regroupent une majorité de sols d'aptitude marginale à l'irrigation.

Les valeurs du potentiel irrigable après déduction des surfaces déjà irriguées sur le versant Ouest sont indiquées au tableau 16. Ces valeurs sont extraites du rapport "délimitation du périmètre cote 800", août 1975, p. 21 - Tableau VI - estimation provisoire IR 101, avril 1973.

Les valeurs du potentiel irrigable compris dans les ensembles II de la zone intérieure sont détaillées aux tableaux 17 et 18.

ii. Principe de répartition des eaux d'irrigation

La répartition des eaux au sud du Liban a fait l'objet d'un décret N° 14522 qui découpe la région en six sous-régions délimitées par les fleuves côtiers et alloue à chacune d'elles un volume d'eau au prorata de sa surface géographique brute.

Le présent rapport utilise une approche de même nature mais plus précise et conforme aux "propositions pour un plan d'aménagement hydro-agricole publié en avril 1974 par le projet FAO/ONL.

Ces propositions:

- conservent le même découpage en sous-régions après exclusion cependant de la zone côtière;
- s'appliquent exclusivement aux ressources en eau du système Litani-Aouali après exclusion du système d'eaux souterraines et Damour-Barouq;
- néglige les superficies actuellement irriguées qui après exclusion de la zone côtière ne concernent que 2 000 ha dispersés hors du nouveau projet.

Une des possibilités d'allocation en eau, conforme aux principes énoncés ci-dessus est présentée au tableau 19. Ces valeurs sont extraites du rapport de planification publié en avril 1974 - page 81.

Dans les propositions de juillet 1975 pour l'allocation des eaux le volume alloué à la région Litani-Zahrani est toujours de 42 Mm³ à l'étape Qaraaoun + Khardalé mais les eaux se répartissent différemment entre l'eau potable (7 Mm³) et les irrigations (35 Mm³).

A l'étape Qaraaoun + Bisri le volume alloué à la région concernée est de 40 Mm³ (irrigation 33 - eau potable 7).

iii. Besoins en eau agricole

Les besoins en eau agricole sur le plateau de Nabatiyé ont été estimés en valeur moyenne à 7 000 m³ par hectare et par an (Note IR 10/73 de décembre 1973).

Le débit fictif continu de pointe correspondant est de 0,69 l/s/ha (même référence).

iv. Allocation des ressources en eaux

Dans la région Litani-Zahrani, les 37 Mm³ qui lui sont affectés par décret ne permettent pas d'irriguer la totalité des 7 017 ha du potentiel irrigable compris dans les ensembles II mais seulement

$$\frac{37\ 000\ 000\ \text{m}^3}{7\ 000\ \text{m}^3/\text{ha}} = 5\ 285\ \text{ha}$$

soit $\frac{5\ 285\ \text{ha}}{7\ 017\ \text{ha}} = 0,75\%$ du potentiel irrigable compris dans les ensembles II.

Les valeurs des surfaces irriguées dans chaque unité de la région Litani-Zahrani figurent au tableau 20 en regard des valeurs du potentiel irrigable. Elles sont classées par tranche d'altitude.

Dans la région Zahrani-Saitaniq, les 12 Mm³ alloués permettent d'irriguer

$$\frac{12\ 000\ 000}{7\ 000} = 1\ 714\ \text{ha}$$

soit la totalité du potentiel irrigable compris dans les ensembles II de la région et estimé à 1 682 ha.

Les valeurs des surfaces irriguées dans chacune des unités de la région Zahrani-Saitaniq sont égales au potentiel irrigable compris dans ces unités. Ces valeurs ont été reportées au tableau 18.

v. Origine des eaux allouées à la région Litani-Aouali

Nous avons vu qu'à l'étape Qaraaoun, 11 Mm³ devaient être transportés par l'adducteur Qaraaoun-Liban Sud (alinéa 2.1.4.iv et chapitre relatif aux caractéristiques techniques de l'adducteur Qaraaoun-Liban Sud).

Ce volume est dérivé de l'adducteur par la branche de Nabatiyé, constituée d'un siphon ayant son origine au brise-charge de Marjeyoun à l'altitude 771 et débouchant sur le plateau de Nabatiyé, au nord de Kfar Tibnit à l'altitude 668.

Ces 11 Mm³ permettent d'irriguer

$$\frac{11\ 000\ 000}{7\ 000} = 1\ 571\ \text{ha}$$

représentant 75% d'un potentiel irrigable de 2 100 ha ($2\ 100 \times 0,75 = 1\ 575\ \text{ha}$).

Ce volume se répartit dans chacune des unités de la région Litani-Zahrani irriguées à partir des eaux de Qaraaoun ainsi qu'il est montré au tableau 21.

Dans d'autres schémas d'allocation proposés (rapport juillet 1975) les volumes dérivés de l'adducteur Qaraaoun-Liban Sud et alloués à la région de Nabatiyé varient de 9 à 20 Mm³.

Dans l'hypothèse que nous développons à l'étape Qaraaoun + Khardalé ou Qaraaoun + Bisri 37 Mm³ doivent être alloués à la région Litani-Zahrani dont 11 Mm³ ont leur origine à Qaraaoun. Les 26 Mm³ complémentaires doivent être mobilisés à Khardalé ou à Bisri. Ils sont répartis entre les unités de la région Litani-Zahrani comme l'indique le tableau 22.

Les tableaux 21 et 22 se déduisent du tableau 20 après que celui-ci ait été partagé suivant l'origine des eaux allouées à la région.

Enfin 12 Mm³ (cf. tableau 19) sont alloués à la région Zahrani-Saitaniq. Ils sont mobilisés soit à Khardalé soit à Bisri et répartis entre les unités de la région comme l'indique le tableau 23.

3.4 LES PROJETS

Nous étudierons successivement les adducteurs issus de Khardalé et ceux issus de Bisri.

Pour les adducteurs issus de Khardalé nous avons vu que, étant donné la configuration du plateau de Nabatiyé sur sa bordure Est dominant la retenue, il était nécessaire de comparer les coûts de premier investissement et les dépenses de fonctionnement de plusieurs tracés calés à différentes altitudes afin d'optimiser la hauteur de refoulement et la longueur de la galerie de tête de l'adducteur.

Nous comparerons les tracés correspondant à des galeries calées aux altitudes respectives de 475 m, 400 m et 300 m.

Pour le transport des eaux issues de Bisri, un seul tracé d'adducteur sera proposé. L'origine de ce tracé, le bassin d'Anane, est en effet un point de passage obligé. Le fait de pouvoir récupérer dans cet adducteur les eaux transitant au fil de l'eau (Aïn Zarqa - apports intermédiaires en galerie d'Aouali) et de pouvoir les utiliser au mieux des besoins de l'heure considérée (pointe sur les usines hydro-électriques ou pointe des irrigations) constitue un avantage appréciable qui justifie à lui seul le choix de l'altitude de prise de l'adducteur.

Enfin nous étudierons un système mixte constitué comme suit:

- irrigations et alimentation en eau potable de la région Litani-Zahrani à l'aide des eaux issues de Khardalé;
- irrigation de la région Saitaniq-Zahrani à l'aide des eaux issues de Qaraaoun, transitant dans le système hydro-électrique du Litani et dérivées au niveau du bassin d'Anane.

Nous avons vu que les études de planification n'avaient pas pris en compte l'hypothèse des trois barrages, Qaraaoun, Khardalé et Bisri utilisés simultanément, cette alternative étant trop lointaine pour pouvoir établir des prévisions valables sur les besoins en eau.

Nous écartons donc également cette hypothèse. Ne disposant pas des eaux concentrables du Bisri pour alimenter la région Saïtaniq-Zahrani (12 Mm^3) il faut donc prélever le volume nécessaire à Qaraaoun.

Or à la fin de la première étape la totalité des ressources de Qaraaoun est allouée. Il faut donc distraire 12 Mm^3 de leur utilisation prévue au sud du Liban dans la région Sud-Litani et remplacer le volume ainsi détourné par un volume équivalent issu de Khardalé.

Par sa taille et sa situation le périmètre de Srifa se prête à cet échange. En effet la taille du périmètre ($1\,510 \text{ ha}$: estimation IR 101 janvier 1974 ou $1\,758 \text{ ha}$: estimation août 1975 du rapport "Délimitation du périmètre cote 800", page 4, tableau 1) nécessite la mobilisation d'un volume d'eau sensiblement égal à celui dérivé en amont de l'adducteur Qaraaoun-Liban Sud vers la région Saïtaniq-Zahrani. Ce volume varie de 10 Mm^3 à $11,65 \text{ Mm}^3$ suivant la précision des estimations du potentiel irrigable contenu dans les ensembles II. Nous le supposons égal à 12 Mm^3 .

La situation du périmètre de Srifa en bordure de la vallée du Litani à des altitudes inférieures à 500 m facilite le transfert des eaux de la retenue de Khardalé vers les terres à irriguer en rive gauche du Litani.

Lors de la mise en oeuvre du schéma proposé, le périmètre de Srifa sera déconnecté de son alimentation à partir de l'adducteur Qaraaoun-Liban Sud; l'extrémité de la branche de Srifa (El Mrahal altitude 485) sera réalimentée à partir d'une station de refoulement située dans les gorges du Litani, à l'altitude 110 , relevant les eaux lâchées au barrage de Khardalé et dérivées par un barrage-seuil construit en aval de la confluence du Litani et du Ghandouriyé.

Indépendamment des investissements et des frais de fonctionnement relatifs à la station de refoulement de Kfar Sir les conséquences de ce transfert seront de deux ordres:

- sur le plan des investissements consentis au cours de l'étape Qaraaoun, l'adducteur Qaraaoun-Liban Sud deviendra surdimensionné au cours de l'étape suivante Qaraaoun + Khardalé puisque 12 Mm^3 ne transiteront plus vers le sud;
- sur le plan énergétique les 12 Mm^3 dérivés en tête de l'usine hydro-électrique de Markabé pourront désormais être turbinés.

3.4.1 Caractéristiques communes aux adducteurs du versant Ouest

i. Débits de pointe

Nous supposons que les besoins en eau du mois de juillet sont égaux à 25 pour cent des besoins annuels et que pendant les 10 jours les plus chauds du mois de juillet les besoins sont supérieurs de 10 pour cent à la moyenne du mois.

Pour des besoins annuels de $7\ 000\ \text{m}^3/\text{ha}$ le débit fictif continu correspondant à la période de pointe du mois de juillet est de $0,69\ \text{l/s/ha}$. Ce débit est transité $24\ \text{h}/24$. Une approche sommaire de la loi de consommation des débits consiste à prévoir le transit du volume journalier pendant 18 heures.

$$\text{Débit de pointe } 0,69\ \text{l/s/ha} \times \frac{24}{18} = 0,9\ \text{l/s/ha}$$

Les tableaux 24 et 25 donnent les débits de pointe à prévoir en tête de chaque unité respectivement pour la région Litani-Zahrani et pour la région Zahrani-Saitaniq.

ii. Nature des adductions

Les débits de pointes cumulés en tête des adductions sont de $3,22 + 1,53 + 0,4 = 5,25\ \text{m}^3/\text{s}$. Cette valeur correspond à la limite d'utilisation d'adductions en conduites. Pour ce débit d'équipement un canal à écoulement libre n'est économique que s'il est construit dans un terrain au relief peu accidenté.

Dans les adducteurs issus de Khardalé le débit maximal à transiter en sortie de galerie est de $3,22\ \text{m}^3/\text{s}$ (solution 475), $3,74\ \text{m}^3/\text{s}$ (solution 400) et $2,62\ \text{m}^3/\text{s}$ (solution 300). L'éclatement du débit de base se produit en effet soit immédiatement en sortie de galerie (solution 475) soit à la prise en pied de barrage (station de refoulement à plusieurs étapes).

Pour l'adducteur issu de Bisri le débit maximal à transiter à la prise dans le bassin d'Anane est de $5,25\ \text{m}^3/\text{s}$. La première partie du tracé chemine en terrain accidenté et les difficultés que représentent la construction et la régulation des débits d'un canal à écoulement libre entrecoupé de siphons nous ont conduit en première approche à préférer une adduction en conduites.

Dans tous les cas les adductions pourront être constituées de deux conduites, l'équipement de la seconde conduite étant différé dans le temps.

3.4.2 Bases de l'estimation des investissements et des dépenses de fonctionnement

Les coûts du premier investissement pour la construction des ouvrages et les dépenses de fonctionnement seront estimés sur les mêmes bases que ceux qui ont été retenus pour les calculs économiques relatifs à l'adducteur Qaraaoun-Liban Sud (rapport GO 109 d'avril 1974, caractéristiques techniques de l'adducteur Qaraaoun-Liban Sud).

Les courbes et graphiques de prix, les hypothèses de calcul des charges annuelles de maintenance et du prix de revient du kWh pointe et hors pointe figurent dans la troisième partie, chapitre 1 de ce même rapport mentionné.

Tous ces éléments correspondent aux conditions économiques d'avril 1973.

Les résultats des comparaisons économiques qui seront développées dans la suite du présent rapport sont donc strictement comparables aux conclusions présentées au chapitre précédent relatif à l'adducteur Qaraaoun-Liban Sud.

3.4.3 Caractéristiques techniques des adducteurs du versant Ouest

i. Désignation des différents tracés

Les adducteurs qui ont leur origine à Khardalé et qui assurent la distribution de l'eau sur le versant Ouest dans la région Litani-Saitaniq seront désignés par "adducteurs Khardalé/Saitaniq".

Trois tracés seront étudiés et comparés. Ce sont les tracés (475) (400) et (300). Ils sont repérés par l'altitude de la tête de galerie qui domine la retenue de Khardalé et assure le transfert de l'eau des gorges du Litani vers le versant Ouest.

Les adducteurs Khardalé/Zahrani constituent une variante des ouvrages précédents. Ils ont toujours leur origine à Khardalé mais n'assurent la distribution de l'eau que dans la région Litani-Zahrani.

L'adducteur qui a son origine à Bisri et qui assure la distribution de l'eau sur le versant Ouest successivement dans les interfleuves Saitaniq-Zahrani et Zahrani-Litani jusque sur le plateau de Nabatiyé sera désigné par "adducteur Bisri/Nabatiyé".

L'adducteur Anane-Zahrani (cf. figure 30) utilise le même tracé amont que l'adducteur Bisri/Nabatiyé. Il est alimenté non pas à partir de Bisri, mais à partir de Qaraaoun. Il a sa prise en aval de la galerie d'Aouali sur le bassin d'Anane. Il assure la distribution de l'eau dans la région Saitaniq-Zahrani.

Les tracés (475) (400) et (300) de l'adducteur Khardalé-Saitaniq sont schématisés à la figure 31.

Les ouvrages de têtes des adducteurs Khardalé-Saitaniq sont composés dans les trois solutions d'une station de pompage située en pied de barrage refoulant dans une galerie à écoulement libre longue respectivement de 1 600 m (solution 475), 5 500 m (solution 400) et 12 600 m (solution 300).

La galerie calée à l'altitude 300 m se raccorde directement à la station de refoulement par une descenderie de 17 m.

Dans les solutions (400) et (300) un deuxième étage de la station de refoulement de tête relève le débit nécessaire à l'irrigation du périmètre bas-Nabatiyé à l'altitude 535 m sans que ce débit transite par la galerie.

Dans la solution (475) l'alimentation du périmètre bas-Nabatiyé se fait par une station de pompage située en sortie de la galerie de tête.

Rappelons que le périmètre haut-Nabatiyé est alimenté gravitairement par un siphon à partir de l'adducteur Qaraaoun-Liban Sud.

Dans les solutions (400) et (300) un troisième étage de la station de refoulement de tête alimente le réseau d'eau potable de la région de Nabatiyé (réservoir à l'altitude 540).

Dans la solution (475) le débit nécessaire à l'eau potable transite par la galerie, il est relevé à l'altitude 540 au-delà de la sortie de galerie.

Les trois solutions desservent strictement les mêmes périmètres aux mêmes altitudes.

L'adducteur Bisri/Nabatiyé a son origine au barrage de Bisri. Son tracé est schématisé à la figure 32.

Les ouvrages de tête de l'adducteur Bisri/Nabatiyé sont constitués d'une station de refoulement située au pied du barrage de Bisri et d'une conduite de refoulement longue de 2,7 km qui débouche à l'altitude 635 dans le bassin existant d'Anane. La prise de l'adducteur sur le bassin d'Anane est placée en pied de digue à l'altitude 615 environ.

L'adducteur Bisri/Nabatiyé alimente les mêmes périmètres, aux mêmes altitudes que les adducteurs issus de Khardalé. Il transporte l'eau potable de la région de Nabatiyé.

- ii. Caractéristiques de l'adducteur Khardalé/Saitaniq - cote 475, cote 400 et cote 300

Elles figurent respectivement aux tableaux 26, 27 et 28.

- iii. Caractéristiques de l'adducteur Bisri/Nabatiyé - cote 600

Voir au tableau 29.

- iv. Caractéristiques de l'adducteur Khardalé/Zahrani - cote 475, cote 400

Elles sont données aux tableaux 30 et 31.

- v. Caractéristiques de l'adducteur Anane/Zahrani - cote 600

Voir tableau 32.

3.4.4

Estimation du coût du transfert vers la région Saitaniq-Zahrani de l'eau de Qaraaoun initialement destinée au périmètre de Srifa

Nous avons vu qu'un des systèmes d'adduction d'eau sur le versant Ouest dans l'interfleuve Saitaniq-Litani peut être constitué:

- d'un des adducteurs Khardalé/Zahrani;
- de l'adducteur Anane/Zahrani.

Pour que ce système puisse être comparé d'un point de vue économique avec l'un des autres adducteurs issus de Khardalé ou de Bisri et desservant la même région il est nécessaire d'estimer le coût du transfert du volume d'eau nécessaire à l'alimentation de la région Saïtaniq-Zahrani, de la région Sud-Litani (Srifa) vers le versant Ouest.

Les conséquences de ce transfert sur les investissements consentis pour assurer le transport de ce volume vers la région Sud-Litani pendant l'étape Qaraaoun sont les suivantes:

- surdimensionnement de l'adducteur Qaraaoun-Liban Sud entre sa prise et le piquage de la branche de Srifa;
- déclassement de la branche de Srifa dont les périmètres sont réalimentés par l'adducteur Khardalé-Srifa.

Calcul du surdimensionnement

$$\frac{12 \text{ Mm}^3}{6 \ 600} \times 0,6610^{-3} = 1,2 \text{ m}^3/\text{s} \quad \text{soit } 10\%$$

du débit de l'adducteur Qaraaoun-Liban Sud (11,7 m³/s)

- Coût du tronçon Markabé-Slouqui	<u>MDh</u>
Ouvrage de prise	4,44
tronçon Marjayoun Nord - Marjayoun Sud	14,928
" Marjayoun Sud - Taïbé	30,765
" Taïbé - Markabé	6,664
Siphon Slouqui	2,742
	<hr style="width: 100%;"/>
	59,539
	<hr style="width: 100%;"/>

Le gabarit initial de la galerie de Yohmor et du canal de Qelia sont conservés. Le diamètre de la galerie de Yohmor est proche du diamètre minimal économique de forage. Le canal de tête de Yohmor doit jouer le rôle de réserve de régulation lorsque le développement des irrigations aura atteint son optimum.

Pour les débits transités (11,7 m³/s) les courbes de prix unitaires relatives aux conduites et matériels ont tendance à s'aplatir: les prix croissent moins vite que les débits. Nous supposons qu'une augmentation de 10 pour cent du débit entraîne une augmentation de 3 pour cent des prix unitaires.

Coût du surdimensionnement 1,78 million de LL
Coût de la branche de Srifa 2,03 millions de LL

Montant des investissements à consentir pour alimenter les périmètres de Srifa pendant l'étape Qaraaoun: 3,81 millions de LL.

Nous avons également signalé comme conséquence du transfert du volume d'eau nécessaire à l'alimentation de la région Saitaniq-Zahrani, la possibilité de turbiner ce volume dans l'usine hydro-électrique de Markabé. Il en résulte une plus-value pour l'ONL qui s'élève par an à:

$$0,45 \text{ kWh/m}^3 \times 12 \text{ Mm}^3/\text{an} \times 0,03 \text{ LL} = 0,160 \text{ million de LL/an}$$

Enfin l'évaluation du coût de l'adducteur Khardalé-Srifa figure au tableau 33.

3.4.5 Comparaison des coûts actualisés et des dépenses de fonctionnement des adducteurs Khardalé/Saitaniq et Bisri/Nabatiyé

Ils figurent au tableau 34.

3.4.6 Coût actualisé et dépenses de fonctionnement du système d'adduction Anane/Zahrani, Khardalé/Zahrani et Khardalé/Srifa

Voir au tableau 35.

3.5 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Le coût actualisé des investissements et des dépenses de fonctionnement de l'adducteur Qaraaoun-Liban Sud est de 119 millions de LL (actualisé à 10 pour cent). L'ouvrage transporte et distribue l'eau destinée à l'irrigation de 13 485 ha + 1 577 ha = 15 062 ha.

Le coût actualisé des investissements et des dépenses de fonctionnement des adducteurs du versant Ouest est de 28 millions de LL (actualisé à 10 pour cent). Les ouvrages distribuent l'eau destinée à 6 947 ha.

On constate que les équipements à entreprendre pendant la seconde étape Qaraaoun + Khardalé ou Qaraaoun + Bisri sont d'un coût nettement moins élevé que ceux réalisés pendant l'étape Qaraaoun. Cela peut s'expliquer par le fait que les terres irriguées au terme de la première étape sont toutes situées à une altitude élevée (au-dessus de 500 m), et toutes éloignées du point d'accumulation de l'eau (le potentiel irrigable compris dans les ensembles II se distribue sur les terres hautes réparties le long de la frontière du Sud (voir figure 29)).

Les estimations relatives à l'étape Qaraaoun, ainsi que celles relatives à l'étape suivante n'incluent pas le coût du barrage.

La puissance électrique installée est de 4 541 kW pour l'adducteur Qaraaoun-Liban Sud et ses branches secondaires. Elle est de 18 750 kW pour les adducteurs du versant Ouest soit quatre fois supérieure pour une surface irriguée deux fois plus petite.

Toutes les ressources en eau au sud du Liban, autres que celle de Qaraaoun (et les eaux souterraines n'échappent pas à la règle) sont placées très bas par rapport à leur lieu d'utilisation. Cette constatation justifie pleinement la décision d'allouer les eaux de Qaraaoun en priorité aux terres placées au-dessus de 500 m au sud du Liban.

Il est intéressant de noter que le relèvement en rive gauche du Litani des eaux de Khardalé de manière à permettre le transfert dans les interfleuves nord du versant Ouest d'une partie de l'eau de Qaraaoun utilisée au sud en première étape ne pénalise pas économiquement ces solutions (30,5 millions de LL pour 28 millions de LL).

La puissance électrique à mettre en oeuvre (19 537 kW) n'est pas plus importante que celle correspondant à la solution la plus économique (18 750 kW pour l'adducteur Khardalé-Saitaniq à la cote 475).

Les schémas d'allocation présentés en juillet 1975 proposent en effet plusieurs solutions de même type qui ont pour but de permettre le développement des terres hautes de Nabatiyé en première étape à partir des eaux de Qaraaoun. Ces terres sont très bien dominées gravitairement par l'adducteur Qaraaoun-Liban Sud.

Lorsque la totalité des eaux disponibles à Qaraaoun aura été utilisée il sera alors nécessaire de compléter l'allocation de la région Sud-Litani à partir des eaux de Khardalé et pour cela d'en relever un volume notable en rive gauche.

Enfin il ressort des études relatives à la délimitation du périmètre cote 800 présentées en août 1975 que d'autres hypothèses de répartition des eaux dans la région Sud-Litani ont tendance à déplacer le centre de gravité de la masse de l'eau allouée à cette région vers des altitudes moindres. C'est ainsi que si l'on prend en compte une partie de potentiel irrigable compris dans les ensembles III, des régions telles que Srifa se verront affecter un volume important vers des altitudes comprises entre 200 et 400 m (périmètres de Maaroub et Qana). La perte d'énergie potentielle de l'eau transportée depuis l'altitude de Qaraaoun vers ces terres est alors considérable. Il y a lieu de chercher d'autres solutions qui conduiront à développer l'adducteur Khardalé-Srifa.

Tableau 1

SUD-LITANI-NABATIYÉ: VALEURS DU POTENTIEL IRRIGABLE

Evaluation IR 101 - janvier 1974

Sous-région	Potentiel irrigable (ha)		
	Dans les ensembles II	Dans les ensembles III	Dans les ensembles II et III
- Zahrani-Litani (Nabatiyé)	7 107	7 259	14 366
- Litani-frontière (Sud-Litani)	13 485	6 860	20 345

Tableau 2

BESOINS ANNUELS EN EAU AGRICOLE

Note IR 10/73, décembre 1973

Région	Altitude moyenne	Besoins annuels m^3/ha	Débit fictif continu de pointe l/s/ha
Sud-Litani	500 - 800	6 600	0,66
Nabatiyé	300 - 500	7 000	0,69

Tableau 3

REPARTITION ALTIMETRIQUE DES ENSEMBLES II

Désignation des périmètres	000-300	300-400	400-500	500-600	600-700	700-800	800-900	Total ha
Marjayoun Nord				15	467	90		572
Marjayoun Sud		45	121	1 591	242			1 997
Taïbé			887	334	8			1 229
Markabé			57	151	175	86	37	506
Madjel Selm			115	540				655
Srifa		484	1 001	25				1 510
Meies El Jabal				350	1 010	223		1 583
Chaqra				350	1 032	210		1 592
Bent Jbaïl					201	1 037	202	1 440
Aita ech Chaab				583	335			918
Yarine	113	757	549	51	13			1 483
Total Sud-Litani	113	1 284	2 730	3 990	3 483	1 646	239	13 485
Région de Nabatiyé	607	2 432	3 040	938				7 017
Périmètre de Nabatiyé			662	938				1 600

Tableau 4

NOUVELLES RESSOURCES EN EAU PRELEVEES A QARAAOUN

Office	Région	Nouvelles ressources Mm ³			
		Ressources	Hiver	Eté	Total
Jabal Aamel	Litani-frontière	Qaraaoun	3,8	5,1	8,9
	Marjayoun-Hasbaïya	Qaraaoun	1,5	2,2	3,7
Ras el Aïn	Litani-frontière	Qaraaoun	1,9	2,3	4,2
Total					16,8
arrondi					17 Mm ³

Tableau 5

DEBIT EN TETE DE L'ADDUCTEUR A RESERVER POUR L'ALIMENTATION EN
EAU POTABLE DU SUD DU LIBAN

Office	Région	Point de réalimentation	Débit 24 h/ 24
Jabal Aamel	Marj-Hasbaïya Litani-frontière	Marjayoun	170 l/s
		Taïbé	150 l/s
		Markabé	60 l/s
		Bent Jbail/Chaqra	43 l/s 1 ^{er} étage
			127 l/s 2 ^e étage
Ras el Aïn	Litani-frontière	Kafra	186 l/s
Total			736 l/s

Tableau 6

TABLEAU RECAPITULATIF DES VALEURS DE BASE UTILISEES
POUR LE CALIBRAGE DU CANAL

Région	Besoins unitaires l/s/ha	Volumes annuels transités Mm ³	Débit unitaire l/s/ha	Débit fictif continu à la pointe décadaire du mois de pointe m ³ /s
Sud-Litani	6 600	89	0,66	8,9
Nabatiyé	7 000	11	0,69	1,1
Eau potable		17		0,7
Total		117		10,7

Tableau 7

ADDUCTEUR QARAAOUN-LIBAN SUD: CARACTERISTIQUES GENERALES

Cote de la prise	m	800
Cote d'arrivée du canal-maitre	m	718
Perte de charge totale sur le canal-maitre	m	82
Longueur du canal-maitre	km	55,785
Longueur des branches secondaires	km	55,580
Longueur totale de l'adducteur Qaraaoun-Liban Sud	km	111,365
Surface totale irriguée	ha	15 085
dont (Sud-Litani	ha	(13 485)
(Nabatiyé	ha	(1 600)
Besoins annuels en eau pour l'irrigation mobilisés en tête de l'adducteur	m ³ /ha/an	6 600 Alt (400-800) 7 000 Alt (400-600)
Volume transité annuellement pour les irrigations	Mm ³	100
dont (irrigation Sud-Litani	Mm ³	(89)
(irrigation Nabatiyé	Mm ³	(11)
Volume d'eau potable transité annuellement	Mm ³	(17)
Volume total transité annuellement (irrigations + EP)	Mm ³	117
Cote des plus hautes terres dominées après pompage à Bent Jbaïl	m	894
Pourcentage des terres dominées gravitairement	%	76
Volume d'eau repompé	Mm ³	30,96
Puissance totale des stations de pompage	kW	4 541
Hauteur moyenne de refoulement	m	83

Tableau 8

DEBIT D'EQUIPEMENT (A LA PRISE) DE L'ADDUCTEUR QARAAOUN-LIBAN SUD

Besoins en eau pour l'irrigation pendant les 10 jours de pointe du mois de pointe	l/s/ha	0,66 Alt (400-800) 0,69 Alt (400-600)
Débit fictif continu 24 h/24 pour l'irrigation de 15 085 ha en tête des ouvrages de transport d'eau	m ³ /s	9,98 (1)
Débit de pointe 18 h/24 pour l'irrigation de 15 085 ha	m ³ /s	13,30 (2)
Débit fictif continu 24 h/24 pour l'alimentation en eau potable pendant le mois de pointe	m ³ /s	0,735 (3)
Fourchette de calibrage du canal	m ³ /s	14 / 10,7 (2) * (3) / (1) * (3)
Débit d'équipement à la prise du canal	m ³ /s	11,7
(débit transité 18 h/24 pour l'irrigation	m ³ /s	(4,2)
dont (débit transité 24 h/24 pour l'irrigation	m ³ /s	(6,8)
(débit transité 24 h/24 pour eau potable	m ³ /s	(0,7)
Volume des réserves de modulation 24 h/24 à 18 h/24 à débit maximal	m ³	148 000
Mode de régulation		
- tête morte		Commande amont
- système en charge Marjayoun-Markabé		Commande aval

* Pour ne pas surdimensionner le tronçon amont Marjayoun-Markabé de l'adducteur Qaraaoun-Liban Sud constitué en partie de conduites acier sous forte charge, seuls les périmètres situés en tête de ce tronçon ont été alimentés 18 h/24. Il s'agit des périmètres de Marjayoun Sud - Nabatiyé et Taïbé totalisant 4 796 ha. Le débit nécessaire aux périmètres situés plus au sud est transité 24 h/24 et stocké pendant 6 heures en aval de l'adducteur.

Tableau 9

CARACTERISTIQUES ET COUT DES OUVRAGES PRINCIPAUX DE
L'ADDUCTEUR QARAAOUN-LIBAN SUD

(Evaluation Juillet 1973)

		Millions de LL
Ouvrages de prise	475 m	4,44
Galeries	8 660 m	12,16
Canaux	13 250 m	13,34
Conduites et siphons	33 400 m	58,09
dont (amiante ciment		(23,06)
(acier		(35,03)
Ouvrages de régulation et prises	nb. 8	5,90
Brise-charge	nb. 5	4,45
Automatismes		7,00
Branches secondaires	55 580 m	13,38
Stations de pompage canal-maître	nb. 1 puissance en kW 238	0,62
Stations de pompage branches secondaires	nb. 6 puissance en kW 4 303	5,17
Total	111,365 km	123,74

Tableau 10

CONSEQUENCES SUR LE PLAN ENERGETIQUE DES PRELEVEMENTS
D'EAU POUR L'IRRIGATION

PUISSANCE	Puissance des équipements thermiques (puissance de remplacement) destinés à alimenter les stations de pompage pendant la pointe du réseau électrique	kW	4 541
	Perte de puissance en pointe des usines hydro-électriques du Litani due aux prélèvements pour les irrigations	kW	0
ENERGIE	Energie consommée par les stations de pompage (pointe et hors pointe)	GWh/an	12,8
	Pertes de production d'énergie des usines hydro-électriques du Litani dues aux prélèvements pour les irrigations - hors pointe	GWh/an	192,2

Tableau 11

CONSTRUCTION DE L'ADDUCTEUR QARAACUN-LIBAN SUD
RECAPITULATION DES INVESTISSEMENTS

(Evaluation Juillet 1973)

	Millions de LL
Coût du canal-maitre	105,19
dont (1 ^{er} investissement	(77,11)
(investissements différés	(28,08)
Coût des branches secondaires	18,55
Coût des équipements thermiques pour remplacement de la puissance électrique absorbée par les stations de pompage pendant les heures de pointe	1,82
Total des investissements	125,56

Tableau 12

RECAPITULATION DES DEPENSES ANNUELLES DE FONCTIONNEMENT
DE L'ADDUCTEUR QARAAOUN-LIBAN SUD

(Evaluation Juillet 1973)

Coût annuel de maintenance	millions de LL	3,40
Coût annuel de l'énergie consommée par les stations de pompage		
- Energie consommée	GWh/an	(12,82)
- Coût	millions de LL	0,42
Coût annuel des pertes de production des usines hydro-électriques du Litani		
- énergie non produite	GWh/an	192,3
- manque à gagner	millions de LL	5,77
Total des dépenses annuelles de fonctionnement	millions de LL	9,59

Tableau 13

CALENDRIER DES IRRIGATIONS

Année	Superficie équipée (ha)	Superficie irriguée (ha)
1980	1 700	0
1984	8 500	5 100
1988	15 085	11 850
1992	15 085	15 085

Tableau 14

CALENDRIER DES TRAVAUX

(Estimation Juillet 1973)

Année	Tranches de travaux	Montant (millions de LL)
1976-79	1 ^{re} tranche - Qaraaoun-Taïbé	52,70
1979-81	2 ^e tranche - Taïbé-Chaqra	24,41
1981-86	Branches secondaires	18,55
1985-87	Equipements différés doublement des conduites et des siphons sur le canal-maître	28,08
	Total	123,74

Tableau 15COUTS ACTUALISES SUR 50 ANS
(1'année 1976 = année 1)

(Estimation Juillet 1973)

Actualisation	0%	5%	10%
<u>Investissements</u>			
Canal-maître	105,19	81,78	65,99
Branches secondaires	18,55	12,42	8,50
Puissance de remplacement	1,82	1,07	0,65
Total investissements	125,56	95,27	75,14
<u>Dépenses annuelles de fonctionnement</u>			
Maintenance canal-maître	123,16	36,69	15,50
Maintenance branches secondaires	23,10	6,39	2,44
Energie de pompage	16,84	4,53	1,68
Perte de production des usines	234,71	64,01	24,29
Total dépenses de fonctionnement	397,81	111,62	43,91
Total général	523,37	206,89	119,05

Tableau 16

VALEURS DU POTENTIEL IRRIGABLE

	Ensembles II			Ensembles II + III		
	Zone côtière	Zone intérieure	Total	Zone côtière	Zone intérieure	Total
Aouali-Saitaniq	212	-	212	1 270	-	1 270
Saitaniq-Zahrani	348	1 682	2 030	348	3 117	3 465
Zahrani-Litani	2 041	7 017	9 058	2 169	14 276	16 445
Total	2 601	8 699	11 300	3 787	17 393	21 180

Tableau 17

VALEURS DU POTENTIEL IRRIGABLE REGION LITANI-ZAHRANI

Désignation des unités 1/	Répartition altimétrique des ensembles II				Total
	200/300	300/400	400/500	500/600	
E 424	-	169	105	-	274
D 423	-	-	42	158	200
E 322	-	-	2 522	721	3 243
E 323	95	984	270	-	1 349
E 321	443	721	101	-	1 265
F 326	27	519	-	-	546
F 225	42	39	-	-	81
F 224	-	59	-	-	59
Total	607	2 491	3 040	879	7 017

Tableau 18

VALEURS DU POTENTIEL IRRIGABLE REGION ZAHRANI-SAITANIQ

Désignation des unités 1/	Répartition altimétrique des ensembles II					Total
	au-dessous de 200 m	200/300	300/400	400/500	500/600	
G 328	70	-	-	-	-	70
G 326	-	56	102	-	-	158
F 323	-	12	61	-	-	73
F 327	-	-	526	461	86	1 073
F 328	-	-	60	51	-	111
G 329	-	-	70	20	-	90
G 3 210	-	-	-	95	12	107
Total	70	68	819	627	98	1 682

1/ Les unités auxquelles il est fait référence sont repérées sur la figure 29.

Tableau 19

SCHEMA D'ALLOCATION DES EAUX PAR REGION

	Interfleuve Litani-Zahrani	Interfleuve Zahrani-Saitaniq	Interfleuve Saitaniq-Aouali
Irrigation	37 Mm ³	12 Mm ²	9 Mm ³
Eau potable	5 Mm ³		
Total	42 Mm ³	12 Mm ²	9 Mm ³

Tableau 20

SURFACES IRRIGUEES DANS LA REGION LITANI-ZAHRANI
(Par tranche d'altitude)

Origine des eaux	Désignation des unités	Répartition altimétrique des surfaces irriguées				Total
		200/300	300/400	400/500	500/600	
Qaraaoun	E 424	-	169/127	105/79	-	274/206
	D 423	-	-	42/32	158/119	200/151
	E 322			*905/679	721/541	1626/1220
					Total 1	2100/1577
Khardalé ou Bisri	E 322			*1617/1213		1617/1213
	E 323	95/71	984/738	270/203	-	1349/1012
	E 321	443/332	721/541	101/76	-	1265/949
	F 326	27/20	519/389	-	-	546/409
	F 225	42/32	32/29	-	-	81/61
	F 224	-	59/44	-	-	59/44
				Total 2	4917/3688	
				Total général 1 + 2	7017/5265	

* 905 + 1 617 = 2 522 report tableau 17 ligne correspondant à E 322

NOTA: Dans chaque case le premier chiffre indique le potentiel irrigable compris dans les ensembles II de chaque unité, le deuxième chiffre la surface irriguée dans chaque unité après répartition des eaux suivant le plan d'allocation proposé.

Tableau 21

REPARTITION DES EAUX ALLOUEES A LA REGION LITANI-ZAHRANI

Origine des eaux: Qaraaoun

Origine des eaux	Désignation des unités	Répartition des volumes d'eau alloués - Mm ³				Total
		200/300	300/400	400/500	500/600	
Qaraaoun	E 424		0,9	0,5	-	1,4
	D 423			0,2	0,8	1,0
	E 322			4,8	3,8	8,6
	Total					11,0

Tableau 22

REPARTITION DES EAUX ALLOUEES A LA REGION LITANI-ZAHRANI

Origine des eaux: Khardalé ou Bisri

Désignation des unités	Répartition des volumes d'eau alloués Mm ³					Total
	100/200	200/300	300/400	400/500	500/600	
E 322	-	-	-	8,7	-	8,7
E 323	-	0,5	5,2	1,4	-	7,1
E 321	-	2,3	3,9	0,5	-	6,7
F 326	-	0,1	2,7	-	-	2,8
F 225	-	0,2	0,2	-	-	0,4
F 224	-	-	0,3	-	-	0,3
Total						26

Tableau 23

REPARTITION DES EAUX ALLOUEES A LA REGION ZAHRANI-SAITANIQ

Origine des eaux: Khardalé ou Bisri

Désignation des unités	Répartition des volumes d'eau alloués Mm ³					Total
	100/200	200/300	300/400	400/500	500/600	
G 328	0,5	-	-	-	-	0,5
G 326	-	0,4	0,7	-	-	1,1
F 323	-	0,1	0,4	-	-	0,5
F 327	-	-	3,8	3,3	0,6	7,7
F 328	-	-	0,4	0,4	-	0,8
G 329	-	-	0,5	0,1	-	0,6
G 3210	-	-	-	0,7	0,1	0,8
Total						12

Tableau 24

PREVISIONS CONCERNANT LES DEBITS DE POINTE: REGION LITANI-ZAHRANI

Origine des eaux: Khardalé ou Bisri

Désignation des unités	Débits de pointe en tête de chaque unité m ³ /s					Total
	100/200	200/300	300/400	400/500	500/600	
E 322	-	-	-	1,1	-	1,1
E 323	-	0,06	0,66	0,18	-	0,90
E 321	-	0,30	0,50	0,06	-	0,86
F 326	-	0,02	0,35	-	-	0,37
F 225	-	0,03	0,02	-	-	0,05
F 224	-	-	0,04	-	-	0,04
					Total	3,32

Tableau 25

PREVISIONS CONCERNANT LES DEBITS DE POINTE: REGION ZAHRANI-SAITANIQ

Origine des eaux: Khardalé ou Bisri

Désignation des unités	Débits de pointe en tête de chaque unité m ³ /s					Total
	100/200	200/300	300/400	400/500	500/600	
G 328	0,06	-	-	-	-	0,06
G 326	-	0,05	0,09	-	-	0,14
F 323	-	0,01	0,05	-	-	0,06
F 327	-	-	0,49	0,42	0,08	0,99
F 328	-	-	0,05	0,05	-	0,10
G 329	-	-	0,06	0,02	-	0,08
G 3210	-	-	-	0,09	0,01	0,10
					Total	1,53

Tableau 26

CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DE L'ADDUCTEUR KHARDALE-SAITANIQ
(cote 475)

Région desservie Saitaniq-Litani - Origine des eaux Khardalé
Adducteur à la cote 475

I. Stations de pompage

N° SdP	Volume (Mm ³ /an)	H (m)	Q (m ³ /s)	Cons.énerg. (GWh/an)	Coût énerg. (millions de LL/an)	Puiss.inst. (kW)	Coût SP (millions de LL)
SP 1	43,0	210	5,25	36,12	1,192	15 435	7,7
SP 2	8,7	68	1,11	2,37	0,078	1 057	1,0
SP 3	5,0	87	0,40	1,74	0,057	499	0,8
SP 4	6,8	8	0,87	0,22	0,007	97	0,3
SP 5	3,9	155	0,50	2,42	0,080	1 085	1,1
SP 6	5,4	22	0,69	0,48	0,016	213	0,4
SP 7	1,4	135	0,18	0,76	0,025	340	0,5
Total				44,11	1,455	18 726	11,8

II. Conduites

N° Conduite	Press. Max. (m d'eau)	L (m)	Q (m ³ /s)	Prix unit. (LL/m)	Coût (millions de LL)
C 1	inf 90	2 500	3,22	560	1,40
C 2	"	8 000	2,82	500	4,00
C 3	"	4 250	1,95	340	1,45
C 4	"	2 500	1,53	260	0,65
C 5	"	2 300	1,43	250	0,58
C 6	"	2 000	0,93	180	0,36
C 7	"	5 500	0,24	80	0,44
C 8	"	1 300	0,06	40	0,05
C 9	"	8 000	2,00	350	2,80
C 10	"	7 500	0,92	150	1,13
C 11	"	1 500	0,42	100	0,15
C 12	"	1 500	0,10	60	0,09
C 13	"	3 000	0,20	70	0,21
C 14	"	2 500	0,06	40	0,10
CR 1	210	2 000	5,25	1 450	2,90
CR 2	inf 90	1 300	1,11	210	0,27
CR 3	"	1 750	0,40	100	0,18
CR 4	"	3 300	0,87	140	0,46
CR 5	155	1 750	0,50	160	0,28
CR 6	inf 90	750	0,69	110	0,08
CR 7	135	2 800	0,18	100	0,28
Total					15,06

III. Galerie

G1. Longueur 1 600 m - D = 2,40 m - P.U. 1 100 LL/m - Coût 1,76 million de LL.

Tableau 27

CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DE L'ADDUCTEUR KHARDALE-SAITANIQ
(cote 400)

Région desservie Saitaniq-Litani - Origine des eaux Khardalé
Adducteur à la cote 400

I. Stations de pompage

N° SdP	Volume (Mm ³ /an)	H (m)	Q (m ³ /s)	Cons.énerg. (GWh/an)	Coût énerg. (millions de LL/an)	Puiss.inst. (kW)	Coût SP (millions de LL)
SP 1	29,3	139	3,74	16,29	0,538	7 278	3,6
SP 2	13,7	279	1,51	15,29	0,505	5 898	2,9
SP 3	5,0	42	0,40	0,84	0,028	235	0,4
SP 4	7,2	25	0,92	0,72	0,024	322	0,5
SP 5	6,8	86	0,87	2,34	0,077	1 047	1,0
SP 6	3,3	68	0,42	0,90	0,030	400	0,6
SP 7	0,8	99	0,10	0,32	0,011	139	0,3
SP 8	0,5	33	0,06	0,07	0,002	28	0,1
SP 9	9,1	126	1,17	4,59	0,151	2 064	1,5
SP 10	1,1	75	0,14	0,33	0,011	147	0,3
SP 11	1,4	125	0,18	0,70	0,023	315	0,5
SP 12	3,9	150	0,50	2,34	0,077	1 050	1,0
Total				44,73	1,477	18 923	12,7

II. Conduites

N° Conduite	Press. Max. (d'eau)	L (m)	Q (m ³ /s)	Prix unit. (LL/m)	Coût (millions de LL)
C 1	inf 90	4 000	3,74	650	2,60
C 2	" "	11 000	2,82	500	5,50
C 3	" "	5 500	1,95	340	1,87
C 4	" "	3 800	1,53	260	0,99
C 5	" "	4 250	1,43	250	1,06
C 6	" "	1 750	1,37	230	0,40
C 7	" "	3 200	0,06	40	0,13
CR 1	139	2 000	3,74	750	1,50
CR 2	279	3 500	1,51	630	2,21
CR 3	inf 90	4 500	0,40	100	0,45
CR 4	" "	500	0,87	150	0,08
CR 5	" "	1 800	0,42	100	0,18
CR 6	99	4 000	0,10	100	0,40
CR 7	inf 90	800	0,06	40	0,03
CR 8	126	3 500	1,17	250	0,88
CR 9	150	2 750	0,50	275	0,76
CR 10	125	5 000	0,18	120	0,60
CR 11	inf 90	750	0,14	60	0,05
Total					14,05

III. Galeries

- G1. Longueur 5 500 m - D = 2,40 m - P.U. 1 100 LL/m - Coût 6,05 millions de LL.
G2. Longueur 800 m - D = 2,40 m - P.U. 1 100 LL/m - Coût 0,88 million de LL.

Tableau 28

CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DE L'ADDUCTEUR KHARDALE-SAÏTANIQ
(cote 300)

Région desservie Saïtaniq-Litani - Origine des eaux Khardalé
Adducteur à la cote 300

I. Stations de pompage

N° SdP	Volume (Mm ³ /an)	H (m)	Q (m ³ /s)	Cons.énerg. (GWh/an)	Coût énerg. (millions de LL/an)	Puiss.inst. (kW)	Coût SP (millions de LL)
SP 1	29,3	30	3,74	3,52	0,116	1 571	1,2
SP 2	13,7	279	1,51	15,29	0,505	5 898	2,9
SP 3	5,0	42	0,40	0,84	0,028	235	0,4
SP 4	7,2	164	0,92	4,72	0,156	2 112	1,5
SP 5	6,8	194	0,87	5,28	0,174	2 362	1,7
SP 6	3,3	199	0,42	2,63	0,087	1 170	1,1
SP 7	11,5	182	1,47	8,37	0,276	3 746	2,0
SP 8	9,9	66	1,27	2,61	0,086	1 173	1,1
SP 9	1,4	125	0,18	0,70	0,023	315	0,5
SP 10	3,9	150	0,50	2,34	0,077	1 050	1,0
SP 11	35,0	22	2,00	3,08	0,102	616	0,7
SP 12	0,5	80	0,06	0,16	0,005	67	0,2
Total				46,46	1,533	19 699	13,6

II. Conduites

N° Conduite	Press. max. (m d'eau)	L (m)	Q (m ³ /s)	Prix unit. (LL/m)	Coût (millions de LL)
C 2	inf 90	9 000	2,82	500	4,50
C 3	" "	11 500	1,95	340	3,91
C 4	" "	8 000	1,53	260	2,08
C 5	" "	3 500	0,06	40	0,14
C 6	" "	9 000	2,00	350	3,15
C 7	" "	2 500	0,06	40	0,10
C 8	" "	4 250	0,10	60	0,26
C 9	" "	4 000	0,06	40	0,16
CR 1	" "	1 500	1,51	250	0,38
CR 1a	279	2 000	1,51	630	1,26
CR 2	inf 90	4 500	0,40	100	0,45
CR 3	164	3 500	0,92	275	0,96
CR 4	222	4 000	0,87	415	1,66
CR 5	199	4 700	0,42	145	0,68
CR 6	182	4 500	1,47	530	2,39
CR 7	inf 90	3 200	1,27	210	0,67
CR 8	125	5 000	0,18	120	0,60
CR 9	150	2 750	0,50	275	0,76
Total					35,09

CR: Conduite de refoulement

III. Galerie

Longueur 12,600 m - D 2,40 m - P.U. 1 100 LL/m - Coût 13,86 millions de LL.

Tableau 29

CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DE L'ADDUCTEUR BISRI-NABATIYE
(cote 600)

Région desservie Saïtaniq-Litani - Origine des eaux Bisri
Adducteur à la cote 600

I. Station de pompage

Volume (Mm ³ /an)	H (m)	Q (m ³ /s)	Cons.énerg. (GWh/an)	Coût énerg. (millions de LL/an)	Puiss.inst. (kW)	Coût SP (millions de LL)
43	222	5,25	38,18	1,26	16 317	7,9

II. Conduites

N° Conduite	Press. max. (m d'eau)	L (m)	Q (m ³ /s)	Prix unit. (LL/m)	Coût (millions de LL)
Co 1	225	7 800	5,25	1 015	7,92
Co 2	200	5 100	5,01	980	5,00
Co 3	120	2 800	3,74	740	2,07
Co 4	180	8 900	3,31	670	5,96
Co 5	inf 90	3 000	1,11	220	0,66
Co 6	105	2 400	2,20	480	1,15
Co 7	inf 90	3 000	1,11	220	0,66
Co 8	170	7 400	0,87	310	2,29
Co 9	250	6 400	0,43	175	1,12
Co 10	150	2 100	1,27	295	0,62
Co 11	200	3 200	0,10	60	0,19
Co 12	180	2 700	0,68	240	0,65
Co 13	120	3 000	0,20	70	0,21
Co 14	105	2 500	0,06	40	0,10
CR 01	222	2 700	5,25	1 500	4,05
Total					33,07

Tableau 30

CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DE L'ADDUCTEUR KHARDALE-ZAHRANI
(cote 475)

Région desservie Litani-Zahrani - Origine des eaux Khardalé
Adducteur à la cote 475

I. Stations de pompage

N° SdP	Volume (Mm ³ /an)	H (m)	Q (m ³ /s)	Cons. énerg. (GWh/an)	Coût énerg. (millions de LL/an)	Puiss.inst. (kW)	Coût SP (millions de LL)
SP 1	31,0	210	3,74	26,04	0,860	10 996	5,50
SP 2	8,7	68	1,11	2,37	0,078	1 057	1,00
SP 3	5,0	87	0,40	1,74	0,057	499	0,80
SP 4	6,8	8	0,87	0,22	0,007	97	0,30
Total				30,37	1,002	12 659	7,60

II. Conduites

N° Conduite	Press. max. (m d'eau)	L (m)	Q (m ³ /s)	Prix unitaire (LL/m)	Coût (millions de LL)
C 1	inf 90	2 500	1,69	300	0,75
C 2	"	8 000	1,29	230	1,84
C 3	"	4 250	0,42	100	0,43
C 10	"	7 500	0,92	150	1,13
C 11	"	1 500	0,42	100	0,15
CR 1	210	2 000	3,74	940	1,88
CR 2	inf 90	1 300	1,11	210	0,27
CR 3	"	1 750	0,40	100	0,18
CR 4	"	3 300	0,87	140	0,46
Total					7,09

III. Galerie

G1 - longueur 1 600 m - D 2,40 m - P.U. 1 100 LL/m - Coût 1,76 million de LL.

Tableau 31

CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DE L'ADDUCTEUR KHARDALE-ZAHRANI
(cote 400)

Région desservie Litani-Zahrani - Origine des eaux Khardalé
Adducteur à la cote 400

I. Stations de pompage

N° SdP	Volume (Mm ³ /an)	H (m)	Q (m ³ /s)	Cons.énerg. (GWh/an)	Coût énerg. (millions de LL/an)	Puiss.inst. (kW)	Coût SP (millions de LL)
SP 1	17,3	136	2,21	9,41	0,311	4 208	2,10
SP 2	13,7	279	1,51	15,29	0,505	5 898	2,90
SP 3	5,0	42	0,40	0,84	0,028	235	0,40
SP 4	7,2	25	0,92	0,72	0,024	322	0,50
SP 5	6,8	86	0,87	2,34	0,077	1 047	1,00
SP 6	3,3	68	0,42	0,90	0,030	400	0,60
Total				29,50	0,975	12 110	7,50

II. Conduites

N° Conduite	Press. max. (m d'eau)	L (m)	Q (m ³ /s)	Prix unit. (LL/m)	Coût (millions de LL)
C 1	inf 90	4 000	2,21	390	1,56
C 2	"	11 000	1,29	230	2,53
C 3	"	5 500	0,42	100	0,55
CR 1	136	2 000	2,21	580	1,16
CR 2	279	3 500	1,51	630	2,21
CR 3	inf 90	4 500	0,40	100	0,45
CR 4	"	500	0,87	150	0,08
CR 5	"	1 800	0,42	100	0,18
Total					8,72

III. Galerie

G1 - longueur 5 500 m - D 2,40 m - P.U. 1 100 LL/m - Coût 6,05 millions de LL.

Tableau 32

CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DE L'ADDUCTEUR ANANE-ZAHRANI
(cote 600)

Région desservie Saïtaniq-Zahrani - Origine des eaux Qaraacun
Adducteur à la cote 600 - prise dans le bassin de Anane

- Conduites

Co 1	225	7 800	1,51	345	2,69
Co 2	200	5 100	1,27	280	1,43
Co 10	120	2 800	1,27	295	0,62
Co 11	180	8 900	0,10	60	0,19
Co 12	inf 90	3 000	0,68	240	0,65
Co 13	105	2 400	0,20	70	0,21
Co 14	inf 90	4 900	0,06	40	0,10
Total					7,89

Tableau 33

EVALUATION DU COUT DE L'ADDUCTEUR KHARDALE-SRIFA

I. Stations de pompage

N° station	Volume (Mm ³ /an)	H (m)	Q (m ³ /s)	Cons.énerg. (GWh/an)	Coût énerg. (millions de LL/an)	Puiss.inst. (kW)	Coût SP (millions de LL)
SP 1	12,0	320	1,2	15,360	0,506	5 376	2,3
SP 2	12,0	90	1,2	4,320	0,143	1 512	1,2
			Total	19,680	0,649	6 888	3,5

II. Conduites

N° Conduite	Press. max. (m d'eau)	L (m)	Q (m ³ /s)	Prix unit. (LL/m)	Coût (millions de LL)
CR 1	320	1 500	1,2	450	0,67
C 1	inf 90	5 000	1,2	200	1,00
CR 2	"	1 000	1,2	250	0,25
Total					1,92

III. Barrage de prise sur le Litani: 0,800 million de LL

Tableau 34

COMPARAISON DES COUTS ACTUALISES ET DES DEPENSES DE FONCTIONNEMENT
DES ADDUCTEURS KHARDALE/SAITANIQ ET BISRI/NABATIYE

ORIGINE DES EAUX	BARRAGE DE KHARDALE			BARRAGE DE BISRI	
	ALTITUDE DE LA PRISE	cote 300	cote 400	cote 475	cote 600
CARACTERISTIQUES TECHNIQUES					
Longueur de l'adduction km	90,950	67,900	59,600	64,900	
dont - conduites	42,750	33,500	44,350	62,200	
- refoulements	35,600	28,100	13,650	2,700	
- galerie	12,600	6,300	1,600		
STATIONS DE POMPAGE					
Nombre	11	12	7	1	
Puissance installée kW	19 700	18 900	18 750	16 317	
Consommation d'énergie GWh/an	46,5	44,7	44,1	38,2	
INVESTISSEMENTS ET COUTS ANNUELS millions de LL					
INVESTISSEMENTS					
Galerie	13,9	6,9	1,8	-	
Stations de pompage	13,6	12,7	11,8	7,9	
Conduites	21,0	19,7	15,1	33,07	
T o t a l	48,5	39,3	28,7	40,97	
COUTS ANNUELS DE FONCTIONNEMENT millions de LL/an					
Maintenance	1,5	1,2	0,9	1,2	
Pompage	1,5	1,5	1,5	1,3	
T o t a l	3,0	2,7	2,4	2,5	
ACTUALISATION EN MILLIONS DE LL					
à 5%	Investissements	39	31	23	33
	Maintenance	20	16	12	16
	Pompage	17	17	17	14
	T o t a l	<u>76</u>	<u>64</u>	<u>52</u>	<u>63</u>
à 10%	Investissements	29	24	17	25
	Maintenance	9	7	5	7
	Pompage	6	6	6	5
	T o t a l	<u>44</u>	<u>37</u>	<u>28</u>	<u>37</u>

Tableau 35

COUT ACTUALISE ET DEPENSES DE FONCTIONNEMENT DU SYSTEME D'ADDUCTION
ANANE-ZAHRANI, KHARDALE-ZAHRANI ET KHARDALE-SRIFA

Systèmes d'adduction	Anane-Zahrani Khardalé-Zahrani cote 400 Khardalé-Srifa	Anane-Zahrani Khardalé-Zahrani cote 475 Khardalé-Srifa
<u>Caractéristiques techniques</u>		
Longueurs (en km)		
- conduites	60,4	63,7
- conduites de refoulement	14,8	10,9
- galeries	5,5	1,6
Barrage - seuil	1	1
Nombre de stations de pompage	8	6
Puissance installée (kW)	18 998	19 537
Consommation d'énergie (GWh/an)	49,18	50,05
Turbinage (GWh/an)	5,4	5,4
<u>Investissements et coûts annuels</u>		
<u>Investissements (en millions de LL)</u>		
- Barrage - seuil	0,8	0,8
- Galeries	6,05	1,76
- Stations de pompage	11,0	11,10
- Conduites	16,53	14,90
- Surdimensionnement Qaraaoun - Liban Sud et branche de Srifa	3,81	3,81
T o t a l	38,19	32,37
<u>Coûts annuels (en millions de LL)</u>		
- Maintenance	1,03	0,85
- Pompage	1,63	1,65
- Turbinage	- 0,16	- 0,16
T o t a l	2,50	2,34
<u>Actualisation en millions de LL</u>		
à 5% Investissements	30,5	25,9
Maintenance	13,4	11,0
Energie	16,1	16,4
T o t a l	<u>60,0</u>	<u>53,3</u>
à 10% Investissements	22,9	19,4
Maintenance	6,2	5,1
Energie	5,9	6,0
T o t a l	35,0	30,5

BIBLIOGRAPHIE

Documents établis par le groupe "Grands ouvrages"

- GO 006 Projets d'accumulation au Liban Sud
note de synthèse 1972
 - GO 007 Adducteur principal Qaraaoun-Liban Sud
Etude comparative des tracés
Rapport Avril 1973
 - GO 108 Alimentation en eau potable et industrielle
du Liban Sud
Réseau actuel et évolution des besoins
1^{re} partie 1973
2^e partie 1973
3^e partie 1973
 - GO 109 Caractéristiques techniques de l'adducteur
Qaraaoun-Liban Sud. Propositions Avril 1974
- Pièces écrites:
- 1^{re} partie - note de présentation
 - 2^e partie - rapport technique
- Pièces dessinées:
- dossier 1 - Tracés, profils en long et
profils hydrauliques
 - dossier 2 - Plans des ouvrages de prise
et de régulation
 - dossier 3 - Tracés des branches secondaires
et des réseaux d'adduction
- GO 110 Etude préliminaire du canal de Joun-Sarafand 1974
 - GO 111 Barrage de Khardalé
note d'information Novembre 1974
 - GO 112 Barrage de Bisri et de Beit ed Dine
note d'information Mars 1975
 - GO 113 Barrage de Khardalé - Etudes préliminaires Janvier 1975
Volume 1 - Notes géologiques
Volume 2 - Notes techniques de projet
Appel d'offres pour le choix d'un ingénieur-
conseil.

Documents établis par le groupe "Hydrogéologie"

- HG 002 Le milieu physique du sud du Liban
Etude préliminaire Décembre 1972
- HG 113 Barrage de Khardalé - Synthèse géologique 1973
- HG 120 Etude géologique du site du barrage de Bisri Septembre 1974
- HG 124 Etude géologique du site du barrage de Semqaniyé Octobre 1974

Documents établis par le groupe "Irrigation"

- IR 10/73 Besoins en eau provisoires pour l'étude des
réseaux et des adducteurs Décembre 1973
- IR 33/75 Besoins en eau et normes d'irrigation Juillet 1975
- IR 101 Potentiel des sols irrigables Janvier 1974

Documents établis par des consultants

- Adducteur principal et barrage de Khardalé
Rapport de mission - M. Carlo Lotti 1973
- Etude des barrages de Khardalé, Bisri, Beit ed Dine
Rapport de mission - M. Chardonnet et M. Petiteville Mai 1974
- Les stations de pompage
Rapport de mission - M. Lièvre Novembre 1973
- Influence des prélèvements d'eau pour l'irrigation et
l'alimentation en eau potable sur la production électrique
et le plan d'équipement thermique du Liban
Rapport de mission - M. J. Lépine Mars 1974
- Influence du développement des prélèvements d'eau sur la
production électrique section "Hydrologie" Juin 1975

Documents généraux établis par le projet

- Propositions pour un plan d'aménagement hydraulique régional
 - Volume 1 Avril 1974
 - Volume 2 Avril 1974
 - Allocation des eaux Juillet 1975
 - Délimitation du périmètre cote 800 Août 1975

Missing figures in following
pgs are attached separately

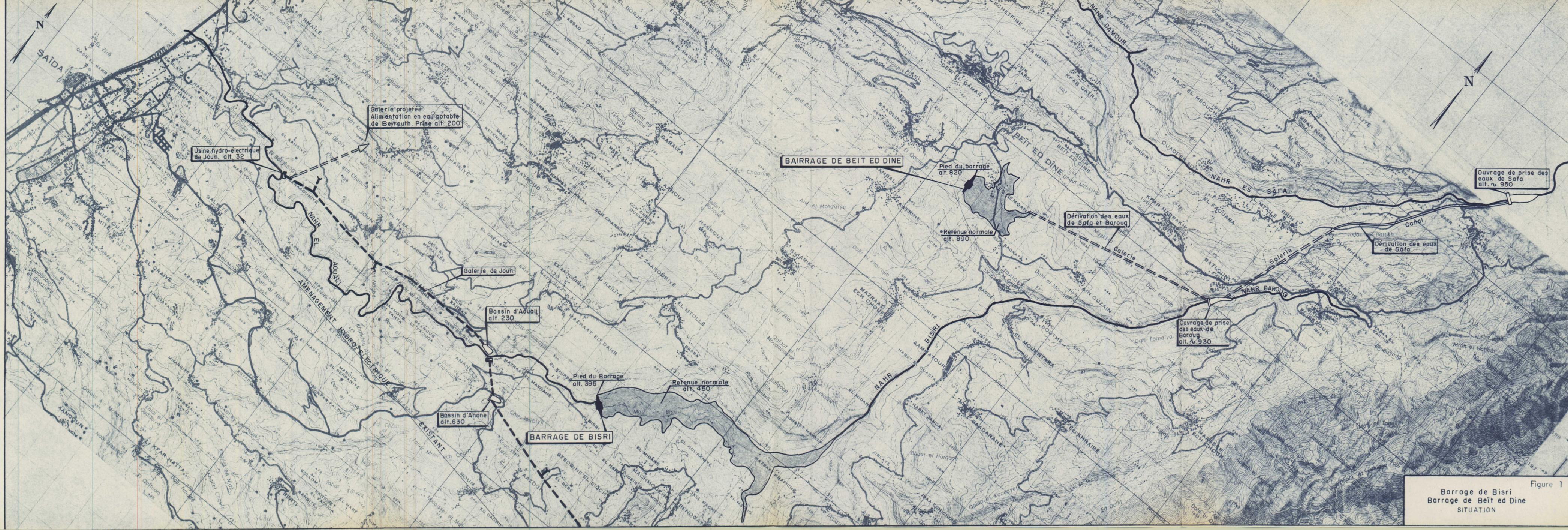
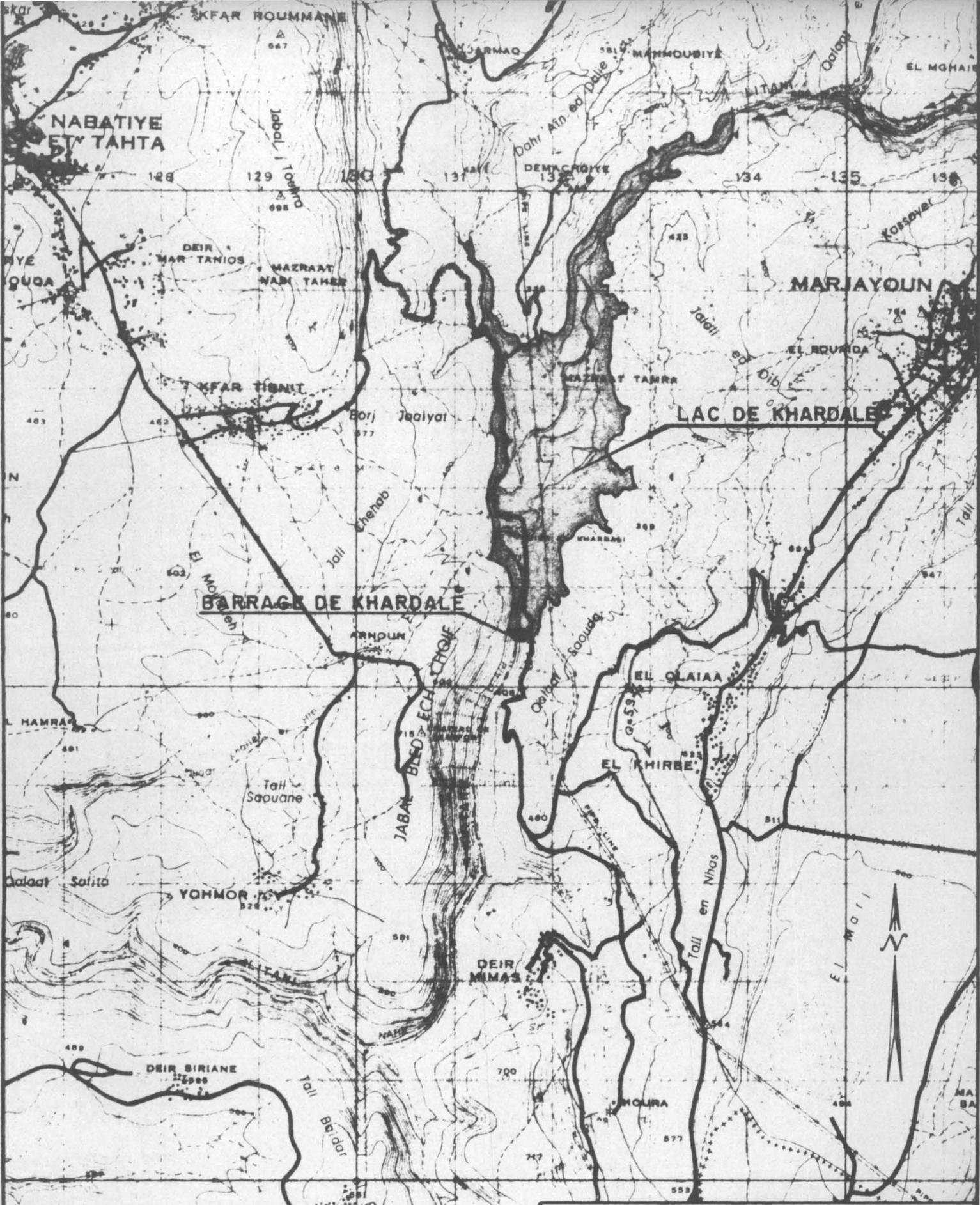


Figure 1
 Barrage de Bisri
 Barrage de Beit ed Dine
 SITUATION

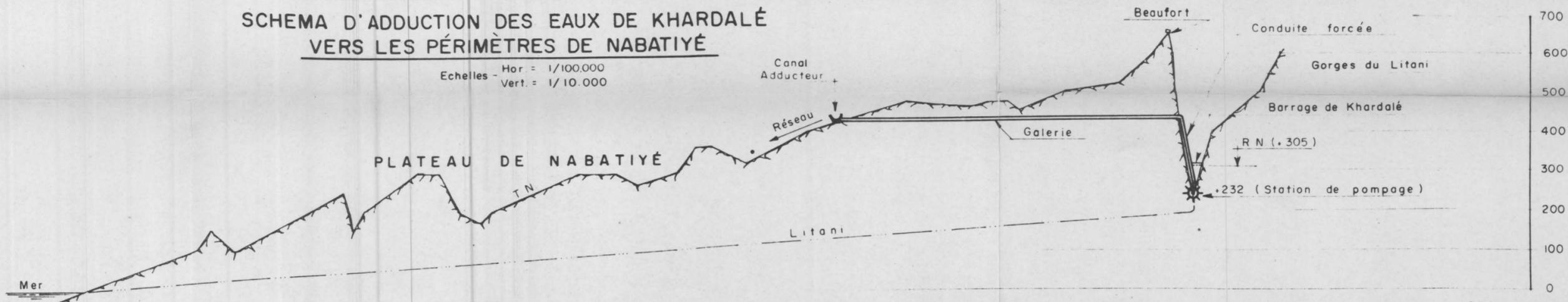


BARRAGE DE KHARDALE
Plan de Situation

Figure 2

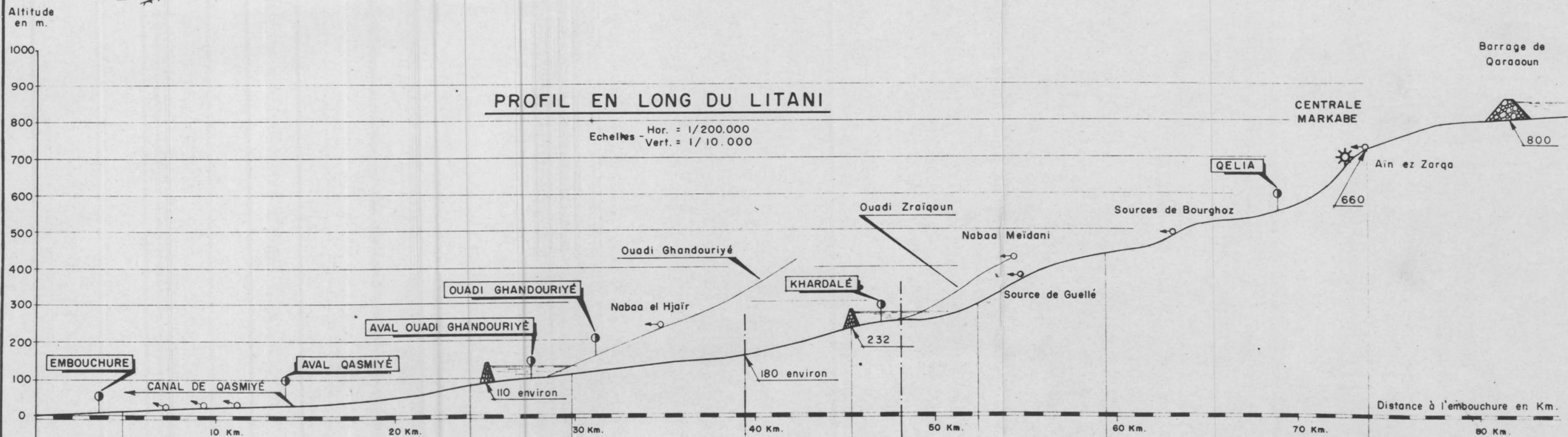
SCHEMA D'ADDUCTION DES EAUX DE KHARDALÉ VERS LES PÉRIMÈTRES DE NABATIYÉ

Echelles - Hor. = 1/100.000
Vert. = 1/10.000



PROFIL EN LONG DU LITANI

Echelles - Hor. = 1/200.000
Vert. = 1/10.000



EOCENE INF. QUATERNAIRE	TURONIEN - CENOMANIEN	EOCENE INF. SENONIEN	EOCENE MOYEN	CENOMANIEN TURONIEN	CRETACE INFÉRIEUR	JURASSIQUE	EOCENE MOYEN
Marnes-limons	Calcaires, dolomies	Marnes	Calcaires, Calcaires marneux	Calcaires	Grès-calcaires gréseux	Doomies, calcaires	Calcaires récifaux
Imperméable	Apports	Pertes	Apports	Pertes (?)	Pertes (?)	Apports	Apports

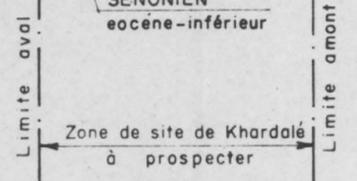
BARRAGE DE K FAR SIR

Imperméable

BARRAGE DE KHARDALÉ

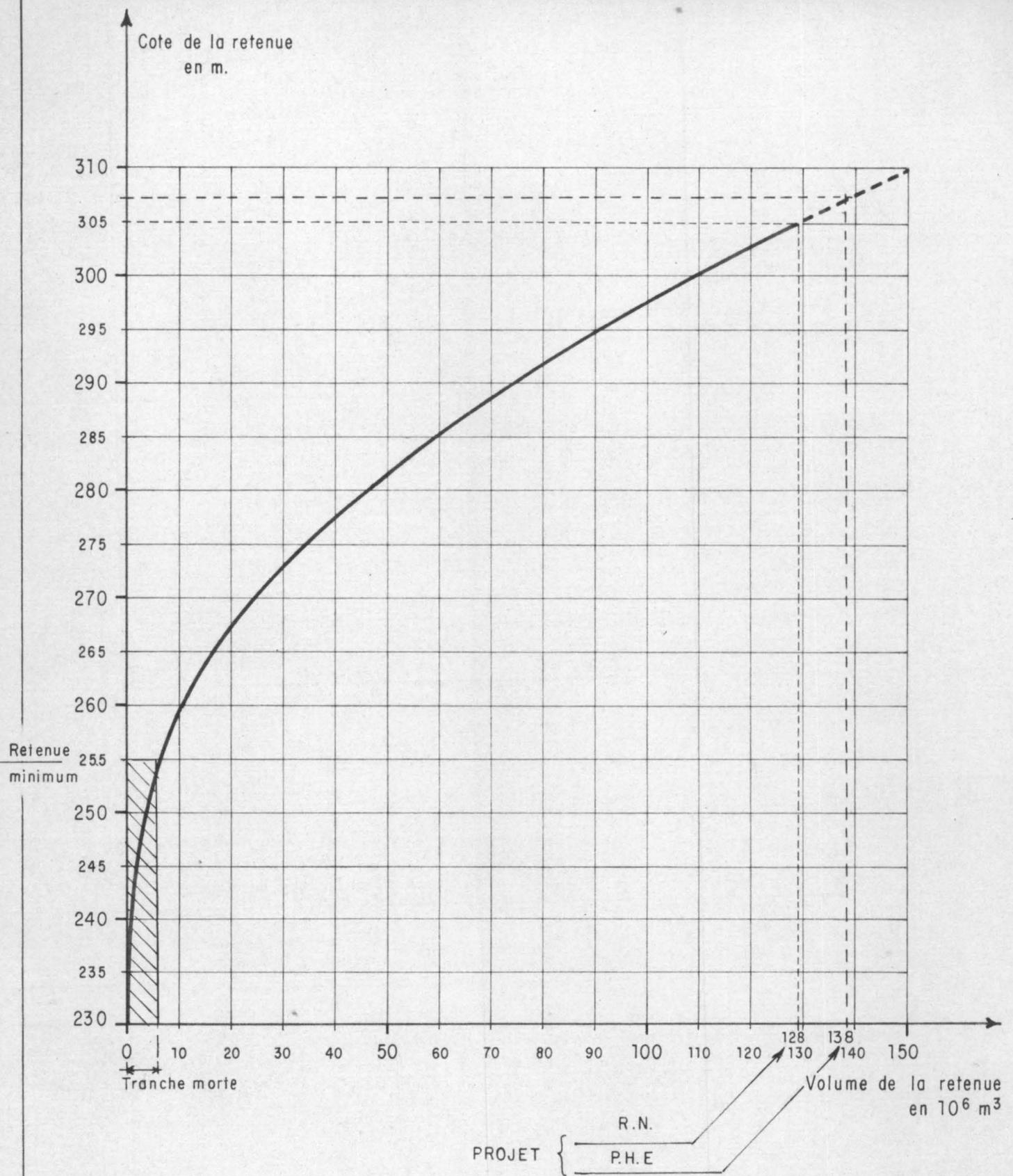
SENONIEN eocène-inférieur

- Station hydrométrique
- ⊙ Centrale hydro-électrique



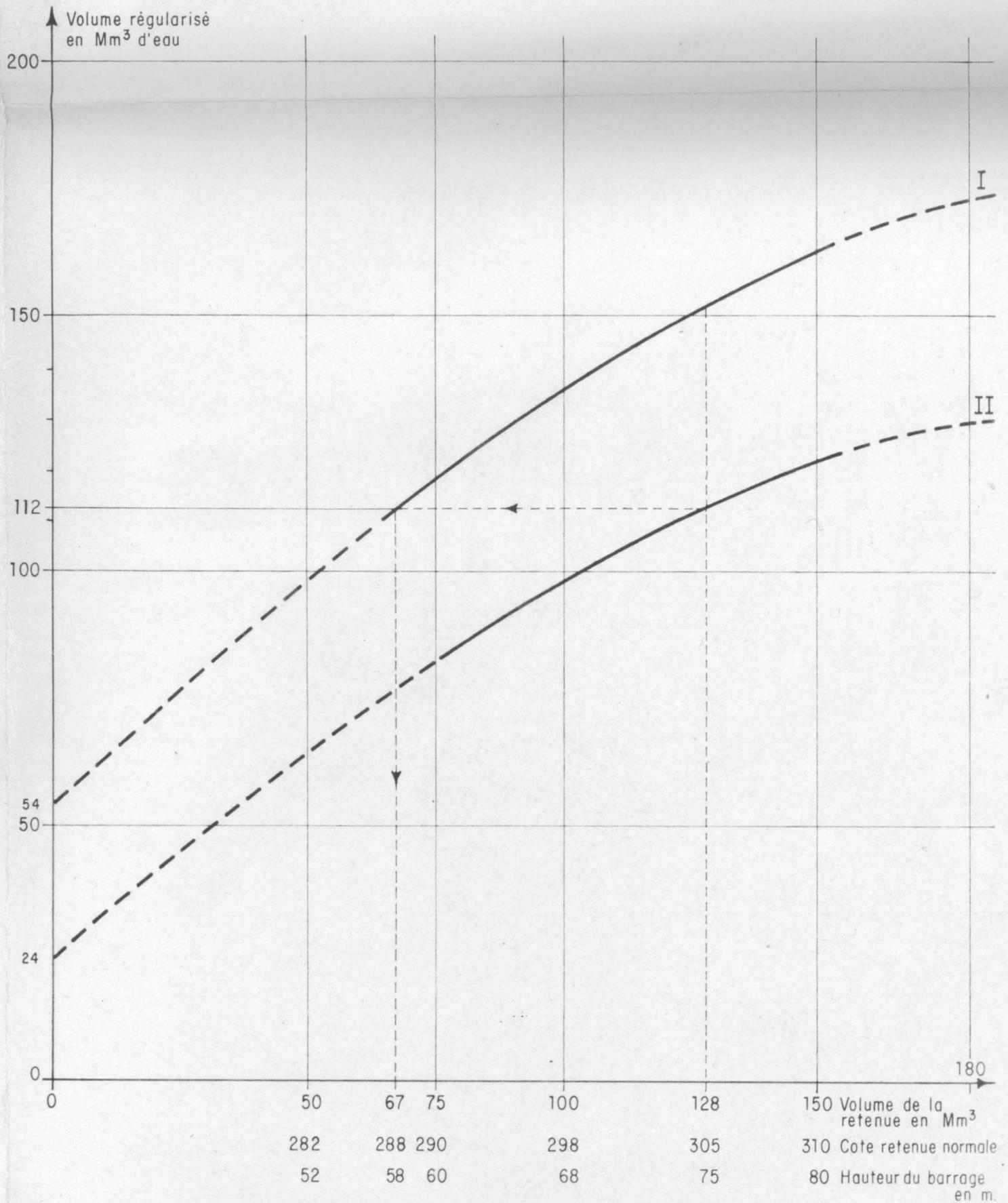
LE BARRAGE DE KHARDALÉ ET L'AMÉNAGEMENT DU LITANI AVAL

Figure 3



BARRAGE DE KHARDALE
 Courbe retenue-hauteur

Cette courbe est reproduite à partir
 du document référencé Kh-D-121
 établi pour les besoins du dossier
 APS Khardalé - Décembre 1968.-



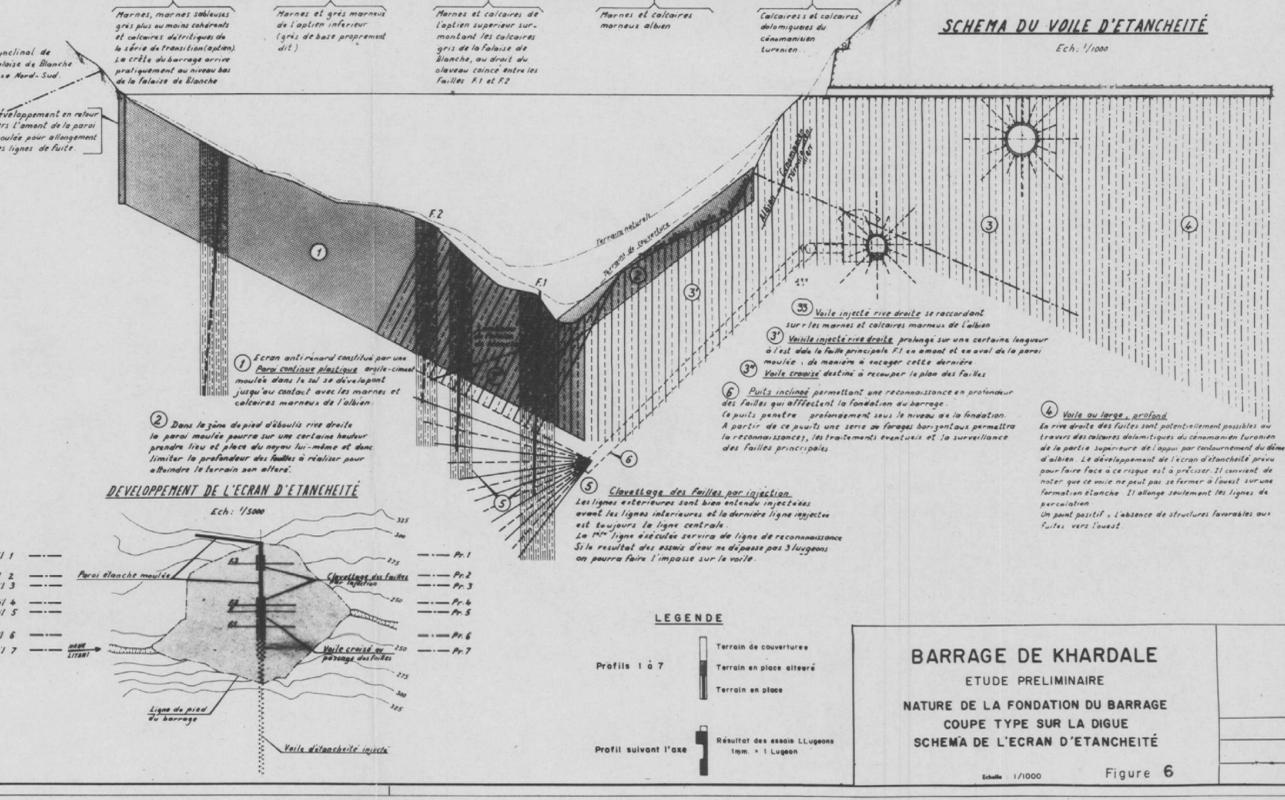
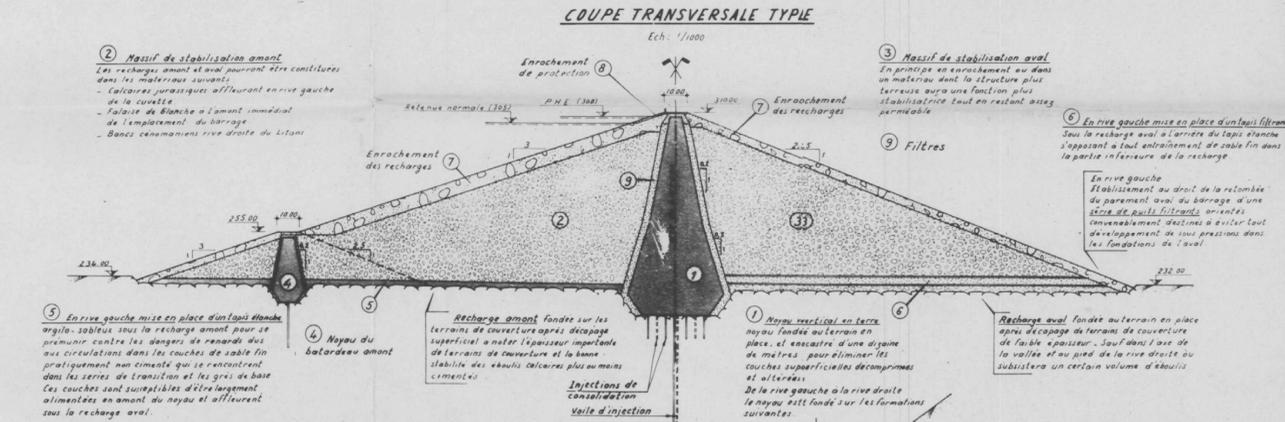
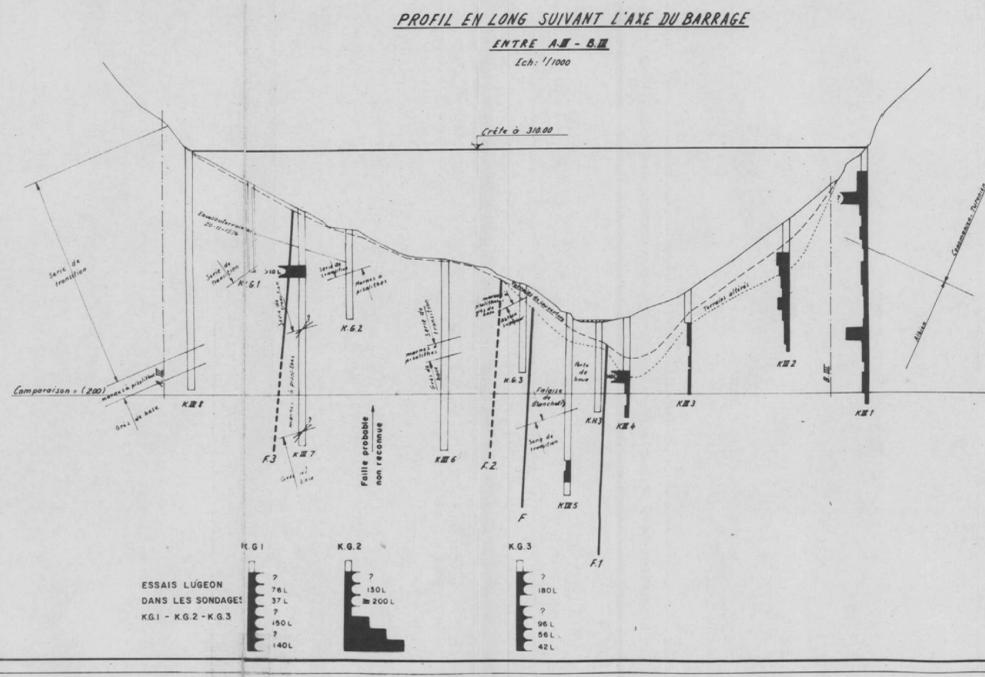
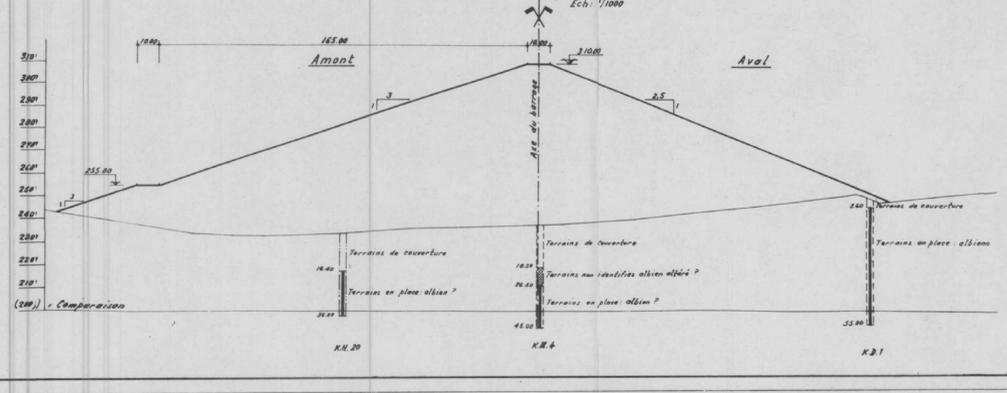
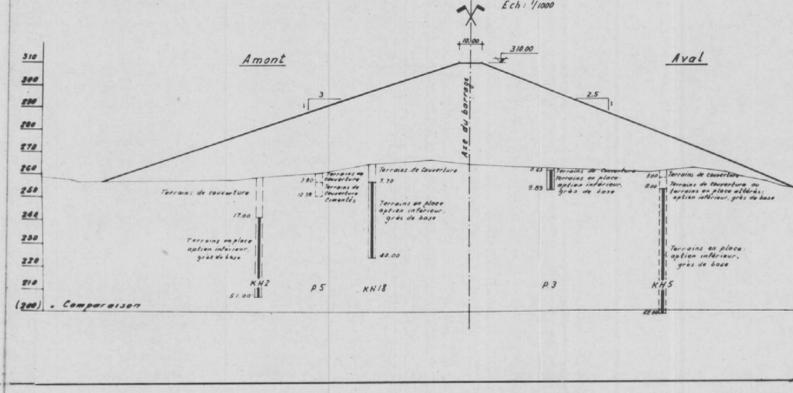
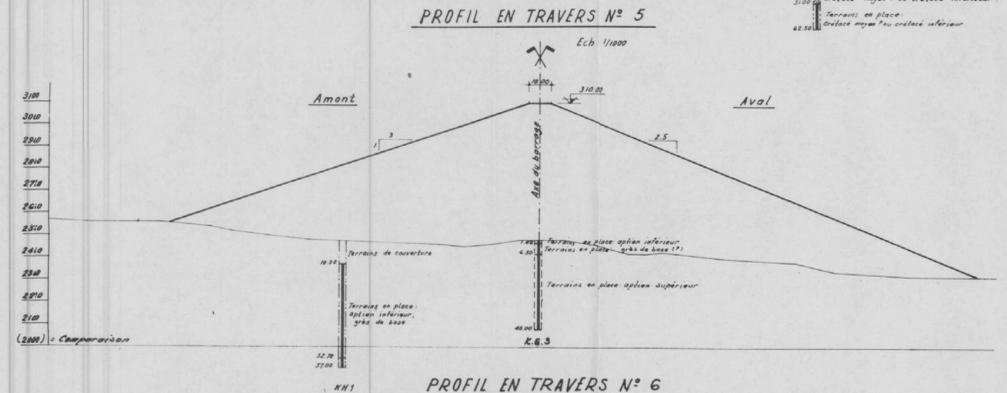
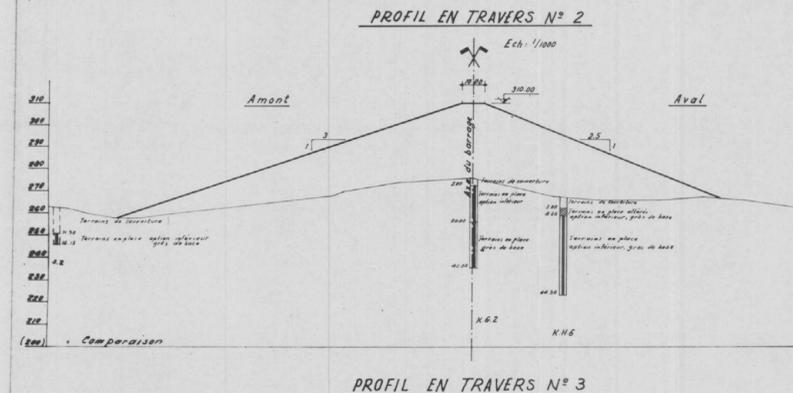
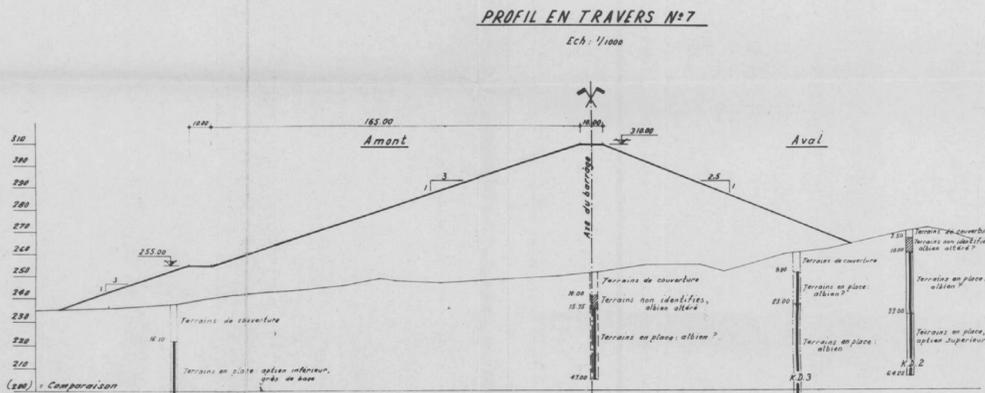
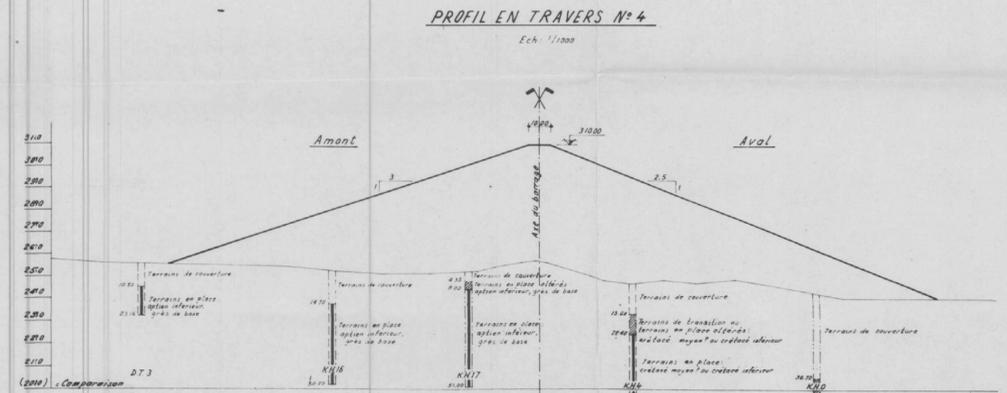
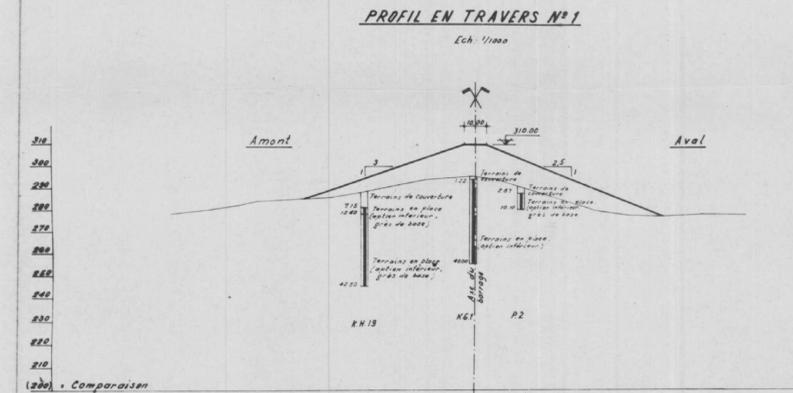
Régularisation des eaux du BV intermédiaire, entre Qaraaoun et Khardalé, par le barrage-réservoir de Khardalé.

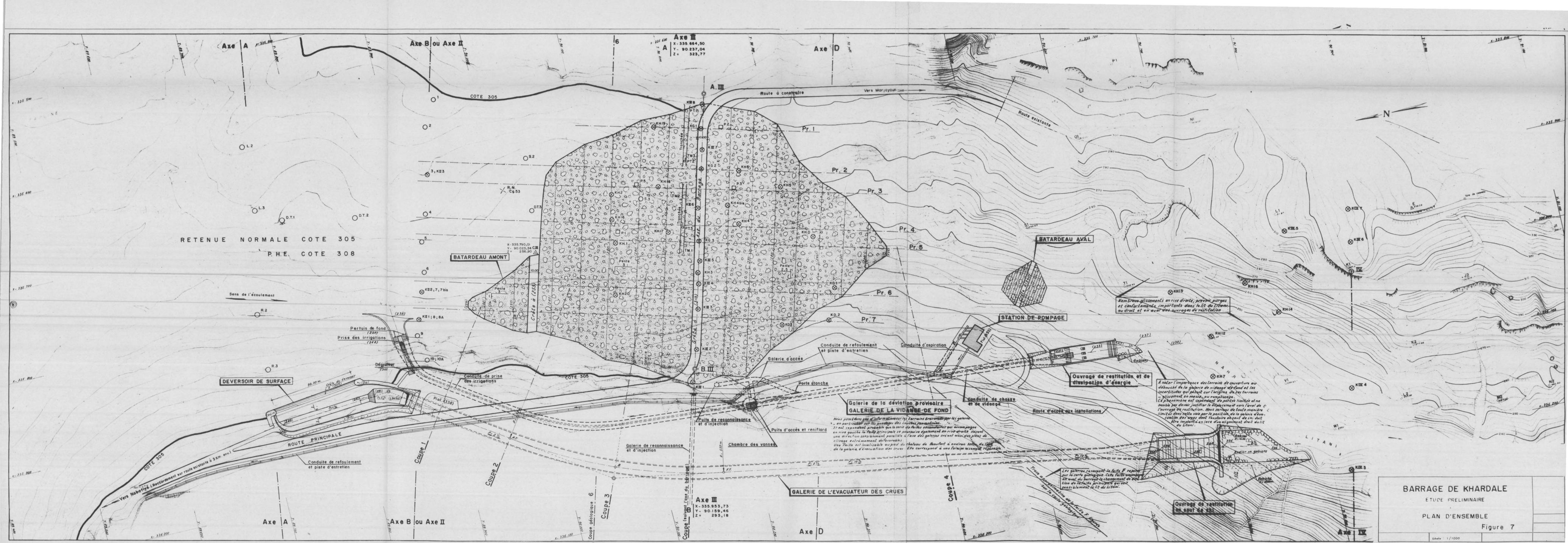
I Remplissage avec les apports du BV intermédiaire y compris les apports d'été d'Ain Zarqa.

II Remplissage avec les apports du BV intermédiaire sans les apports d'été d'Ain Zarqa.

BARRAGE DE KHARDALE
Courbes des volumes régularisés

Figure 5

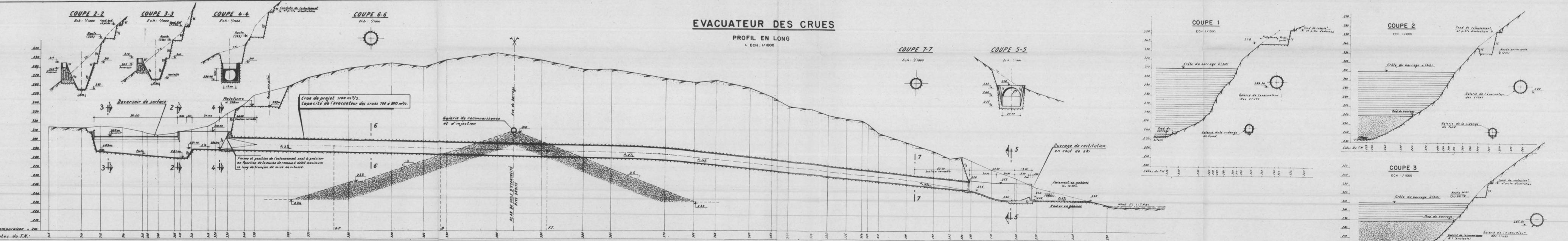




BARRAGE DE KHARDALE
ETUDE PRELIMINAIRE
PLAN D'ENSEMBLE
Figure 7
Echelle: 1/1000

EVACUATEUR DES CRUES

PROFIL EN LONG
ECH. 1/1000



COMMENTAIRES

Le solution qui est proposée comporte deux ouvrages indépendants consacrant tous deux à l'évacuation de la crue de projet estimée par les ingénieurs américains à 800 m³/s.
Une galerie de dérivation provisoire de 300 m³/s de capacité se place traversée, équipée ultérieurement en village de fond (2 séries de vannes en parallèle, chaque conduite pouvant évacuer 150 à 200 m³/s).
Un évacuateur à déversoir et surface libre, avec conduite d'évacuation inclinée en souterrain et saut de ski d'extrémité.
Les deux ouvrages sont aménagés dans l'appui rochers river droite. Ils sont complètement indépendants du barrage lui-même, et respectent les axes en des points différents, bien en aval de celui-ci.

L'ouvrage d'entretien dans la galerie d'évacuation des crues se compose d'un déversoir avec bassin d'amortissement et d'un saut délimitant une section de contrôle. Le tronçon amont de la galerie à écoulement est en cul-de-sac facile, cette disposition concourt à la tranquillité de l'écoulement et au dégagement du fond. Inversement on aurait pu réduire le diamètre du tronçon amont de la galerie en plaçant directement en aval du déversoir un ouvrage de mise en vitesse mais dans ce cas l'importance des débits d'air entrainés aurait considérablement limité la capacité de transport de la galerie, la sécurité qu'il convient de prendre vis-à-vis de ce phénomène réside dans l'intérêt de cette solution.

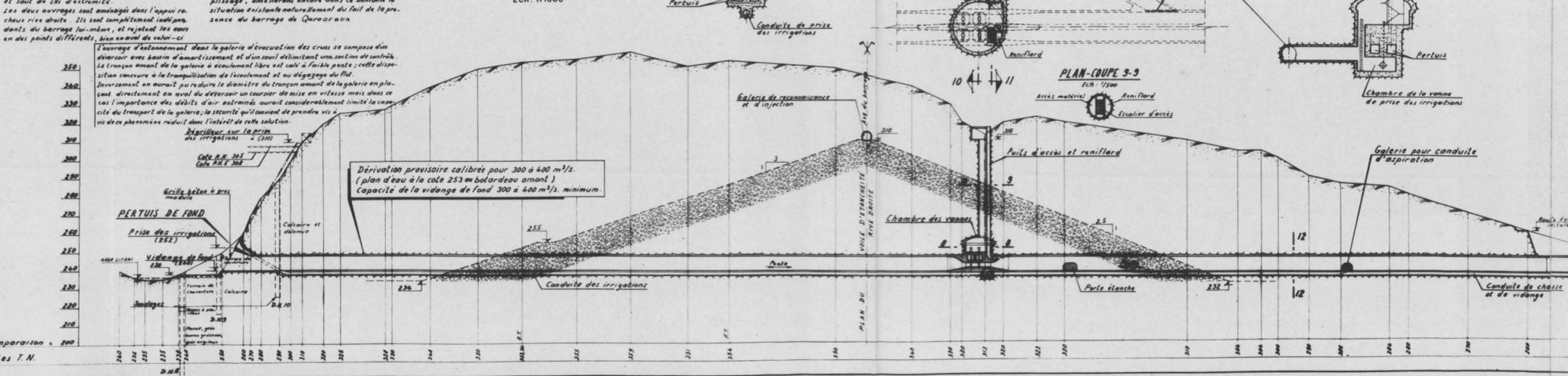
Déversoir sur la prise des irrigations
Cote R.M. 245
Cote P.M. 250

PERTUIS DE FOND
Village de fond (252)
Village de fond (252)

VIDANGE DE FOND
PROFIL EN LONG
ECH. 1/1000

VIDANGE DE FOND

PROFIL EN LONG
ECH. 1/1000

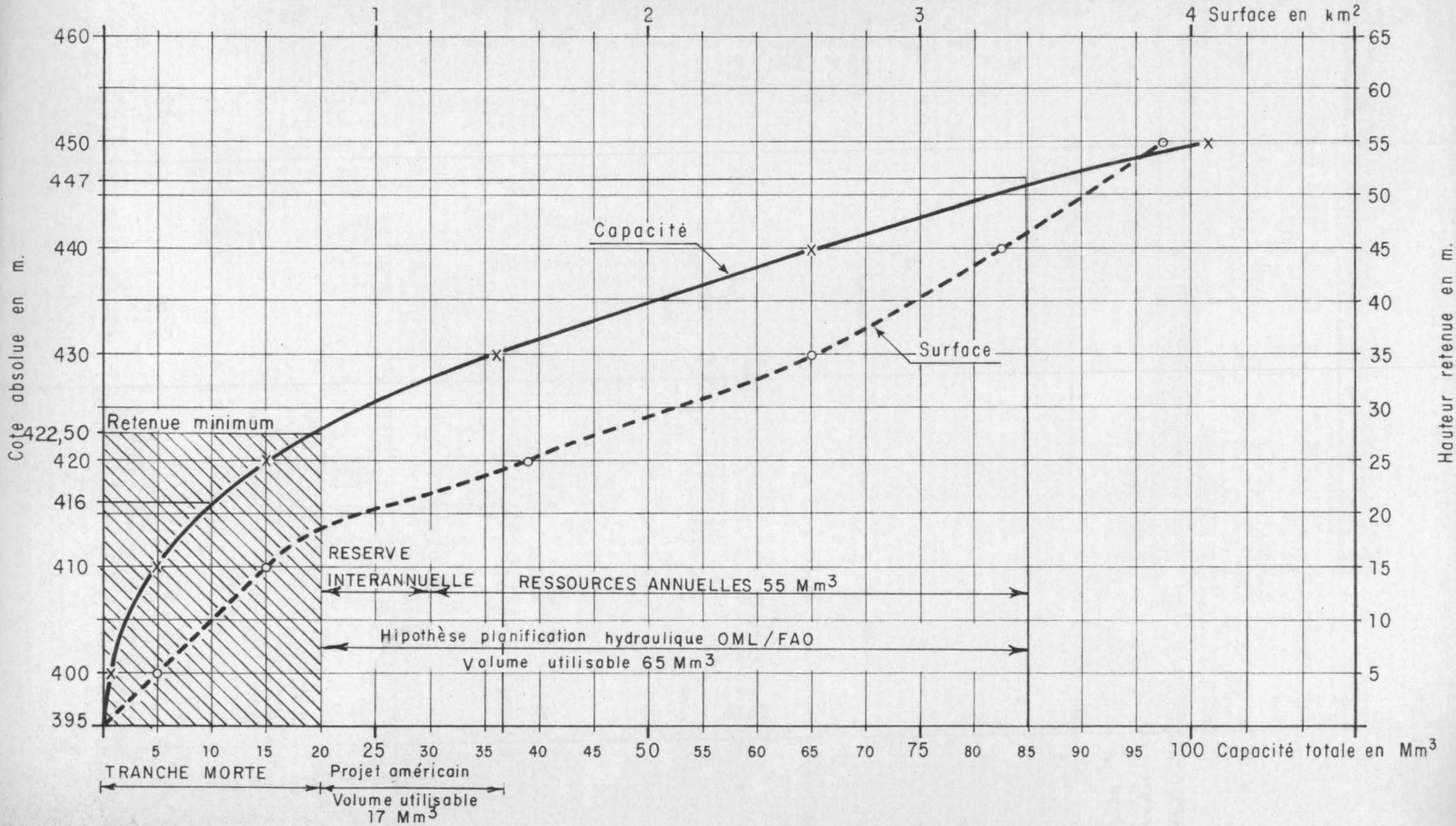


BARRAGE DE Khardale
ETUDE PRELIMINAIRE
EVACUATEUR DES CRUES
ET VIDANGE DE FOND

SITE DE BISRI

Figure 9

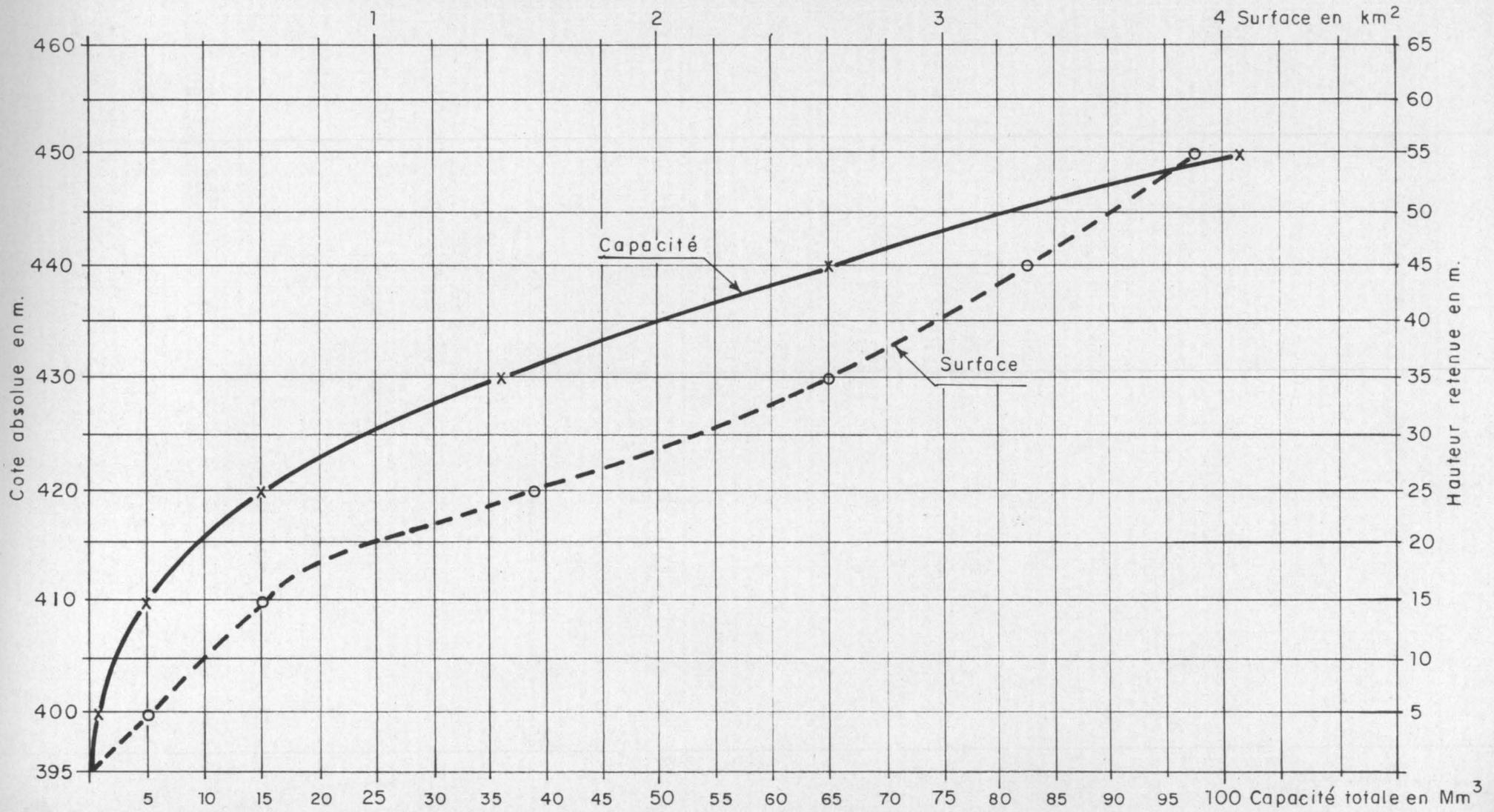
Surface - Capacité totale de la retenue

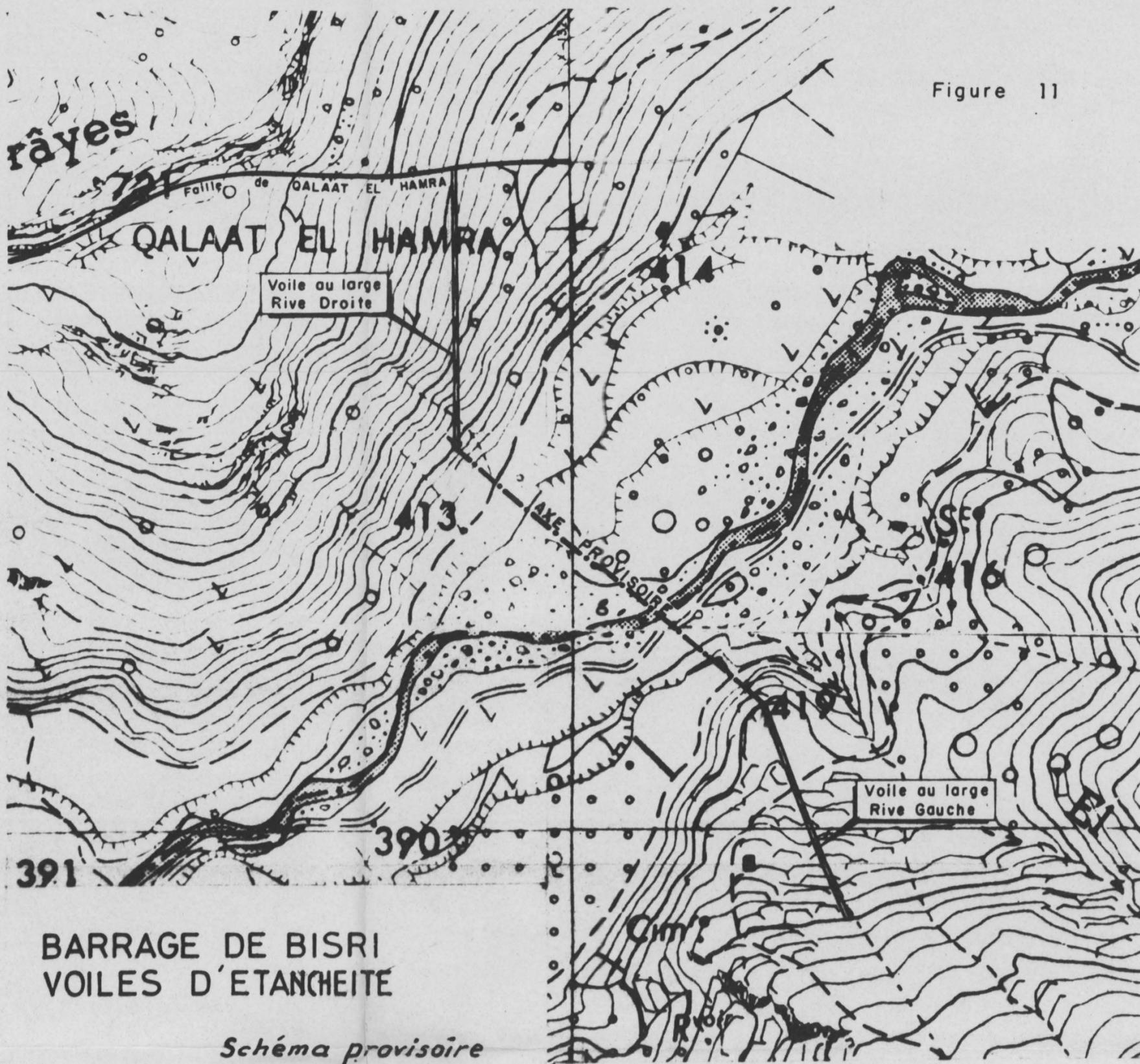


SITE DE BISRI

Figure 10

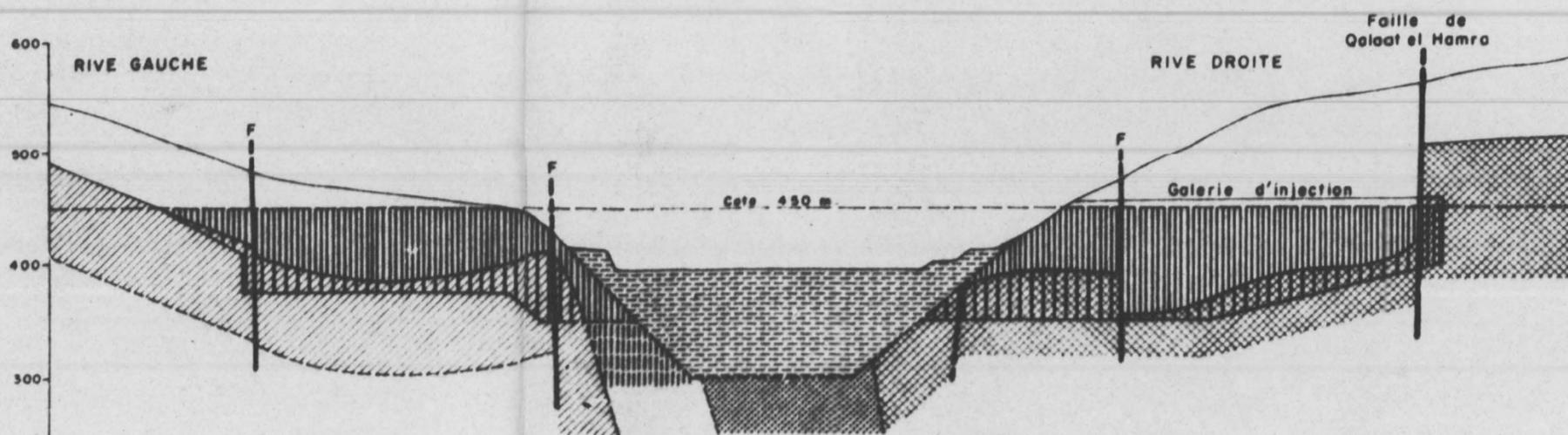
Surface - Capacité totale de la retenue





**BARRAGE DE BISRI
VOILES D'ETANCHEITE**

Schéma provisoire

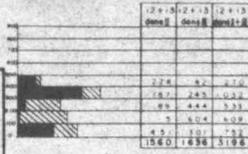


**FORMATIONS IMPERMEABLES
(OU REPUTÉES TELLES)**

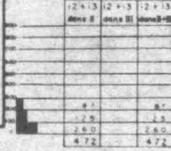
- | | | | | | | | |
|--|--------------------|--|---------------------------|--|----------------------------|--|--|
| | Quaternaire ancien | | Crétacé inférieur | | Faillle | | Voile d'injection proposé |
| | Albien | | Jurassique-Niv. de Bohnès | | Contact géologique supposé | | Extension possible du voile en rive gauche |

TABLEAU RECAPITULATIF

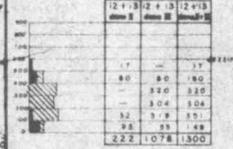
IKLIM KARROUB-JIYE : HB2



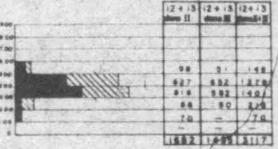
MAGHDOUCHE : B4



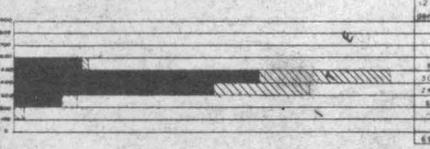
LEBAA : HB3



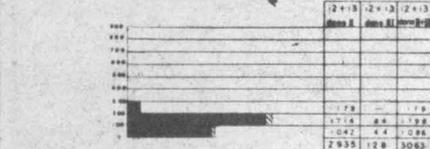
SARBA : H4



NABATIYE : H5



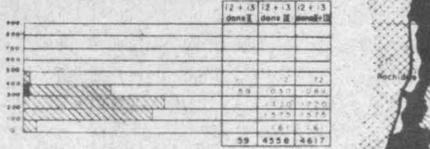
SARAFAND : B5



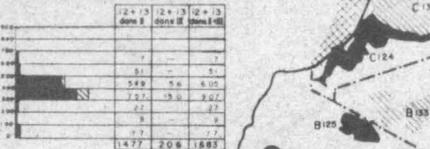
SOUR : B6



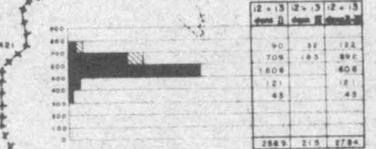
ZRARIYE : M6



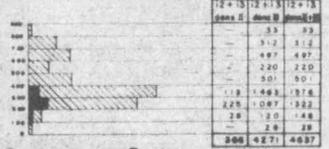
NAQOURA : S6



MARJAYOUN : Ma7



JABAL AAMEL : M6



TAIBE-BENT JBAIL : He



LEGENDE

Diagrammes
12+13 12+13
dans II dans II

Superficie en ha nete

Perimetre irrigue (dans II) Res et Ain
Zone cotee irriguee

Nota: les superficies des ensembles irrigables incluent, le cas échéant, les irrigations existantes

Ensembles II (prédominance des sols I)
Ensembles III (prédominance des sols I)

REPUBLIQUE LIBANAISE
OFFICE NATIONAL DU LITANI
PROJET DE DEVELOPPEMENT HYDRO-AGRICOLE DU SUD DU LIBAN
REPARTITION DES ENSEMBLES IRRIGABLES PAR CASIER

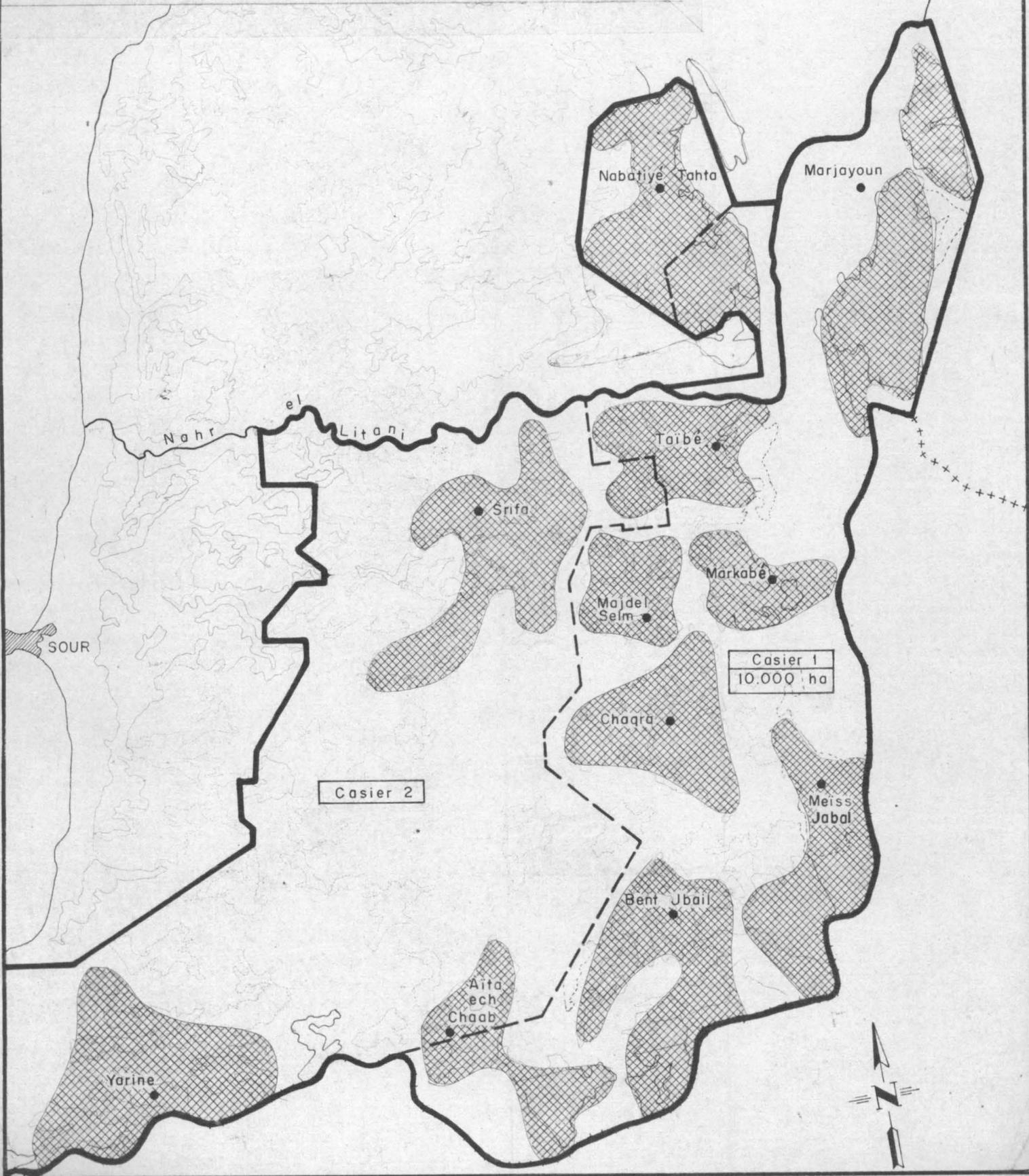
ENSEMBLES IRRIGABLES
Repartition hypsométrique par casier
Figure 12

Avril 1974

AVANT PROJET DE L'ADDUCTEUR

QARAAOUN - LIBAN SUD

SCHEMATISATION DES ENSEMBLES IRRIGABLES



QARAAOUN - LIBAN SUD

LOCALISATION DES PERIMETRES

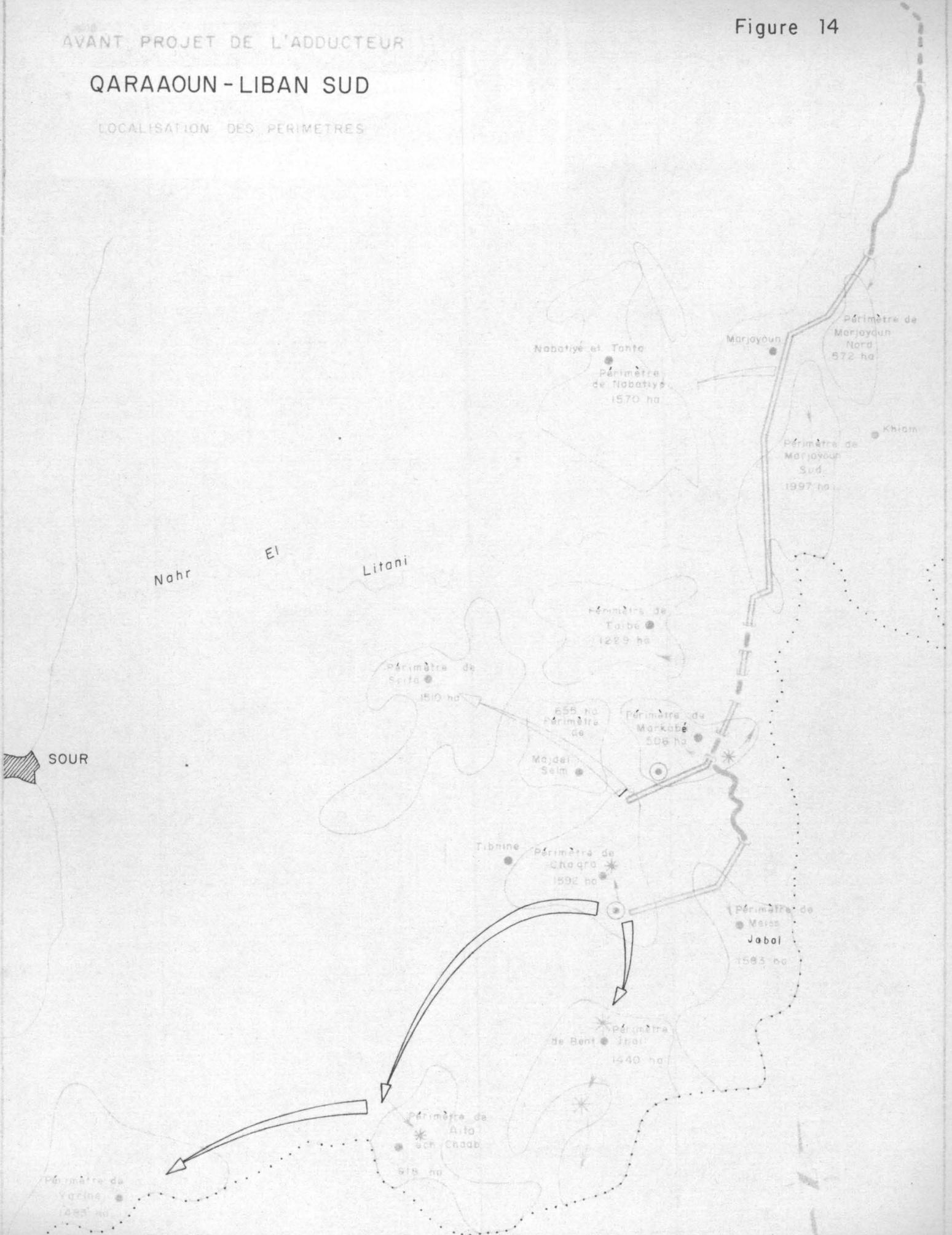


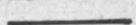
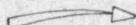
Figure 15

AVANT PROJET DE L'ADDUCTEUR

QARAAOUN - LIBAN SUD

REPERAGE DES BRANCHES SECONDAIRES ET DES PRISES

LEGENDE

-  Galerie
-  Cuvette
-  Conduite
-  Station de pompage
-  Réserve
-  Branche
-  Prise

CANAL - MAITRE
QARAAOUN - CHAQRA

Nahr el Litani

SOUR

(787) Prise Marjayoun Nord
 (771) Branche de Nabatiyé
 (771) Prise Marjayoun Sud

Prise de TAÏBE (740.50)
 Branche de SRIFA
 Prise de Markabé (735)
 Cuvette réserve de Modulation

(720) Réserve de Chaqra
 (739.50) Branche de Bent Jbail
 Prise Meiss Jabal

Branche d'Aïta ech Chaab
 Branche de YARINE
 Pompage

Pompage

Pompage



Figure 16

AVANT PROJET DE L'ADDUCTEUR

QARAAOUN - LIBAN SUD

DESIGNATION DES OUVRAGES DU CANAL-MAITRE

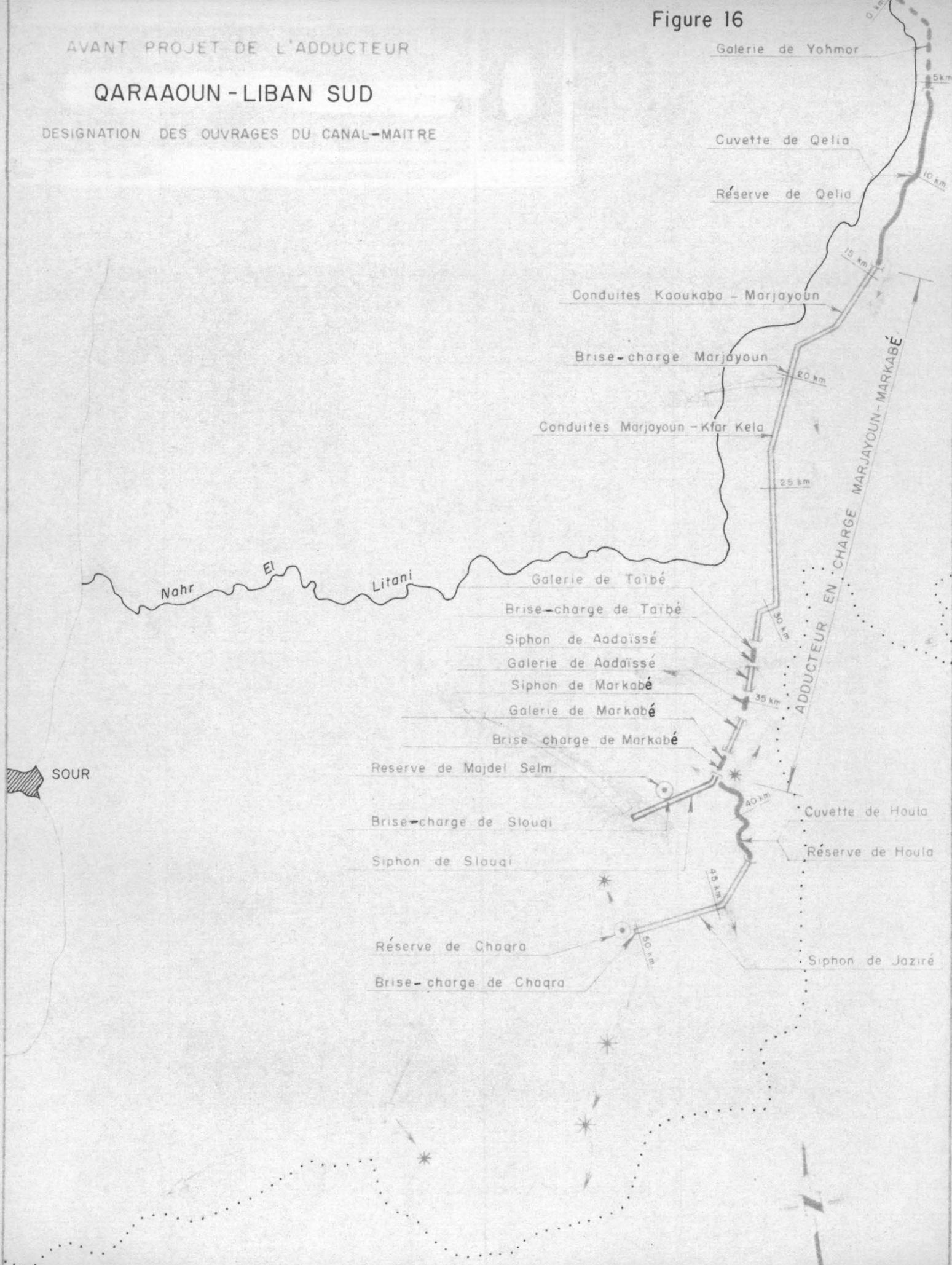


Figure 17

AVANT PROJET DE L'ADDUCTEUR

QARAAOUN - LIBAN SUD

DEBITS DES PRISES

Les débits sont exprimés en m^3/s

18 / 24 → de 6^h à 24^h

6 / 24 → de 0^h à 6^h

Les valeurs portées sont celles des débits décadaires du mois de pointe.

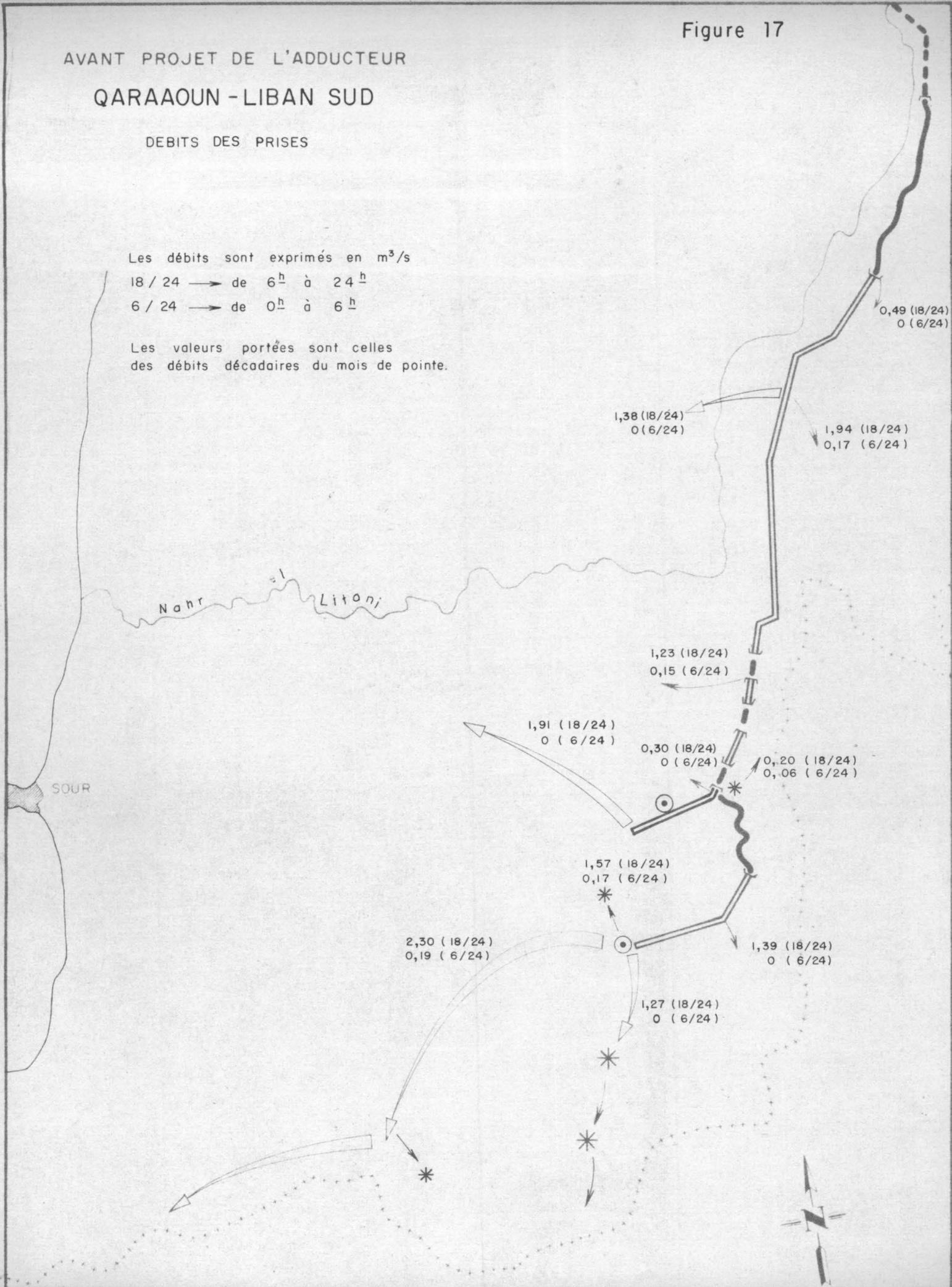


Figure 18

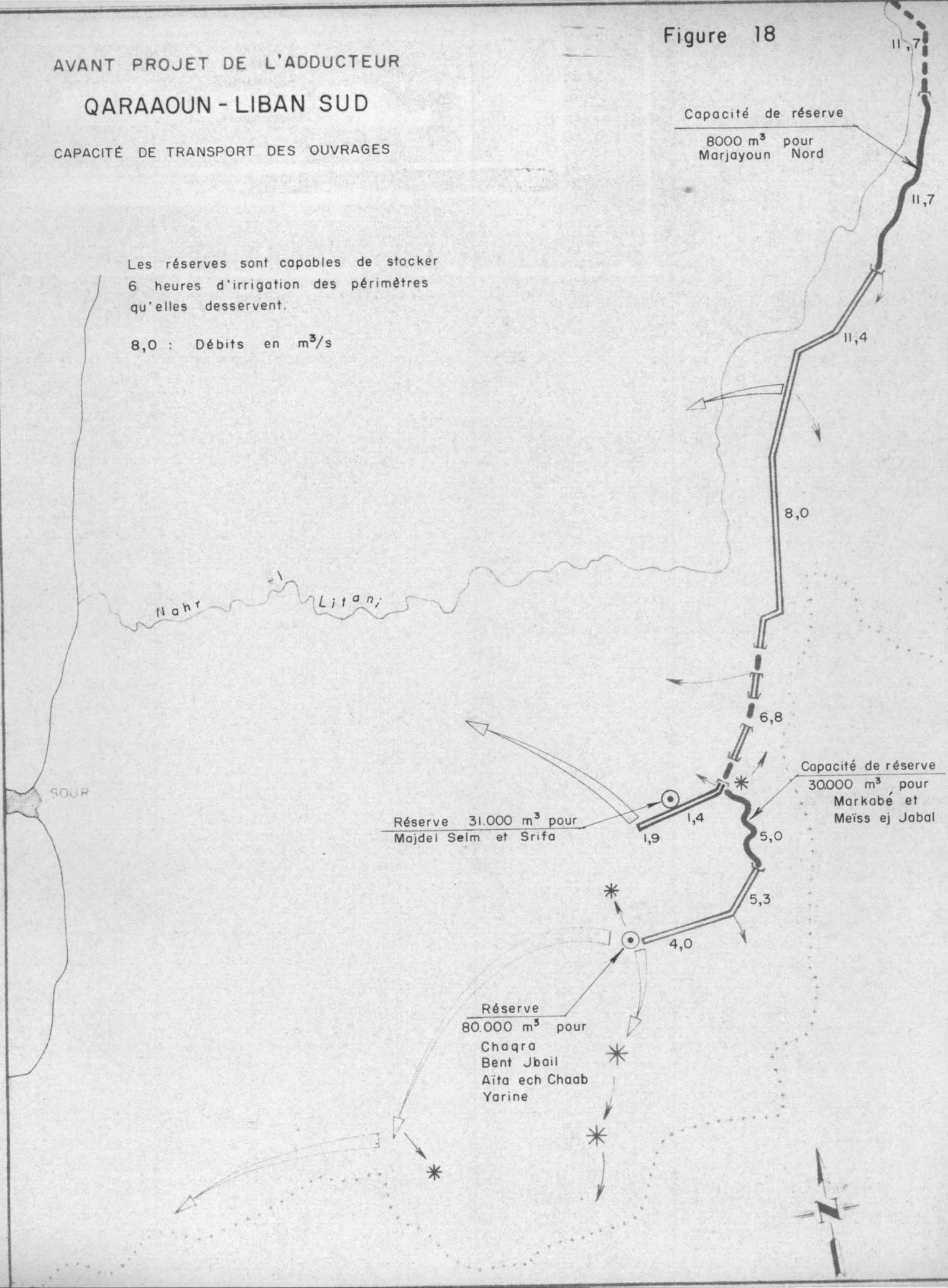
AVANT PROJET DE L'ADDUCTEUR

QARAAOUN - LIBAN SUD

CAPACITÉ DE TRANSPORT DES OUVRAGES

Les réserves sont capables de stocker 6 heures d'irrigation des périmètres qu'elles desservent.

8,0 : Débits en m^3/s



AVANT PROJET DE L'ADDUCTEUR

QARAAOUN - LIBAN SUD

CAPACITÉ DE TRANSPORT DES OUVRAGES

IRRIGATIONS	PERIMETRE	ha	18 ^h sur 24 ^h ou 24 ^h sur 24 ^h		TRONÇON	ORIGINE	CHAQRA	MEISS JABAL	RESERVE DE HOULA	+ CAPACITE DE RESERVE 30.000 m ³	RESERVE DE MAJDEL SELM	MARKABÉ	TAÏBE	MARJAYOUN SUD	MARJAYOUN NORD	TETE MORTE									
			DEBIT m ³ /s														FIN	MEISS JABAL	RESERVE DE HOULA	SRIFA	RESERVE DE MAJDEL SELM	MARKABÉ	TAÏBE	MARJAYOUN SUD	MARJAYOUN NORD
IRRIGATIONS	YARINE	1483	18 24	1,30 0,98			•	•	•				•	•	•	•									
	AÏTA CHAAB	918	18 24	0,81 0,61			•	•	•				•	•	•	•									
	CHAQRA	1592	18 24	1,40 1,05			•	•	•				•	•	•	•									
	BENT JBAIL	1440	18 24	1,27 0,95			•	•	•				•	•	•	•									
	MEISS JABAL	1583	18 24	1,39 1,05				•	•				•	•	•	•									
	MAJDEL SELM	655	18 24	0,58 0,43					•	•	•	•	•	•	•	•									
	MARKABÉ	506	18 24	0,45 0,33									•	•	•	•									
	SRIFA	1510	18 24	1,33 1,00							•	•	•	•	•	•									
	TAÏBE	1229	18 24	1,08 0,81										•	•	•									
	MARJAYOUN NORD	572	18 24	0,49 0,37												•									
	MARJAYOUN SUD	1997	18 24	1,77 1,33											•	•									
	NABAÏYE	1570	18 24	1,43 1,08											•	•									
EAU POTABLE	Eau pot. KAFRA		18 24	0,19			•	•	•				•	•	•	•									
	Eau pot. MARJ.		18 24	0,17											•	•									
	Eau pot. MARKABÉ		18 24	0,06									•	•	•	•									
	Eau pot. TAÏBE		18 24	0,15										•	•	•									
	Eau pot. CHAQRA BENT JBAIL		18 24	0,17			•	•	•				•	•	•	•									
CAPACITÉ DE TRANSPORT			TOTAL			3,95	5,34	5,00	1,91	1,43	6,82	8,05	11,42	11,79											
			ARRONDI			4,0	5,3	5,0	1,9	1,4	6,8	8,0	11,4	11,7											

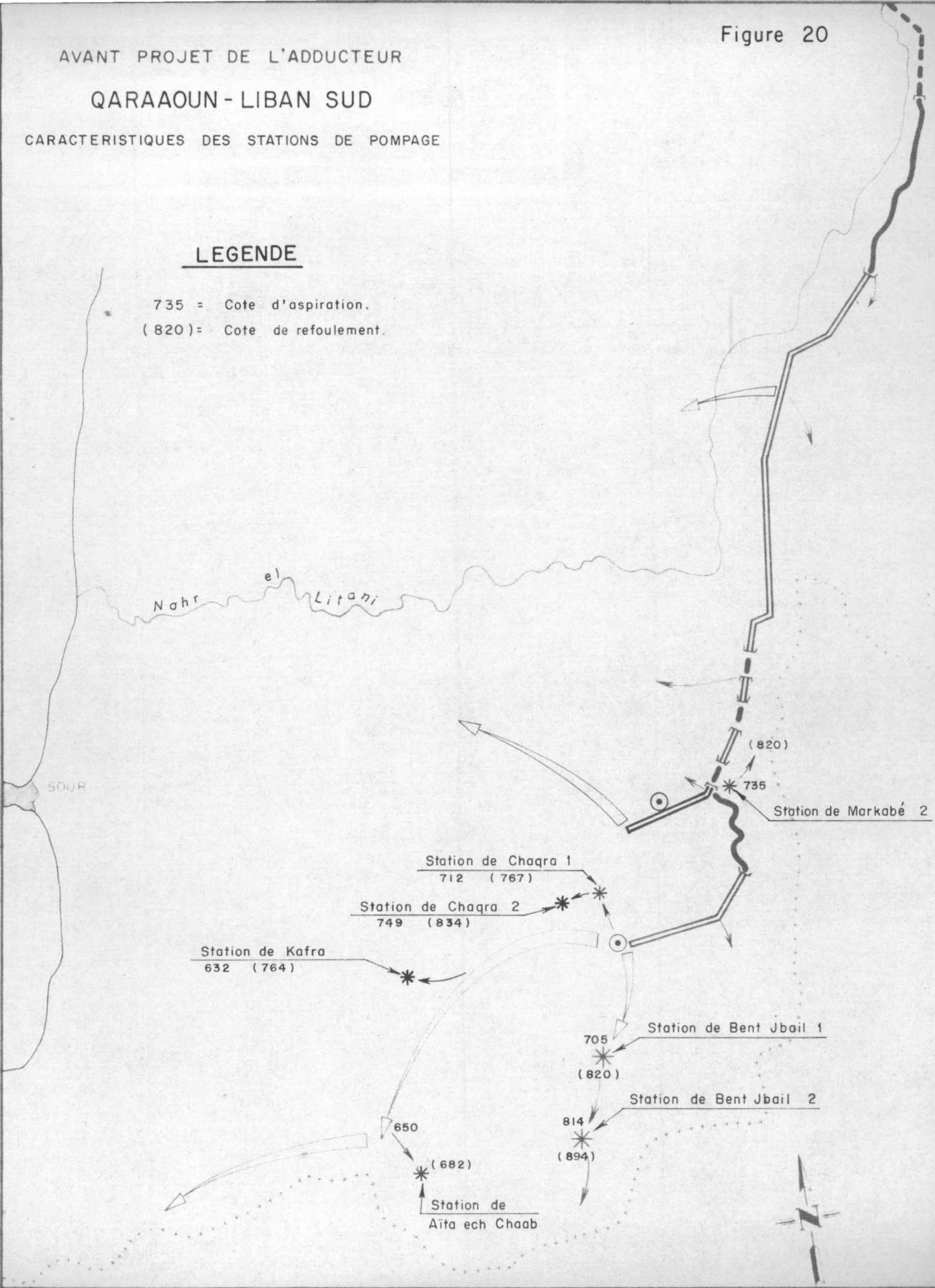
AVANT PROJET DE L'ADDUCTEUR

QARAAOUN - LIBAN SUD

CARACTERISTIQUES DES STATIONS DE POMPAGE

LEGENDE

- 735 = Cote d'aspiration.
- (820) = Cote de refoulement.



AVANT PROJET DE L'ADDUCTEUR

QARAAOUN - LIBAN SUD

CARACTERISTIQUES DES STATIONS DE POMPAGE
ET DES BRISE-CHARGE

Sol. 800 Base	Station de pompage	Q Irrigation (m ³ /s)	Q Eau potable (m ³ /s)	Q Total (m ³ /s)	H Geom. (m)	Puis. (kW)
1	MARKABÉ	0,14	0,06	0,20	85	238
2	BENT JBAIL 1	1,27	—	1,27	115	2.045
3	BENT JBAIL 2	0,69	—	0,69	80	773
4	AÏTA ECH CHAAB	0,81	—	0,81	32	363
5	CHAQRA 1	0,63	0,17	0,80	55	616
6	CHAQRA 2	—	0,13	0,13	85	155
7	KAFRA	—	0,19	0,19	132	351
TOTAL						4.541

	Brise charge de	Q (m ³ /s)	H _{statique} (m)
1	MARJAYOUN	11,4	18
2	TAÏBÉ	8,0	31
3	MARKABÉ	6,8	6
4	CHAQRA	4,0	12
5	MAJDEL SELM	1,4	150

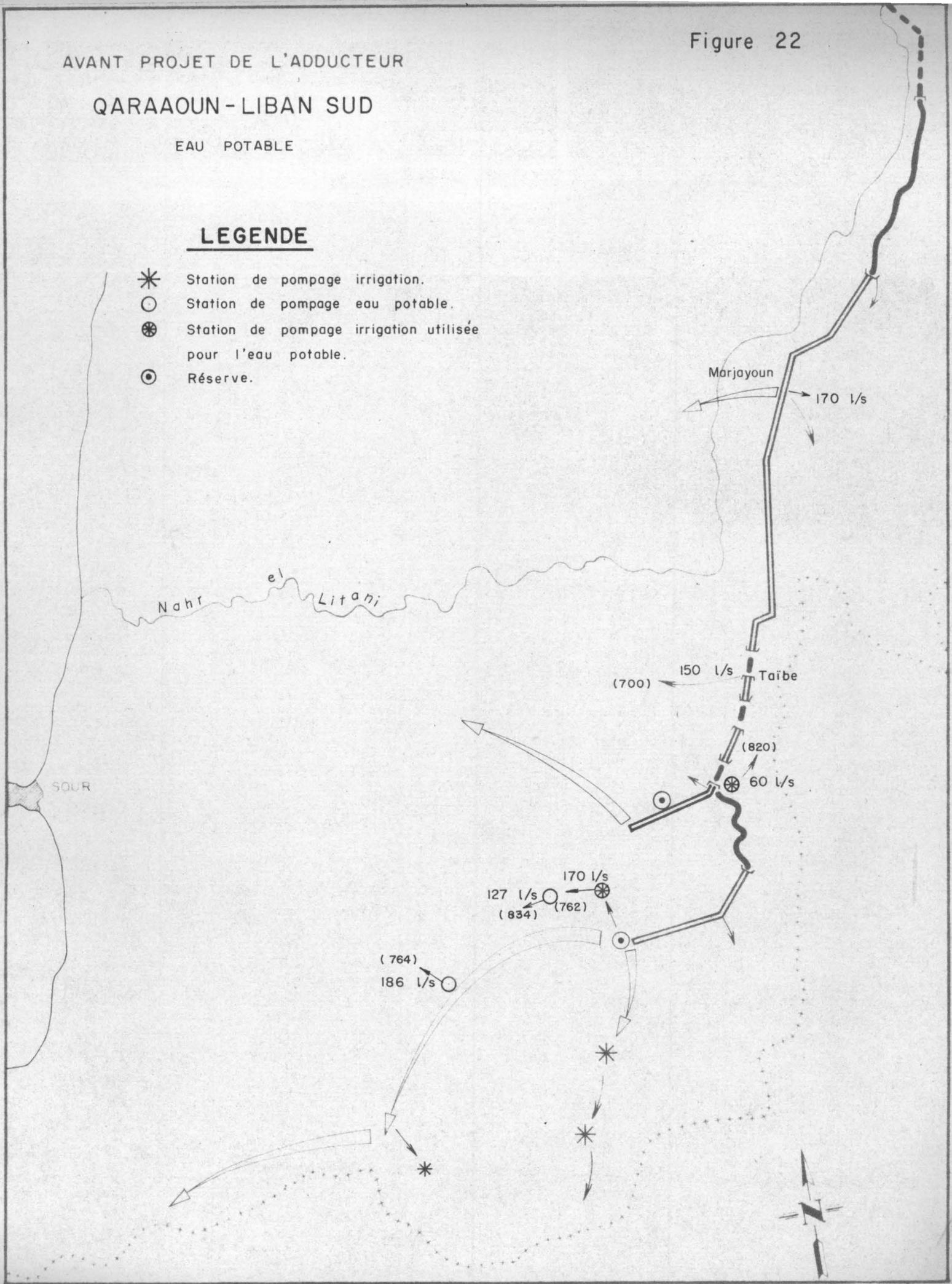
AVANT PROJET DE L'ADDUCTEUR

QARAAOUN - LIBAN SUD

EAU POTABLE

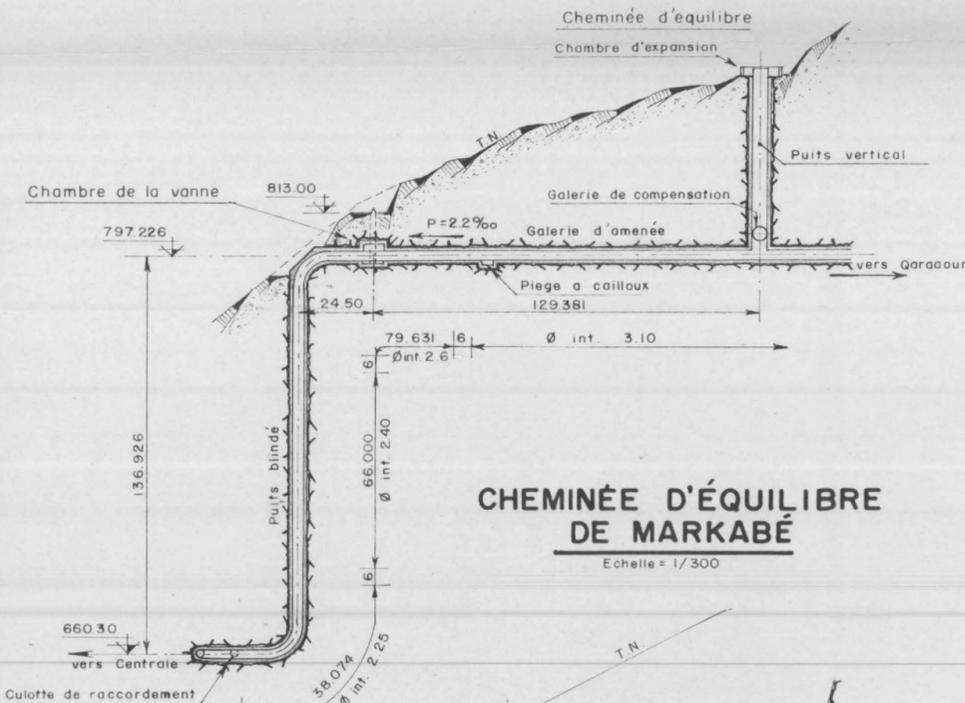
LEGENDE

- * Station de pompage irrigation.
- Station de pompage eau potable.
- ⊗ Station de pompage irrigation utilisée pour l'eau potable.
- ⊙ Réserve.



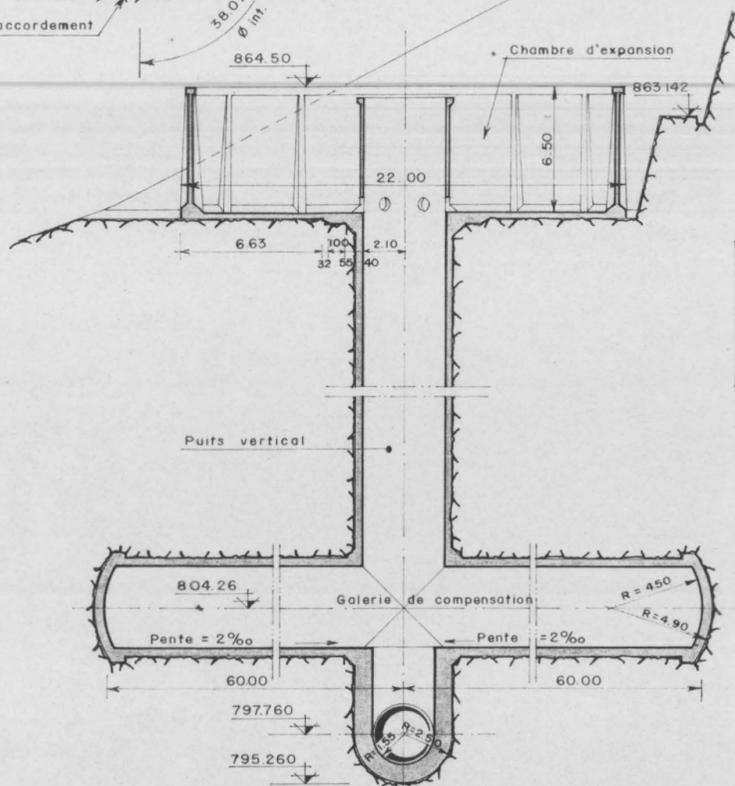
CONDUITE FORCÉE DE MARKABÉ

Echelle = 1/2000



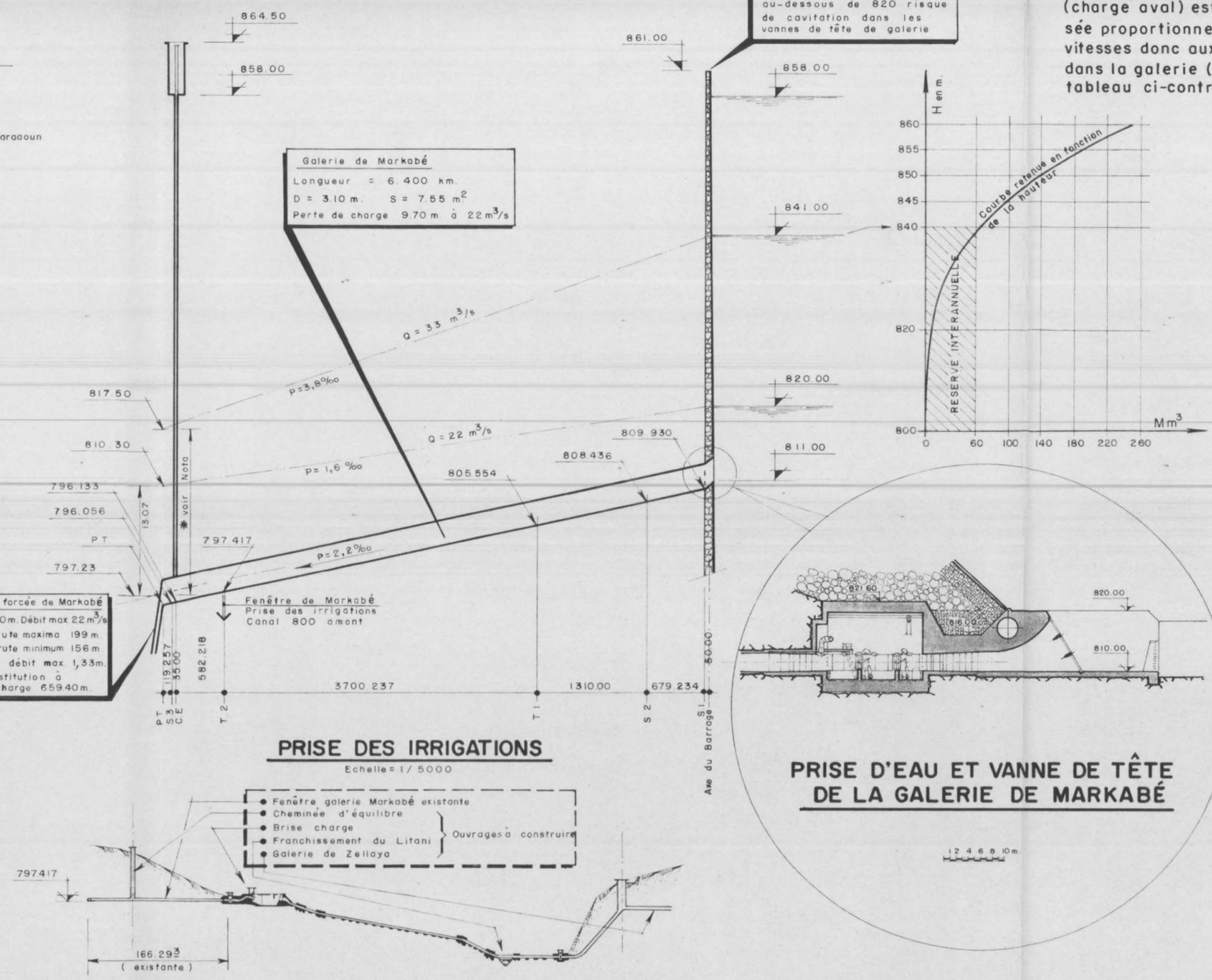
CHEMINÉE D'ÉQUILIBRE DE MARKABÉ

Echelle = 1/300

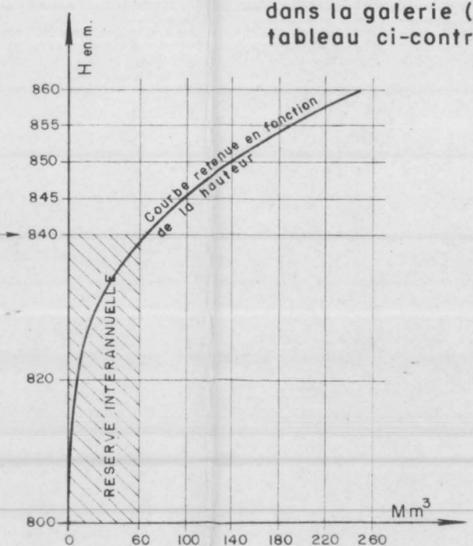


GALERIE DE MARKABÉ (profil en long)

Horiz = 1/50 000
Echelles - Vert. = 1/500



Nota: La charge en tête de la conduite forcée (charge aval) est supposée proportionnelle aux vitesses donc aux débits dans la galerie (voir tableau ci-contre.



Calage de la ligne piézométrique de la galerie pour différents débits

Q	* $\frac{Q}{Q_0} = \frac{V}{V_0}$	Charge aval	Cote min. aval	Perte de charge	Cote min. amont
22	1,00	13,07	810,30	9,70	820,00
25	1,14	14,90	812,13	12,61	824,74
28	1,27	16,60	813,83	15,65	829,48
31	1,41	18,43	815,66	19,28	834,94
34	1,55	20,26	817,49	23,30	840,79

* Coefficient de sécurité

Evolution de la capacité de transport de la galerie en fonction de la cote du plan d'eau à Qaraaoun

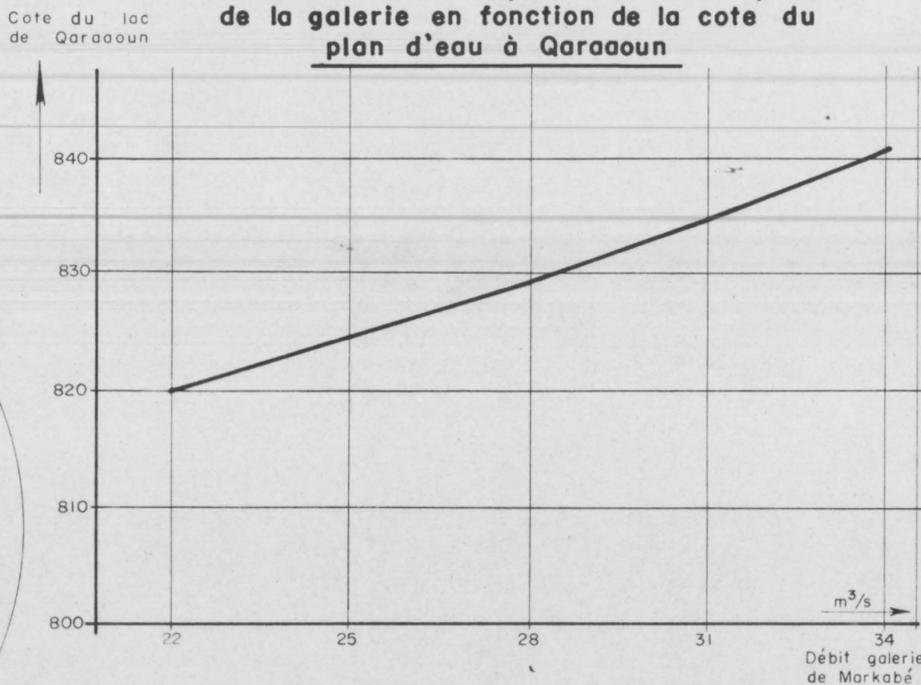
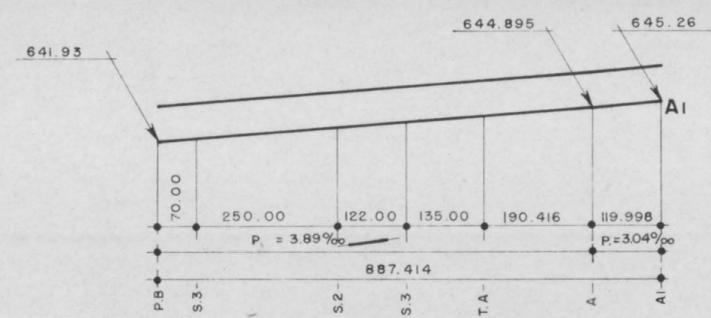


Figure 23

ADDUCTEUR QARAAOUN - LIBAN SUD
AMÉNAGEMENT HYDRO-ÉLECTRIQUE EXISTANT EN AMONT DE L'OUVRAGE DE PRISE

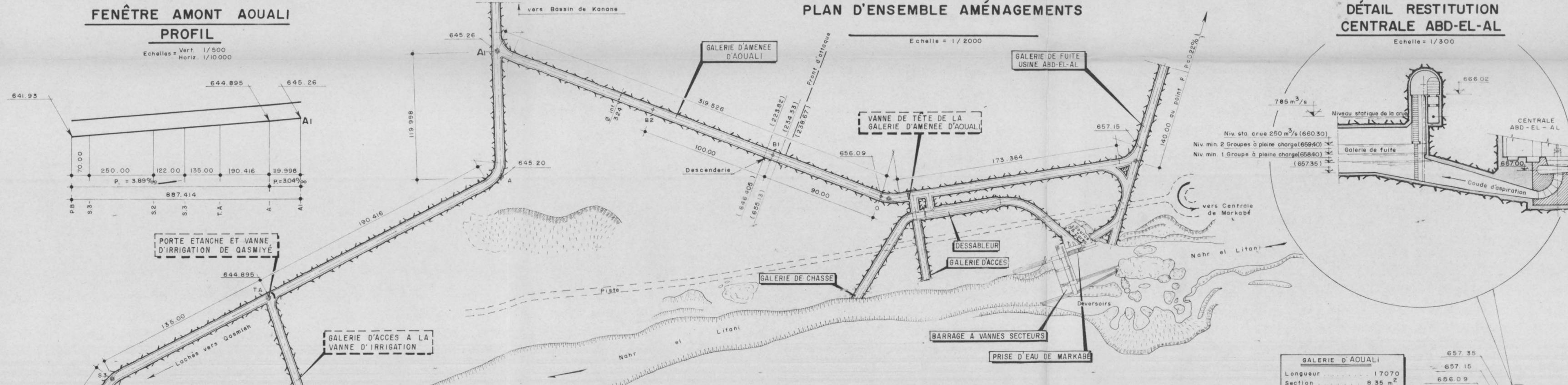
FENÊTRE AMONT AOUALI PROFIL

Echelles = Vert. 1/500
Horiz. 1/10000



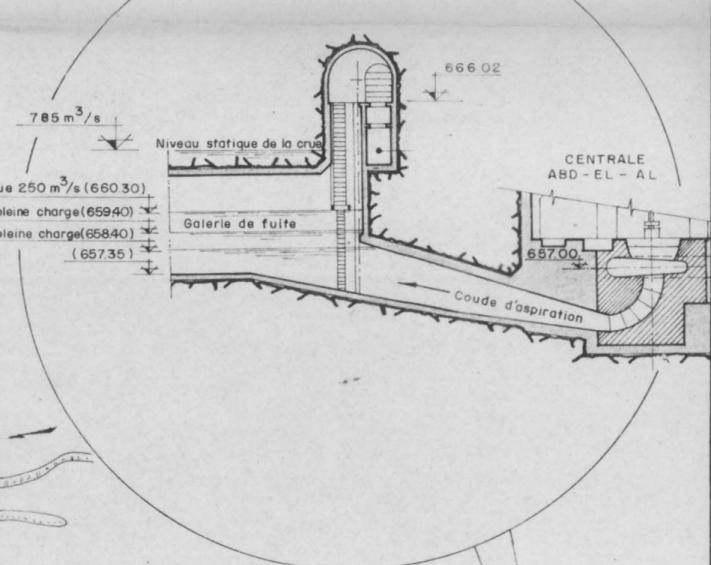
PLAN D'ENSEMBLE AMÉNAGEMENTS

Echelle = 1/2000



DÉTAIL RESTITUTION CENTRALE ABD-EL-AL

Echelle = 1/300



PORTE ETANCHE ET VANNE
D'IRRIGATION DE QASMIYÉ

GALERIE D'ACCES A LA
VANNE D'IRRIGATION

GALERIE D'AMENEE
D'AOUALI

GALERIE DE FUITE
USINE ABD-EL-AL

VANNE DE TÊTE DE LA
GALERIE D'AMENEE D'AOUALI

DESSABLEUR

GALERIE D'ACCES

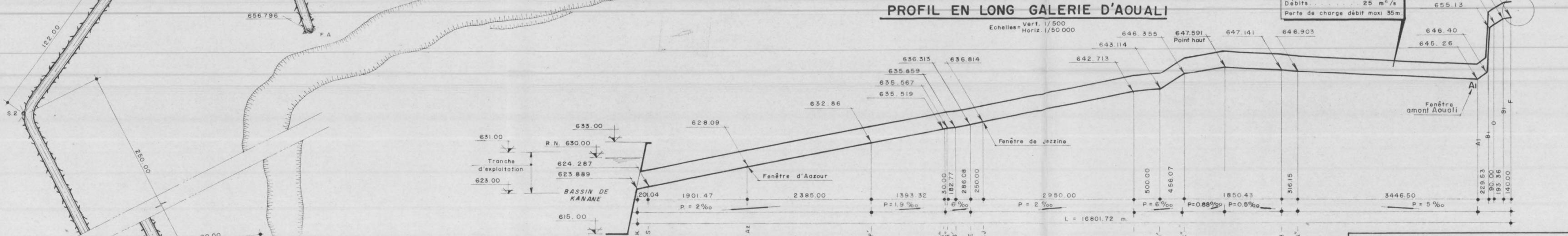
GALERIE DE CHASSE

BARRAGE A VANNES SECTEURS

PRISE D'EAU DE MARKABÉ

PROFIL EN LONG GALERIE D'AOUALI

Echelles = Vert. 1/500
Horiz. 1/50000



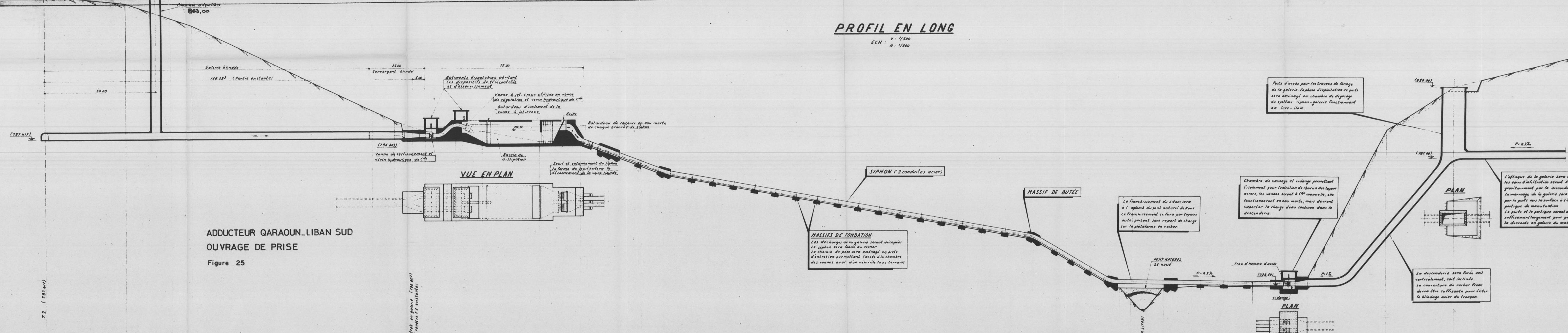
GALERIE D'AOUALI
Longueur 17070
Section 835 m²
Débits 25 m³/s
Perte de charge débit maxi 35m.

ADDUCTEUR QARAAOUN - LIBAN SUD
AMÉNAGEMENT HYDRO-ÉLECTRIQUE
EXISTANT EN AVAL DE L'OUVRAGE
DE PRISE

Figure 24

PROFIL EN LONG

ECH : V : 1/500
H : 1/500



ADDUCTEUR GARAOUN-LIBAN SUD
OUVRAGE DE PRISE

Figure 25

VUE EN PLAN

PLAN

Entrée en galerie (716.00)
(fenêtre existante)

Bâtiments dispatching abritant les dispositifs de télécontrôle et d'asservissement

Vanne à jet creux utilisée en vanne de régulation et verin hydraulique de C^{de}
Batardeau d'isolement de la vanne à jet creux

Grille
Batardeau de coupure en eau morte de chaque branche de siphon

(796.00)
Vanne de sectionnement et verin hydraulique de C^{de}

Bassin de dissipation

Seuil et entassement du siphon
La forme du seuil évitera la déconnexion de la veine liquide

SIPHON (2 conduites acier)

MASSIF DE BUTÉE

MASSIFS DE FONDATION
Les décharges de la galerie seront découpées
Le siphon sera fondé au rocher
Le chemin de pose sera aménagé en piste d'entretien permettant l'accès à la chambre des vannes aval d'un véhicule tous terrains

Le franchissement du Litani sera à l'aplomb du pont naturel de Koué
ce franchissement se fera par tuyaux auto-portant sans report de charge sur la plateforme en rocher

PONT NATUREL DE KOUÉ

Puits d'accès pour les travaux de forage de la galerie. En phase d'exploitation ce puits sera aménagé en chambre de dégazage du système siphon-galerie fonctionnant en free-flow.

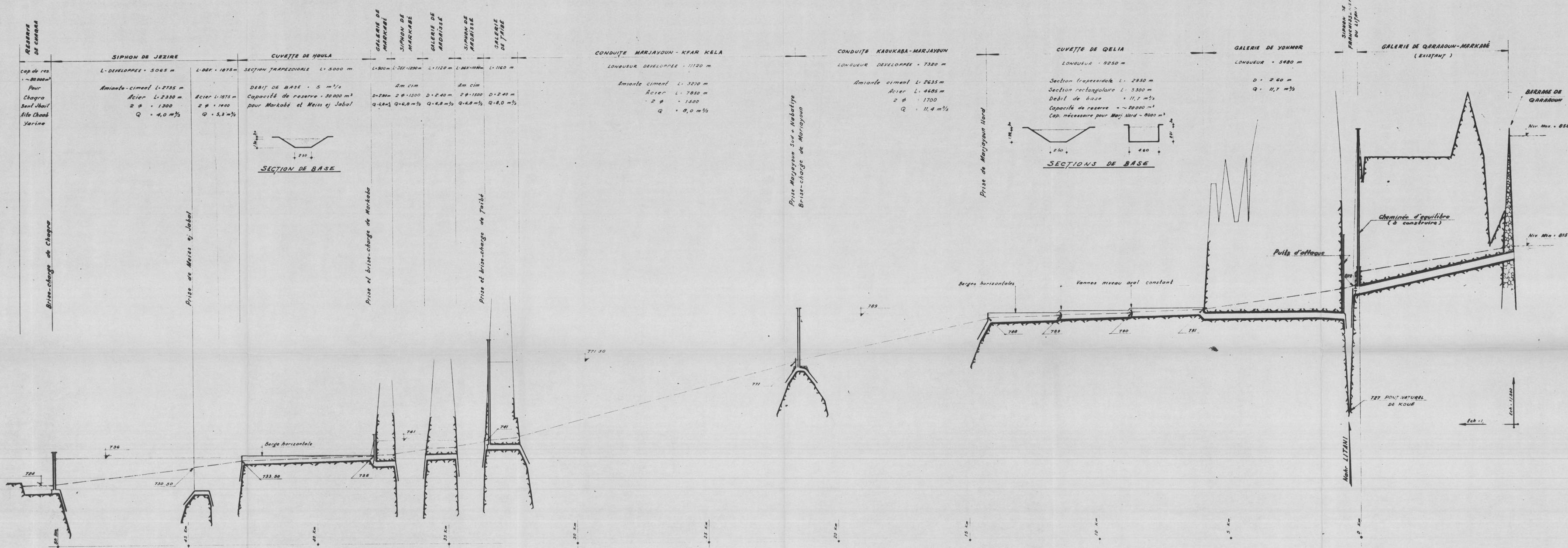
Chambre de vannage et vidange permettant l'isolement pour l'entretien de chacun des tuyaux aciers, les vannes seront à C^{de} manuelle, elle fonctionneront en eau morte, mais devront supporter la charge d'eau continue dans la descendrière.

Trou d'homme d'accès

La descendrière sera forcée soit verticalement, soit inclinée.
La couverture de rocher franc devra être suffisante pour éviter la blindage acier du tronçon.

L'attaque de la galerie sera montante les eaux d'infiltration seront évacuées gravitairement par la descendrière.
Le marinage de la galerie sera évacué par le puits vers la surface à l'aide d'un portique de manutention
Le puits et le portique seront dimensionnés suffisamment largement pour permettre la descente en galerie du matériel.

T.2 (197.417)



RESERVE DE CHARGES
~ 80000 m³
Pour
Chagra
Bent Jbaïl
Hita Chaab
Yarine

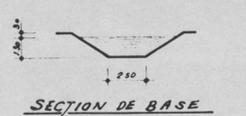
SIPHON DE JEZIRE

L-DEVELOPPEE = 5065 m
L-DEP. = 1875 m

CUVETTE DE HOULA

SECTION TRAPEZOIDALE L = 5000 m

DEBIT DE BASE = 5 m³/s
Capacité de réserve = 30 000 m³
pour Markabé et Meiss ej Jabal



GALERIE DE MARKABÉ

SIPHON DE MARKABÉ

GALERIE DE MADJISSÉ

SIPHON DE MADJISSÉ

GALERIE DE TAIËB

SIPHON DE TAIËB

CONDUITE MARJAYOUN - KEAR KÉLA

LONGUEUR DEVELOPPEE = 11120 m

Amiante ciment L = 3210 m
Acier L = 7910 m
2 φ = 1300
Q = 8,0 m³/s

CONDUITE KADUKABA - MARJAYOUN

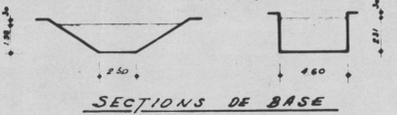
LONGUEUR DEVELOPPEE = 7320 m

Amiante ciment L = 2635 m
Acier L = 4685 m
2 φ = 1700
Q = 11,4 m³/s

CUVETTE DE QELIA

LONGUEUR = 8250 m

Section trapezoidale L = 2950 m
Section rectangolaire L = 5300 m
Debit de base = 11,7 m³/s
Capacité de réserve = ~ 20000 m³
Cap. nécessaire pour Marj Nord = 8000 m³



GALERIE DE YOHMOR

LONGUEUR = 5480 m

D = 2,60 m
Q = 11,7 m³/s

GALERIE DE QARAOUN-MARKABÉ (EXISTANT)

BARRAGE DE QARAOUN

Niv. Max = 858

Niv. Min = 815

SIPHON DE PRANCISSÉ (EXISTANT) au siphon

Puits d'attaque

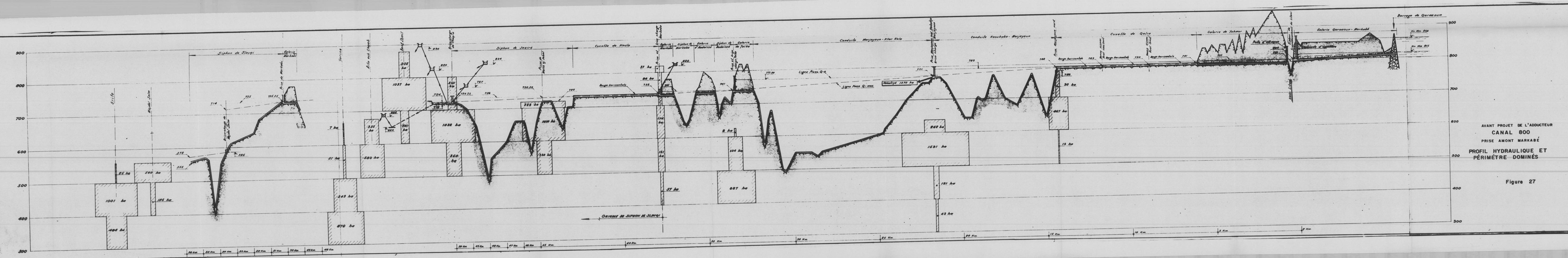
Cheminée d'équilibre (à construire)

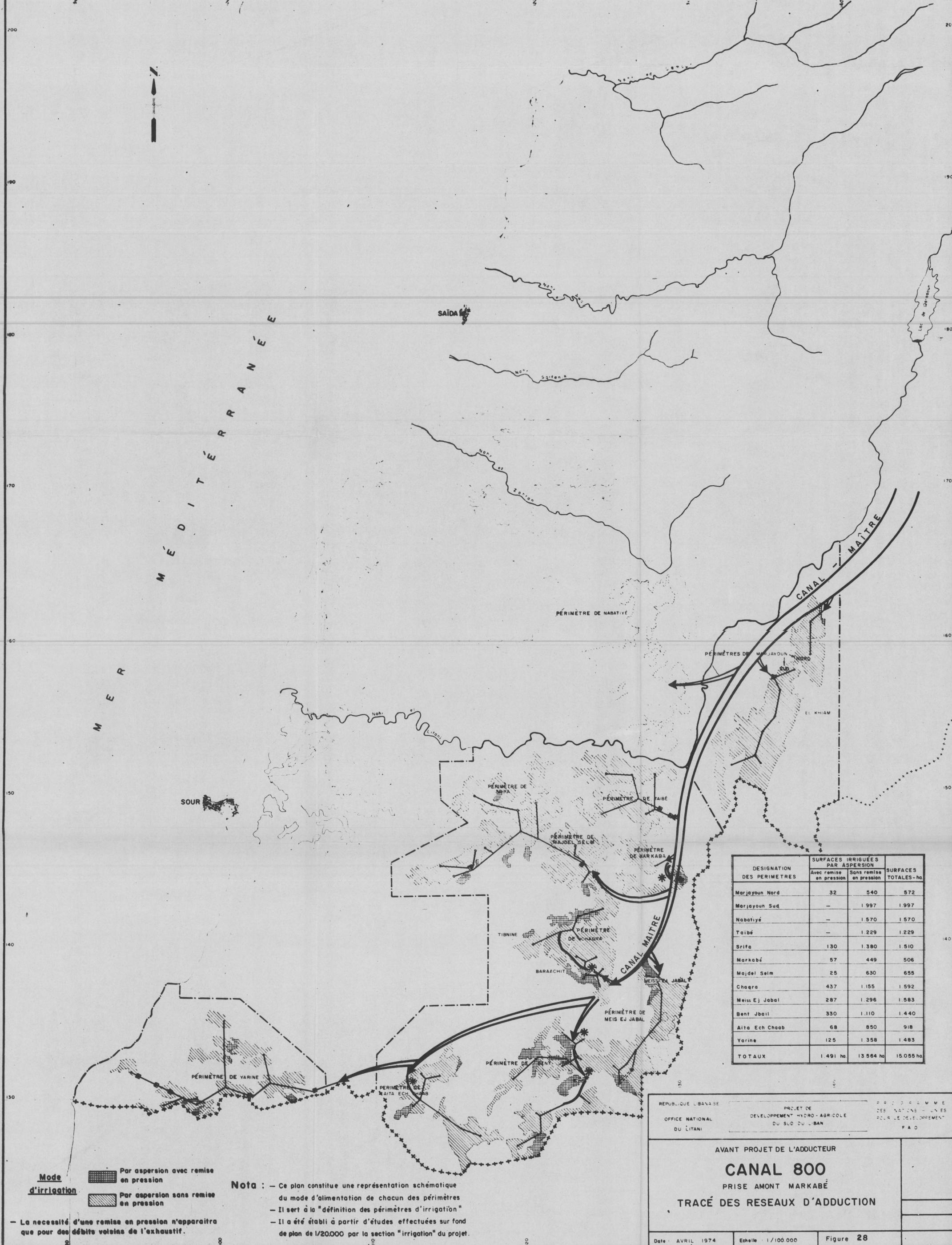
727 PONT NATUREL DE KOUË

Nahr LITANI

Ech. 1:1000

REPUBLIQUE LIBANAISE	PROJET DE DÉVELOPPEMENT HYDRO-AGRICOLE DU SUD DU LIBAN	PROGRAMME DES NATIONS UNIES POUR LE DÉVELOPPEMENT FAO
OFFICE NATIONAL DU LITANI		
AVANT PROJET DE L'ADDUCTEUR CANAL 800 PRISE AMONT MARKABÉ		
PROFIL EN LONG HYDRAULIQUE ET CARATÉRISTIQUES DES OUVRAGES		
Date: Avril 1974	Échelle: Verticale 1/500, Horizontale 1/50 000	Figure 26





DESIGNATION DES PERIMETRES	SURFACES IRRIGUÉES PAR ASPERSION		SURFACES TOTALES - ha
	Avec remise en pression	Sans remise en pression	
Marjayoun Nord	32	540	572
Marjayoun Sud	-	1 997	1 997
Nabatiyé	-	1 570	1 570
Taibé	-	1 229	1 229
Srafa	130	1 380	1 510
Markabé	57	449	506
Majdel Selm	25	630	655
Chaqra	437	1 155	1 592
Meiss Ej Jabal	287	1 296	1 583
Bent Jball	330	1 110	1 440
Aita Ech Chaab	68	850	918
Yarine	125	1 358	1 483
TOTAUX	1 491 ha	13 564 ha	15 055 ha

Mode d'irrigation

 Par aspersion avec remise en pression
 Par aspersion sans remise en pression

Nota : - Ce plan constitue une représentation schématique du mode d'alimentation de chacun des périmètres - Il sert à la "définition des périmètres d'irrigation" - Il a été établi à partir d'études effectuées sur fond de plan de 1/20.000 par la section "irrigation" du projet.

- La nécessité d'une remise en pression n'apparaîtra que pour des débits voisins de l'exhaustif.

REPUBLIQUE LIBANAISE
OFFICE NATIONAL DU LITANI

PROJET DE DEVELOPPEMENT HYDRO-AGRICOLE DU SUD DU LIBAN

PROGRAMME DES NATIONS UNIES POUR LE DEVELOPPEMENT F A O

AVANT PROJET DE L'ADDUCTEUR
CANAL 800
PRISE AMONT MARKABÉ
TRACÉ DES RESEAUX D'ADDUCTION

Date : AVRIL 1974 Echelle : 1/100 000 Figure 28

-  Origine de l'eau Qaraaoun exclusivement
-  Origine de l'eau 2^e barrage (Khardale ou Bisri)
-  Origine de l'eau 2^e barrage ou Qaraaoun

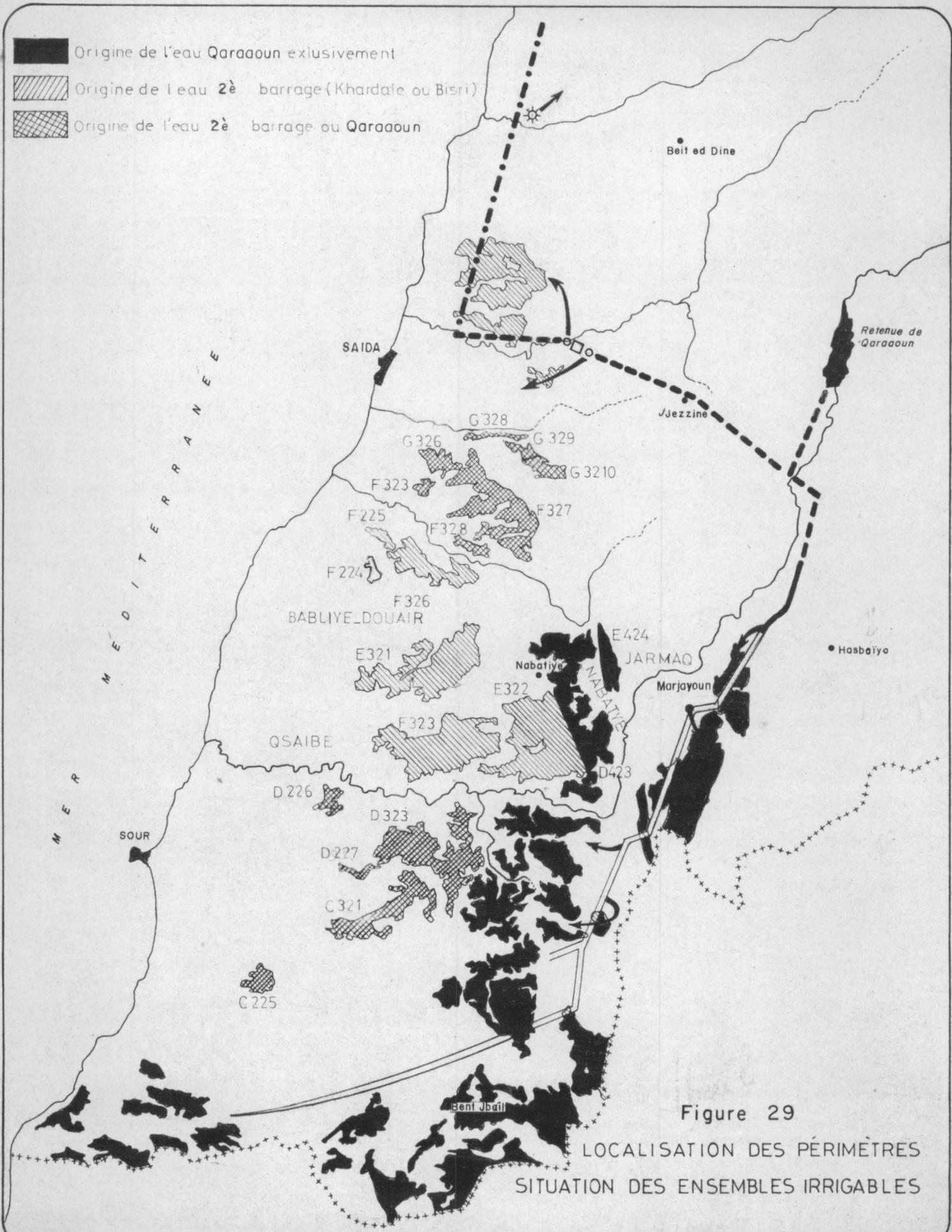
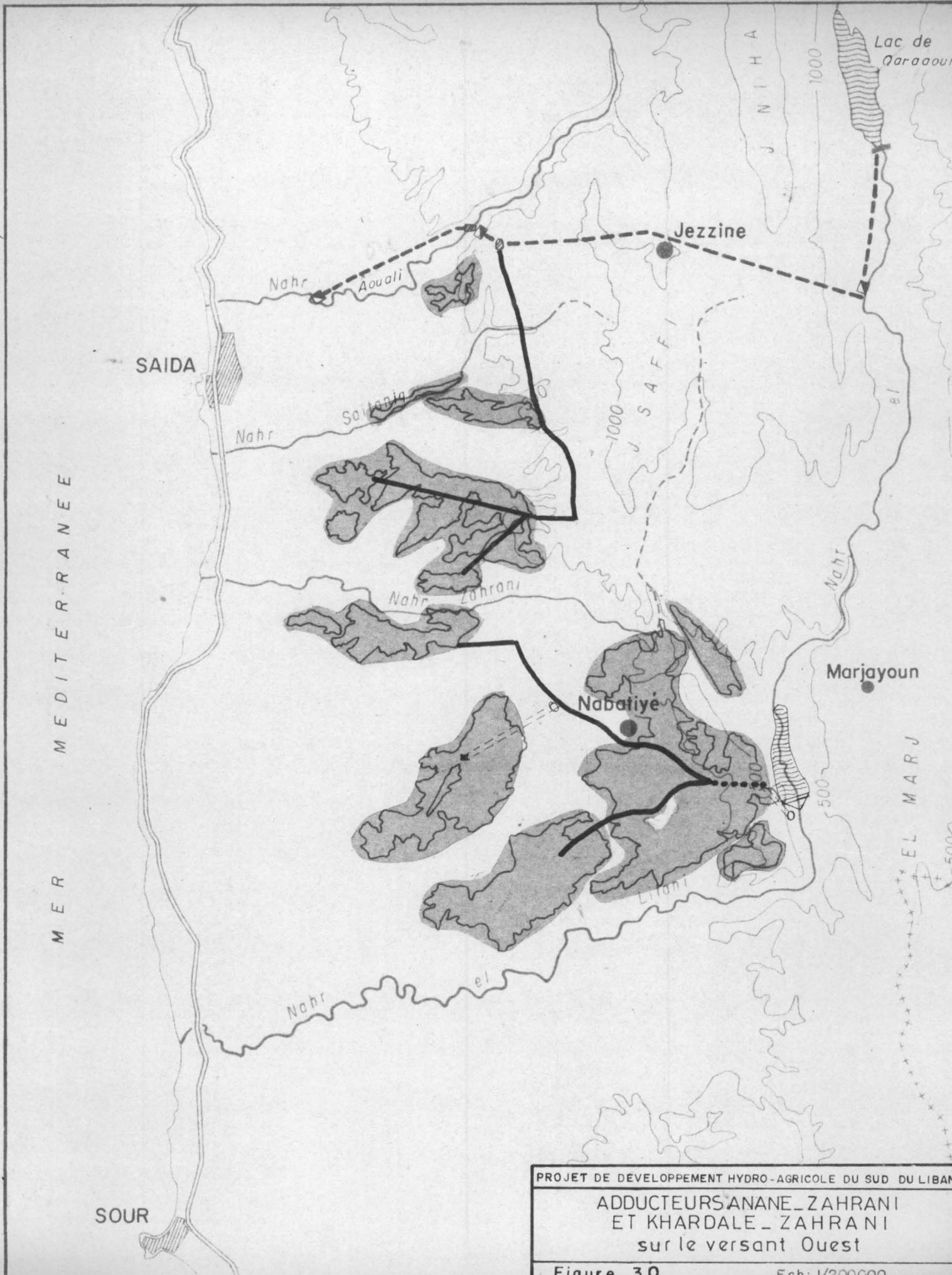


Figure 29

LOCALISATION DES PÉRIMÈTRES
SITUATION DES ENSEMBLES IRRIGABLES

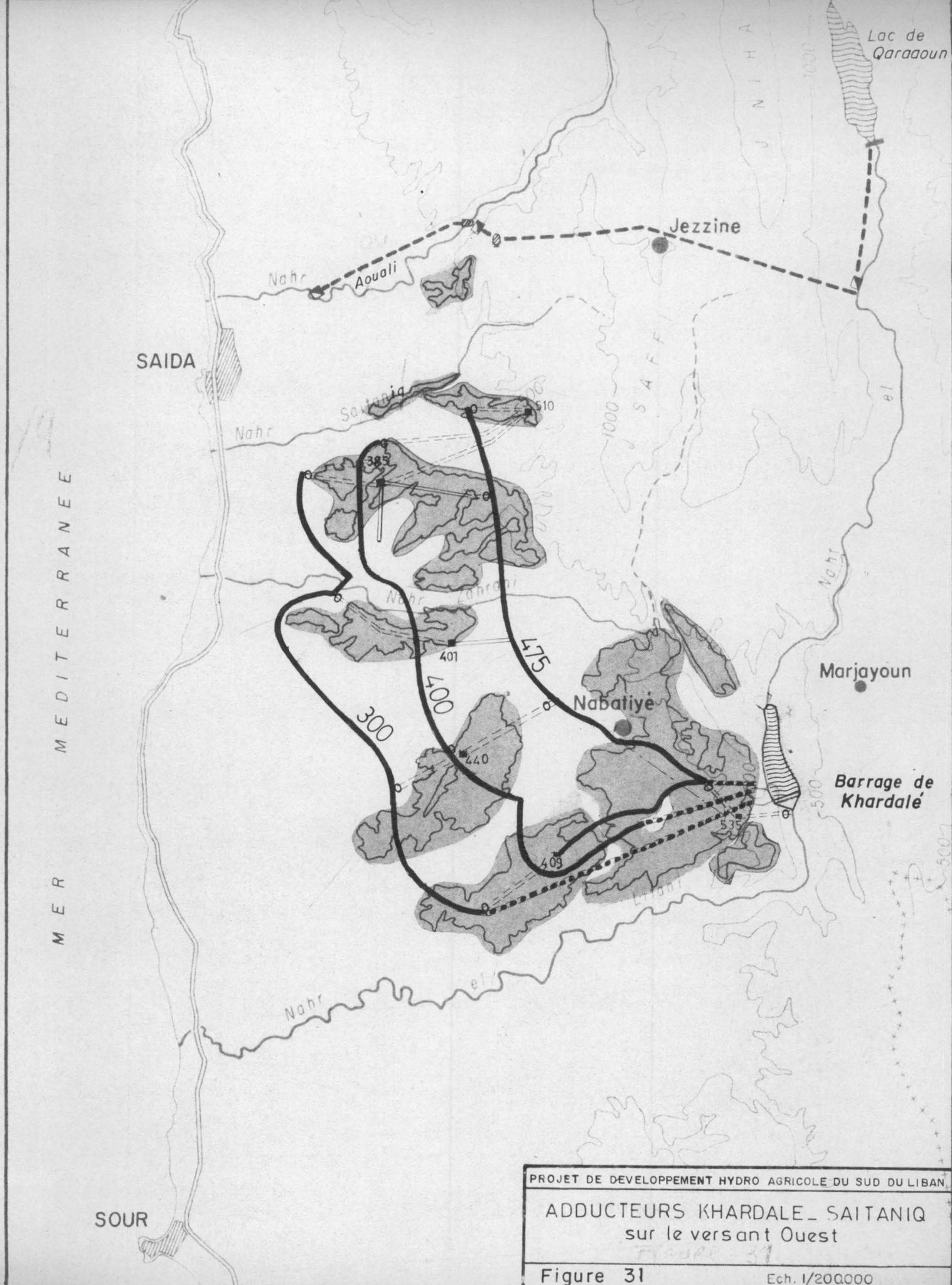


PROJET DE DEVELOPPEMENT HYDRO-AGRICOLE DU SUD DU LIBAN

ADDUCTEURS ANANE-ZAHRANI
 ET KHARDALE-ZAHRANI
 sur le versant Ouest

Figure 30

Ech: 1/200,000

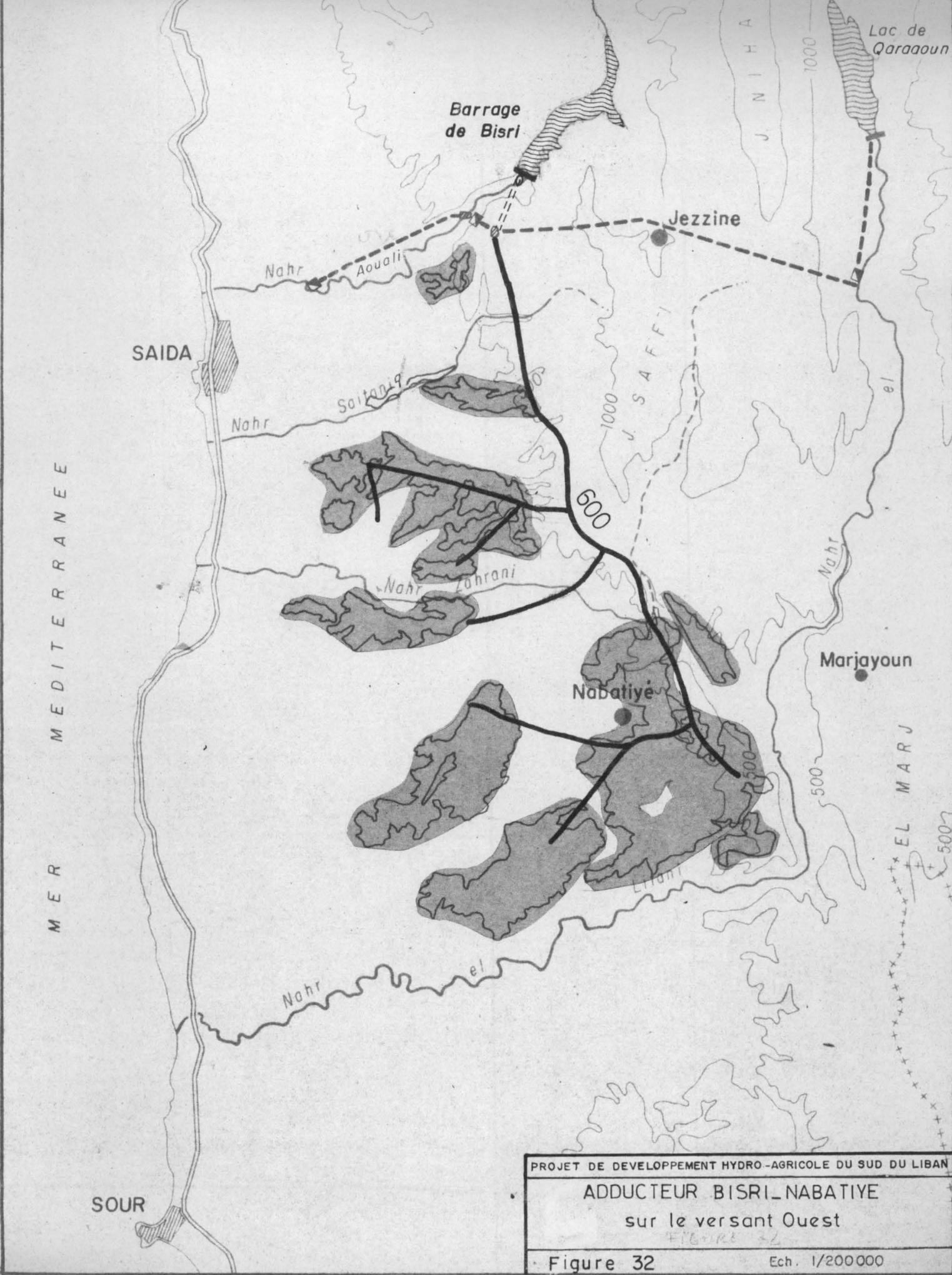


PROJET DE DEVELOPPEMENT HYDRO AGRICOLE DU SUD DU LIBAN

ADDUCTEURS KHARDALE - SAITANIQ
sur le versant Ouest

Figure 31

Ech. 1/200,000



PROJET DE DEVELOPPEMENT HYDRO-AGRICOLE DU SUD DU LIBAN

ADDUCTEUR BISRI-NABATIYE
 sur le versant Ouest

FIGURE 32

MEDITERRANEE

MER

SOUR

REGION SUD-LITANI
Origine de l'eau Localisation des terres

- Qaraaoun exclusivement  Ensembles irrigables II
- Qaraaoun ou Khardalé  Ensembles irrigables II
-  Ensembles irrigables III

ADDUCTEUR KHARDALE-SRIFA

Nahr

MAAROUB

Pt de réalimentation
Srifa 485 m

QANA

KAFRA

Nakoura

Nahr Zahrani

Nahr

Hasbani

Marjayoun

Barrage de Khardalé

Nahr

Litani

JAMEL

PROJET DE DEVELOPPEMENT HYDRO-AGRICOLE DU SUD DU LIBAN

ADDUCTEUR KHARDALE-SRIFA
vers la région Sud-Litani

Figure 33

Ech: 1/200.000