

Les grands aménagements hydrauliques du Maroc

LA MISE EN VALEUR DE LA PLAINE DES ABDA-DOUKKALA

La situation privilégiée de la plaine des Abda-Doukkala, en rive gauche de l'Oum-er-Rebia, l'excellente qualité de ses sols, l'insuffisance et l'irrégularité des précipitations atmosphériques désignaient depuis longtemps cette région comme particulièrement apte à l'irrigation.

Les travaux pour la mise en valeur des Abda-Doukkala ont été décidés peu avant 1939 ; un dahir, en date du 4 février 1939, les a déclarés d'utilité publique. Ils ont débuté, en pleine guerre, par la construction du barrage d'Im'Fout, qui devait accessoirement permettre la production rapide d'énergie électrique, et ont été poursuivis depuis sans interruption.

CHAPITRE I

GENERALITES SUR LES ABDA-DOUKKALA AVANT L'IRRIGATION

A. — Situation - Géologie

Les Abda-Doukkala couvrent environ un million d'hectares entre le rivage atlantique à l'ouest, l'Oum-er-Rebia au nord et à l'est, le massif des Rehamna au sud-est et les collines de Louis-Gentil et des Mouisset au sud.

Cette vaste pénéplaine, dont l'altitude est comprise entre 100 m et 300 m, se divise en deux grandes régions naturelles aux aspects très différents :

- le Sahel, ou région maritime, qui allonge parallèlement au rivage des ondulations gréseuses, suivant une morphologie dunaire.
- la plaine proprement dite, assez régulièrement inclinée vers l'océan.

Du point de vue géologique, les Abda-Doukkala se présentent comme une vaste plateforme provenant de l'arasement d'un massif primaire fortement affecté

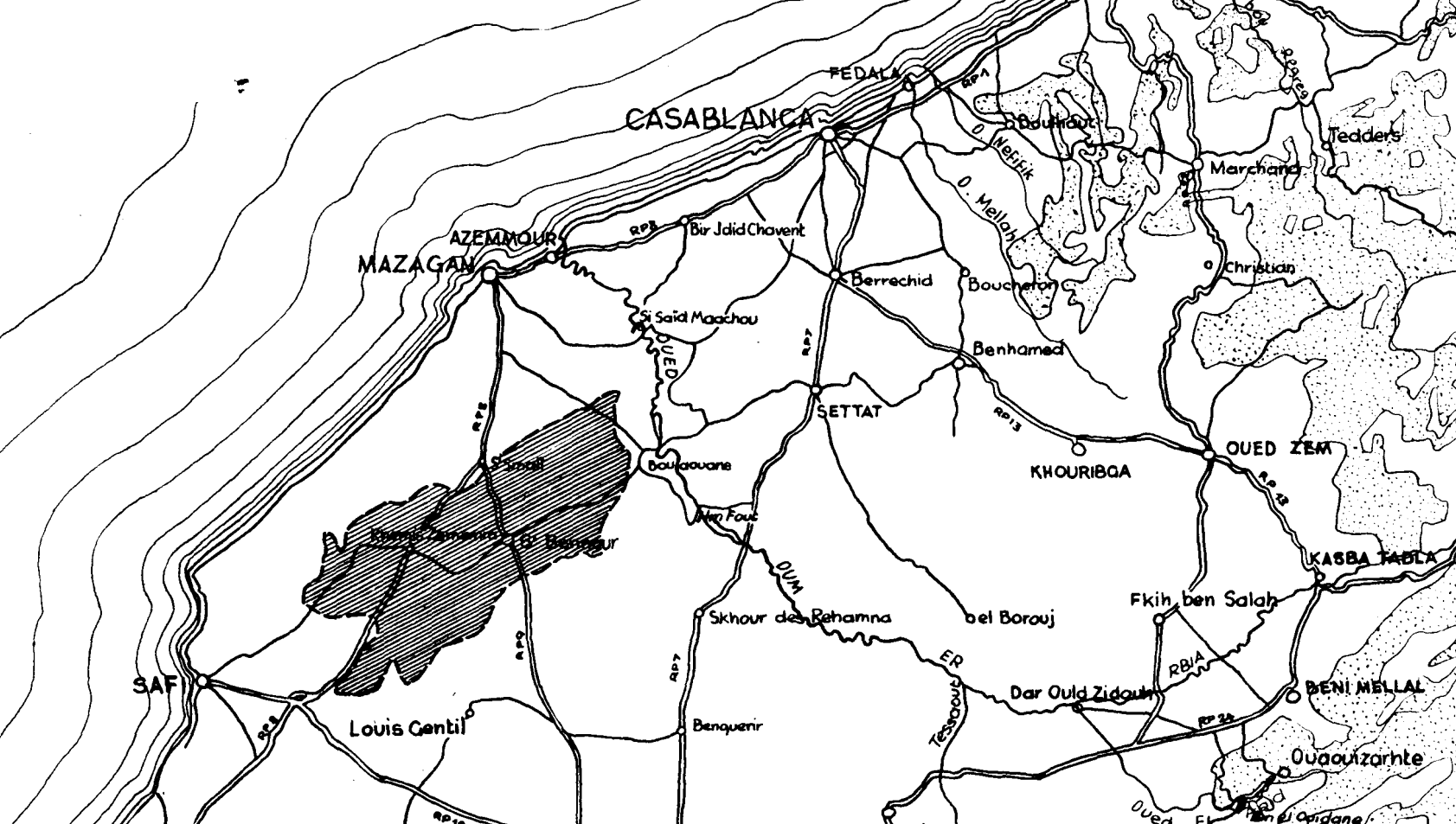
par le plissement hercynien et sur laquelle les sédiments marins et continentaux se sont accumulés depuis le début du secondaire en cuvettes ouvertes vers l'océan. On rencontre, en bordure sud de la plaine, et par taches discontinues, les argiles, grès et conglomérats rouge vif du Permo-Trias. Le crétacé marin, riche en gypse et en sels, sous une épaisseur moyenne de 100 mètres, forme l'essentiel du sous-sol profond. Au-dessus, ce sont les grès calcaires jaunes de la mer pliocène, en une couche continue de 20 à 40 mètres d'épaisseur. Les sédiments continentaux quaternaires, dunes consolidées du Sahel, limons étalés par les eaux de ruissellement des Rehamna, alluvions récentes, forment une couverture de 70 m d'épaisseur moyenne. On rencontre par endroits une croûte calcaire qui affleure sur les pentes, ou émerge en une série de croupes caractéristiques.

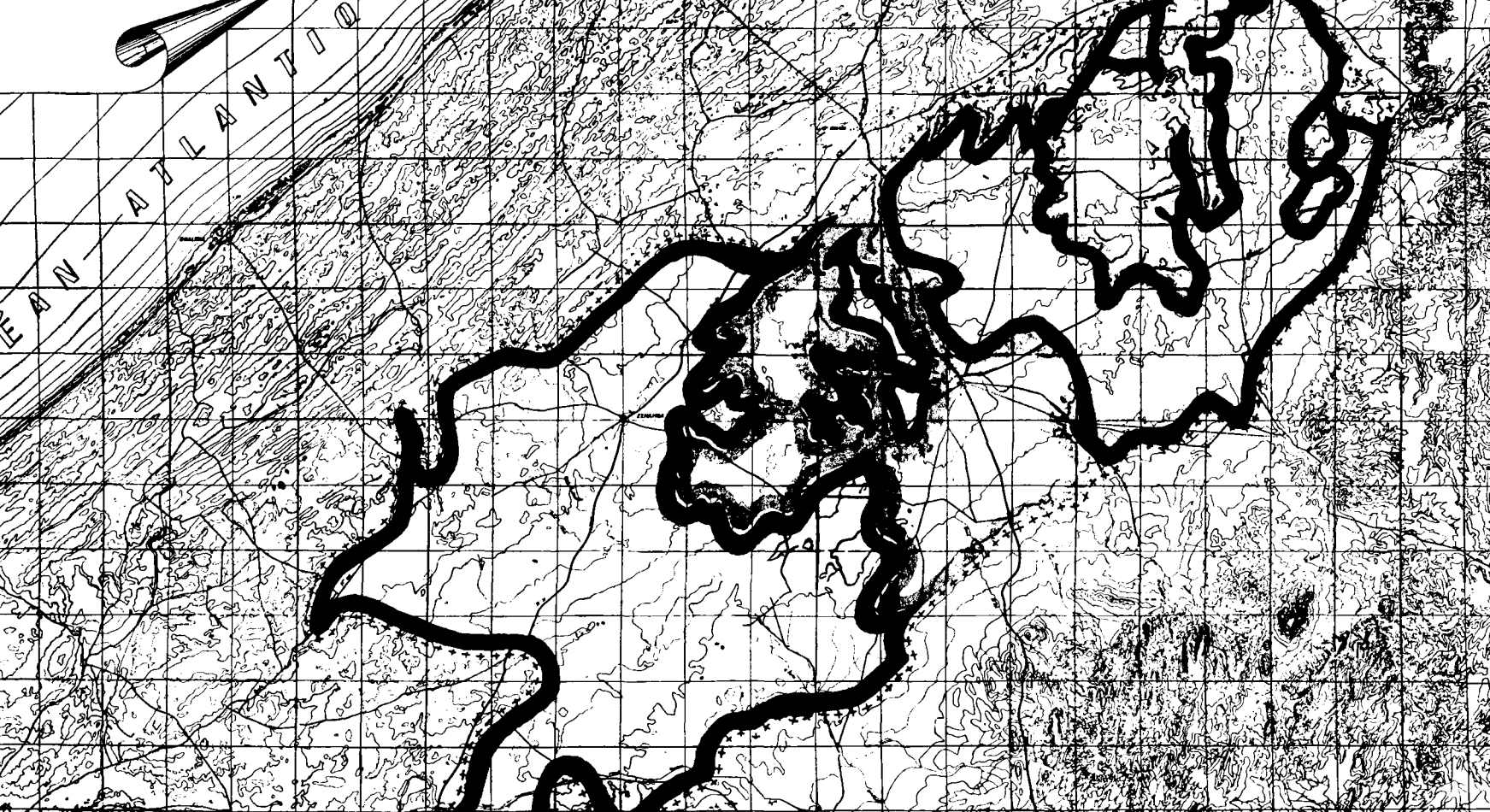
B. — Hydrographie

L'encerclement presque total de la plaine, au nord-ouest et à l'ouest par les plis côtiers du Sahel qui s'opposent à l'écoulement des eaux de ruissellement vers la mer, confère un de ses caractères essentiels au système hydrographique des Abda-Doukkala. Deux oueds seulement trouvent une évacuation normale : ce sont l'Oued Faregh, qui, prenant naissance dans le massif des Rehamna, arrive à se frayer un chemin à travers les collines de l'Oum-er-Rebia, dont il est l'affluent, et l'Oued M'Tal Felfel, qui se forme également dans les Rehamna et trouve un exutoire vers la côte, en direction de Mazagan, après s'être largement étalé dans la plaine, autour de Sidi-Bennour, sans lit bien défini.

Partout ailleurs, les eaux de ruissellement sont recueillies dans un grand nombre de thalwegs, rarement bien marqués, qui aboutissent à des bas-fonds sans écoulement.

Tel est l'Oued Bouchane dont les eaux s'accumulent dans une vaste cuvette, la Daya Fertouaou, au nord-ouest de Sidi-Bennour.





C. — Hydrogéologie

Le sous-sol proche de la surface ne recèle pas de nappe phréatique. Dans la zone irrigable proprement dite, la première nappe rencontrée est contenue dans des lentilles de sables et graviers, irrégulièrement distribuées dans les dépôts continentaux, entre 10 et 50 mètres de profondeur. En raison de son faible débit et de sa répartition capricieuse, cette nappe n'est que de médiocre utilité.

Entre 50 et 70 m on rencontre la nappe du pliocène, notamment au centre de la plaine, autour de Sidi-Bennour, et au sud, dans les Ouled Amrane. Elle s'abaisse régulièrement en direction de l'Océan. Sa teneur en sels dissous est assez élevée.

La nappe du Néocomien, ou nappe des calcaires spathiques, s'écoule entre 10 et 100 mètres, suivant de véritables lits souterrains dont les exutoires sont visibles le long de la côte, de Safi au Cap Cantin, et notamment à l'Aïn Taméi. La qualité de l'eau en est variable : excellente à l'ouest, puisqu'on l'utilise pour l'alimentation de Safi, elle devient médiocre au nord et à l'est.

Le quaternaire, le crétacé et le jurassique recè-

lent également des nappes de moindre importance et très localisées.

D. — Climat

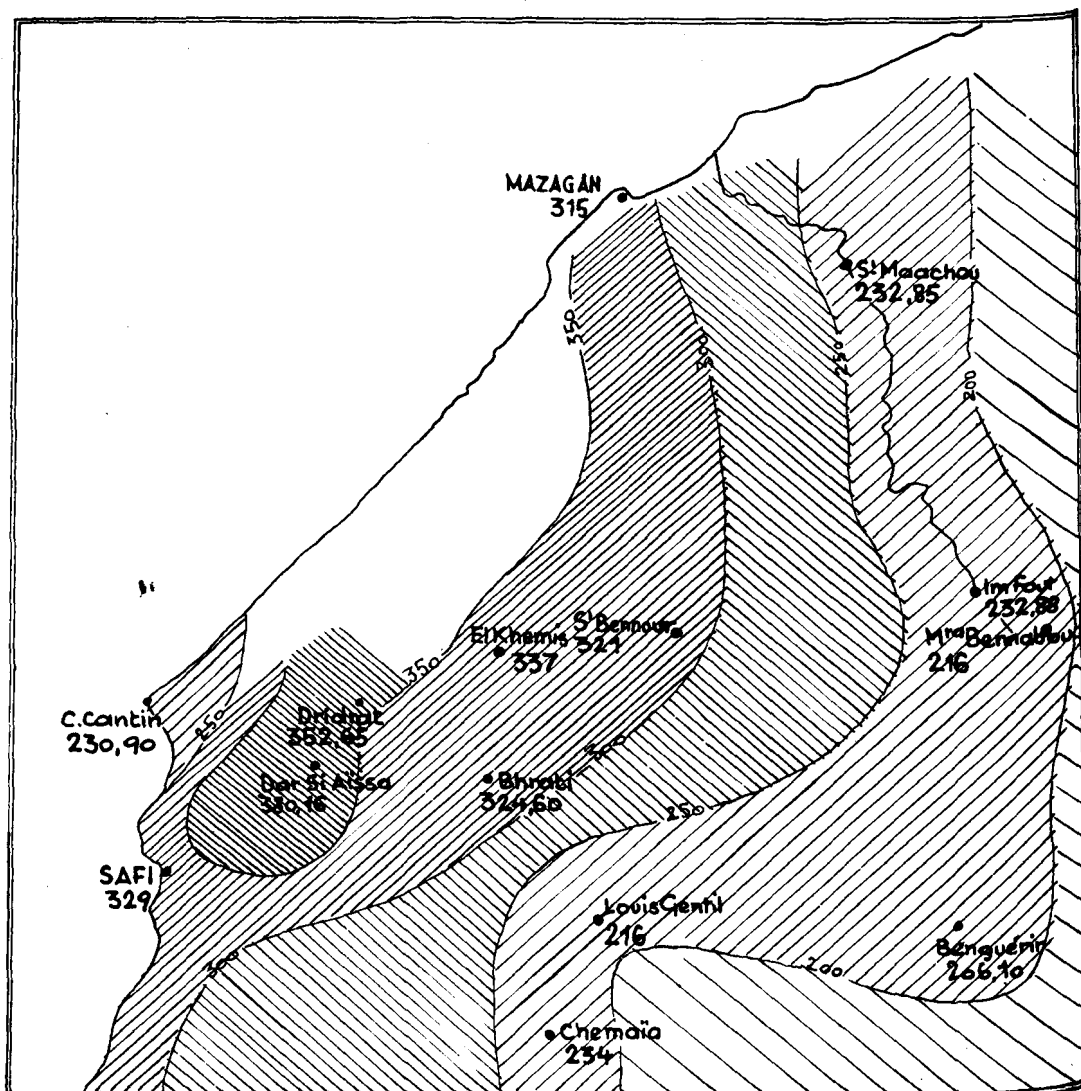
Bien que le climat des Abda Doukkala apparaisse au premier abord comme très sec, un certain nombre de circonstances dues à la proximité de l'océan contribuent à l'améliorer très sensiblement.

Les moyennes pluviométriques annuelles relevées dans les principales régions du périmètre irrigable se situent entre 250 mm et 300 mm. Les pluies se répartissent assez régulièrement sur huit mois, d'octobre à mai, avec des insuffisances, certaines années, en octobre, novembre, mai, et parfois janvier et avril.

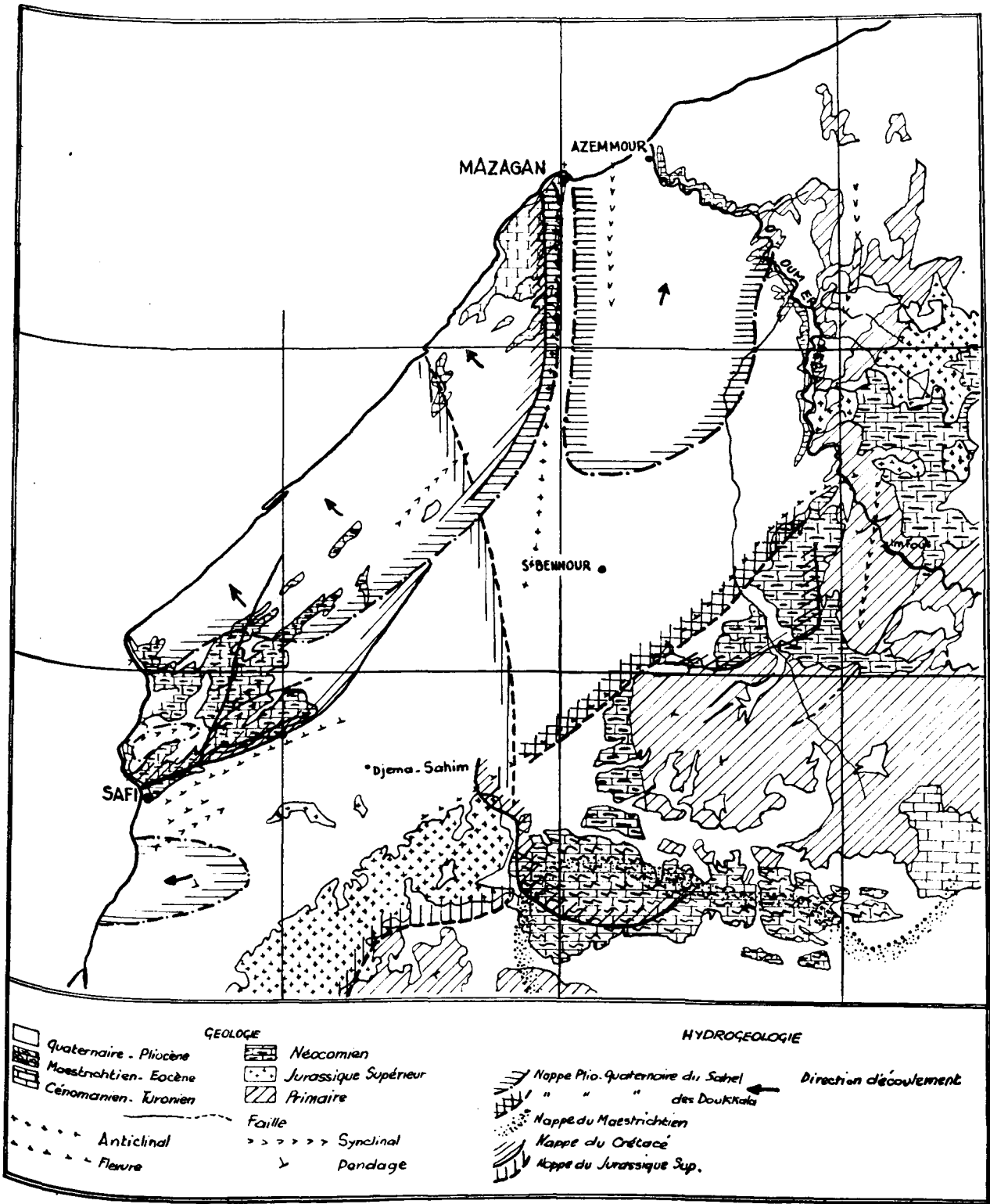
Les hauteurs annuelles peuvent s'écarter notablement des moyennes. Ainsi, à la ferme Thierry, dans la vallée de l'Oued Faregh, sur vingt années d'observations, de 1929 à 1949, deux années ont comporté moins des deux tiers de la pluviométrie moyenne et trois années plus des quatre tiers.

Les résultats d'observation de la station de Sidi-Bennour pour les années 1924 à 1944 sont résumés dans les tableaux ci-après :

Carte pluviométrique des Abda-Doukkala



Carte géologique et hydrogéologique des Abda-Doukkala



PLUVIOMETRIE RELEVÉE A LA STATION DE SIDI-BENNOUR

Années 1924 à 1931

	24-25	25-26	26-27	27-28	28-29	29-30	30-31
	millimètres						
Septembre	0	0	0	2,0	3,0	1,1	7,0
Octobre	27,9	37,5	64,0	25,6	34,0	19,3	0
Novembre	72,5	112,6	85,0	158,5	26,2	23,5	39,5
Décembre	15,0	0	27,0	145,6	88,2	11,0	12,0
Janvier	0	66,0	8,0	24,1	18,6	33,9	57,0
Février	50,8	31,5	37,6	25,4	38,5	38,5	10,5
Mars	70,8	44,0	6,0	53,0	39,2	24,5	64,3
Avril	5,0	13,5	42,0	36,3	17,4	50,8	45,2
Mai	4,0	3,7	6,5	38,5	20,0	11,0	0
Juin	3,0	0	15,2	0	0	40,0	0
Totaux	249	308,8	291,6	509	285,1	253	235,5

Années 1931 à 1938

	31-32	32-33	33-34	34-35	35-36	36-37	37-38
	millimètres						
Septembre	3,5	7,0	0	0	0	0	2,2
Octobre	24,7	21,0	22,6	25,8	37,8	11,5	93,1
Novembre	0	8,0	117,2	125,1	7,9	56,7	24,4
Décembre	27,0	48,5	100,6	15,1	25,1	29,5	28,8
Janvier	7,0	53,3	0	28,8	45,6	30,2	21,3
Février	42,7	48,7	14,5	25,5	69,2	0,8	4,6
Mars	93,0	48,9	69,6	7,5	96,1	17,7	16,0
Avril	19,0	11,0	43,8	11,0	24,5	5,5	37,7
Mai	0	0	8,8	8,4	13,7	22,0	25,4
Juin	0	0	0	1,7	0	0	0
Totaux	216,9	246,4	377,3	248,9	319,9	173,9	253,5

Années 1938 à 1944

	38-39	39-40	40-41	41-42	42-43	43-44
	millimètres					
Septembre ..	1,8	0	22,8	0	13,7	27,8
Octobre	70,9	102,5	116,6	8,1	100,1	30,9
Novembre ..	9,0	74,8	31,2	66,4	89,1	21,6
Décembre	125,2	87,8	13,3	44,2	55,8	108,4
Janvier	39,4	63,8	102,3	33,4	13,4	14,0
Février	57,3	47,0	40,9	96,6	1,0	118,8
Mars	9,1	39,7	39,3	15,3	28,8	7,5
Avril	17,5	0	57,9	38,2	29,7	0,8
Mai	7,6	17,1	3,3	1,0	37,3	5,6
Juin	1,0	0	0,1	0	0	18,9
Totaux	338,8	432,7	427,7	303,2	368,9	354,3

Le climat des Abda-Doukkala bénéficie d'un facteur éminemment favorable : l'humidité de l'atmosphère.

Le degré hygrométrique de l'air ne s'abaisse vraiment que pendant les deux ou trois mois les plus secs et ne s'en relève pas moins la nuit, même au cours de ces mois. Les rosées sont fréquentes, ainsi que les brouillards, et « contribuent, les uns en augmentant la quantité d'eau qui pénètre dans le sol, les autres en diminuant l'évaporation, à rendre ce pays, au premier abord semi-désertique, presque semi-humide » (M. Aubert. Observations sur la mise en valeur des Doukkala-Abda par l'irrigation).

La station installée à Boulaouane par le Service de physique du globe et de météorologie a relevé en 1952 les degrés hygrométriques suivants (exprimés en pourcentage de la saturation à 100 %) :

MOIS	Degré hygrométrique (moyenne du Mois)	
	Maximum	Minimum
Janvier	99,8	48,4
Février	99,1	36,1
Mars	92,7	26,0
Avril	99,4	35,7
Mai	98,6	35,5
Juin	96,6	28,4
Juillet	94,0	26,6
Août	97,6	25,3
Septembre	97,8	29,8
Octobre	93	26,8
Novembre	94,5	28,0
Décembre	98,5	46,6

D'octobre à mai, les vents dominants viennent de l'ouest et du sud-ouest et apportent la pluie. De mai à septembre, le foyer d'appel des basses pressions se déplace de la Méditerranée vers le Sahara et les vents dominants, secs, viennent alors du nord, du nord-est et de l'est (chergui).

La brise marine souffle très régulièrement en été. Chaque jour, de midi à 16 heures, l'influence s'en fait ressentir jusque dans l'arrière-pays.

La température moyenne est de l'ordre de 19° mais son amplitude annuelle est forte, puisque les minima absolus y descendent un peu au-dessous de 0° et que les maxima absolus atteignent 50°.

A Sidi-Bennour, les températures moyennes annuelles s'établissent ainsi (observations de l'année 1946) :

MOIS	Température	
	Maximum	Minimum
Janvier	18,1	4,5
Février	19	5,9
Mars	20,9	7,1
Avril	23	6,3
Mai	27,1	11,7
Juin	29,9	14,4
Juillet	34,6	15,7
Août	35,6	16,9
Septembre	31,9	14,9
Octobre	27,8	12,8
Novembre	21,6	9,0
Décembre	18,7	5,7

E. — La végétation

« D'après le tableau de la végétation de L. Emberger, les Doukkala appartiennent à la zone de brousse semi-aride à oliviers pistachiers et palmiers nains (doums).

Sa dégradation par l'homme donne naissance à un premier stade, substeppique, appauvri en espèces arborées, enrichi en palmiers nains. Ce stade est assez riche en humus.

Mais une dégradation plus poussée remplace cette formation par une autre, plus pauvre, essentiellement à graminées et plantes herbacées diverses.

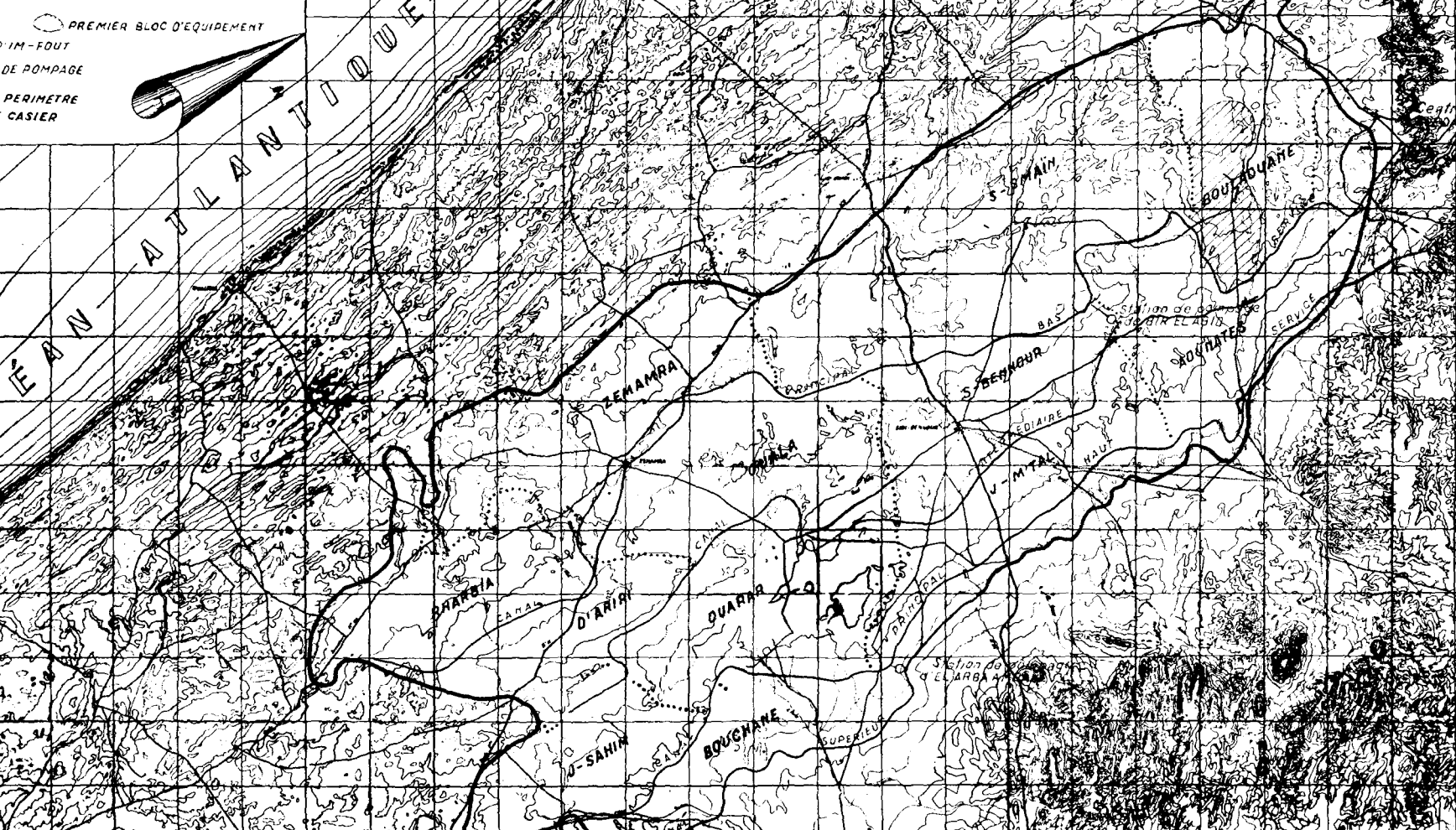
La mise en culture de ces sols tend à leur donner les mêmes caractères que ceux d'un sol de steppe. Aussi, les sols des Doukkala, quel qu'ait pu être leur type original d'évolution, ont-ils tendance à prendre les mêmes caractères, ceux d'un sol de steppe à matière organique assez régulièrement répartie dans l'ensemble du profil. » (M. Aubert, « Observations sur la mise en valeur des Doukkala-Abda).

F. — Description des régions naturelles

La partie continentale de la plaine des Abda-Doukkala est constituée par une série de plateaux, plus ou moins mamelonnés, et de zones déprimées formant de véritables cuvettes mal drainées.

On distingue de l'est à l'ouest :

- la vallée de l'Oued Faregh, bien dessinée, qui s'ouvre largement vers le nord.
- le Horst, ou promontoire entre la vallée du Faregh et le lit du M'Tal, qui retombe vers Sidi-Smaïn en falaises abruptes sur une série de dépressions



présahariennes, et présente une topographie irrégulière et parfois dunaire.

- la plaine de Sidi-Bennour, d'une belle régularité.
- la zone centrale de sables, vaste région au relief irrégulier, caractérisée par la présence de plages sableux très profonds, d'origine éolienne.
- la région des buttes témoins, autour de Zemamra, parsemée de nombreuses émergences de croûte calcaire, souvent occupées par des villages.
- la grande plaine des Ouled Amrane, régulière, de pente douce et qui se termine à l'ouest par deux culs-de-sacs, en direction de Safi et de Jema-Sahim.

G. — Les sols

Les sols des Abda-Doukkala ont fait l'objet de plusieurs études, depuis 1946. Les renseignements ci-dessous sont tirés du rapport rédigé le 2 novembre 1951 par M. G. Aubert, Maître de Recherches à l'I.N.R.A.

Les sols rencontrés se rattachent aux groupes suivants :

1°) Sols rouges tempérés ou rouge châtain.

Leurs caractères essentiels sont la couleur, d'un rouge intense, leur délimitation très franche avec la roche sous-jacente, et la distribution, décroissante en profondeur, de la matière organique et de l'humus. Ils représenteraient, selon M. Aubert, des sols formés jadis sous une végétation de forêt méditerranéenne assez claire, disparue sous l'action de l'homme et remplacée par des cultures de céréales. Ils sont aptes à l'irrigation.

On les rencontre à l'est du périmètre dans la vallée du Faregh et la plaine de Sidi-Bennour.

2°) Sols rouges lessivés.

Analogues aux précédents, ils sont de plus très sableux et perméables en surface, avec un horizon profond très argileux, dur et compact. On les rencontre relativement peu (Beni-Hellal, Sidi-Bennour). Leur irrigation sera délicate.

3°) Sols lessivés sableux.

Ils s'apparentent aux sols ferrugineux tropicaux lessivés et ont été vraisemblablement constitués par un apport de sable éolien sur un horizon argileux issu lui-même d'un processus de lessivage.

Ces sols, qualifiés de sables purs dans des études pédologiques antérieures à celle de M. Aubert, couvrent de grandes étendues qui portent fréquemment des vignobles et des vergers de figuiers. On les ren-

contre dans la vallée du Faregh, la plaine de Sidi-Bennour et la zone centrale des sables.

Ces sols paraissent à peu près inaptes à l'irrigation.

4°) Sols châtaîns steppiques.

Profonds, compacts, faiblement perméables en profondeur, ces sols sont fertiles en culture sèche. Ces qualités deviendront toutefois des défauts en culture irriguée.

Ils sont très développés autour de Sidi-Bennour.

5°) Tirs.

Ce sont des sols compacts et massifs, faiblement perméables, marécageux, à horizon supérieur gris foncé. On les rencontre sur de vastes étendues entre Zemamra et Jema-Sahim.

Selon MM. Bryssine et Jaminet, leur développement dans cette partie de la plaine est due, d'une part au manque d'exutoires pour les eaux de ruissellement, cause de stagnation, et d'autre part à une humidité atmosphérique plus élevée. M. Aubert pense que l'irrigation de ces sols sera délicate et qu'il sera nécessaire de les travailler de temps à autre profondément, puis de les maintenir à sec, bien ouverts, pendant une partie de la saison sèche. Ils se prêteraient bien à des prairies temporaires.

6°) Sols à croûte calcaire.

Peu répandus. On les rencontre surtout au voisinage de Zemamra, dans la région dite « des buttes témoins ».

7°) Sols alluviaux.

Ils sont généralement fertiles, bien que très battants et peu perméables en surface par suite de leur grande richesse en éléments fins.

Ils occupent des étendues importantes dans la vallée du Faregh.

H. — La population

La densité démographique des Abda-Doukkala est une des plus fortes du Maroc ; elle est du même ordre que celle de la proche région de Casablanca, soit 60 à 94 habitants au km², densité qui correspond en moyenne à un habitant par hectare cultivé.

Le croît démographique annuel est important. Le rapprochement des recensements de 1936 à 1947 montre qu'il est de l'ordre de 2 % l'an.

Un morcellement extrême caractérise la propriété dans les Abda-Doukkala. Ainsi, dans la circonscript-

tion de Sidi-Bennour, la répartition de la propriété marocaine se détaille comme suit :

Propriétés de moins de 1,5 ha	37,2 %
» de 1,5 à 3 ha	21,1 %
» de 3 à 7 ha	25 %
» de 7 à 14 ha	11 %
» de 14 à 28 ha	4 %
» de 28 à 40 ha	0,9 %
» de plus de 40 ha	0,8 %

On trouve très peu de terres collectives ; les exploitations européennes sont peu nombreuses également ; les unes et les autres occupent à peine 0,5 % de la superficie totale.

Les fellahs des Abda-Doukkala comptent parmi les meilleurs du Maroc. Ils aiment la terre et savent la travailler.

K. — Les cultures

En l'absence d'irrigation, les cultures, qui portent sur environ les 2/3 de la surface totale, se répartissent sensiblement comme suit :

Blé dur	8 %
---------	-----

Blé tendre	11 %
Orge	28 %
Maïs	38 %
Cultures diverses (fèves, pois chiches, lin, cultures maraîchères, alpistes, mil, petits pois, fenugrec, avoine, henné)	3 %

Les rendements culturaux actuels sont très variables, à raison même de l'irrégularité des précipitations atmosphériques annuelles, et en moyenne assez médiocres.

Blé dur	4,6	quintaux l'hectare.
Blé tendre	4,9	quintaux l'hectare pour les exploitations marocaines.
»	7,8	quintaux l'hectare pour les exploitations européennes.
Orge	9,4	quintaux l'hectare.
Maïs	5	quintaux l'hectare.

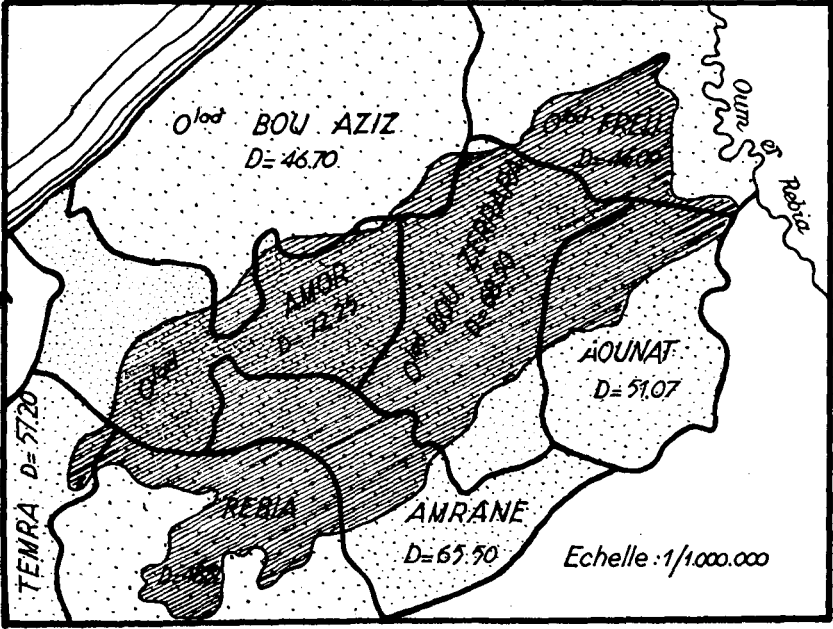
Le vignoble indigène est important et représente un tiers environ de l'ensemble du vignoble indigène au Maroc.

Par contre, l'arboriculture est pratiquement inexistante.

POPULATION

RECENSEMENT 1951.52

Densités au km²



CHAPITRE II

B. — Le barrage d'Im'Fout

L'IRRIGATION DANS LES ABDA-DOUKKALA

A. — Les quantités d'eau nécessaires

La détermination des zones aptes à l'irrigation a fait l'objet d'un certain nombre d'études, parfois contradictoires ; mais il semble bien, à la suite des travaux de MM. Grillo, Bryssine et Jaminet, de la Direction de l'Agriculture, et Aubert, maître de recherches à l'I.N.R.A., que la superficie irrigable, déduction faite des croupes non dominées, des fonds de cuvette et des emprises nécessaires pour les pistes et ouvrages, soit de l'ordre de 150.000 ha. Un rapport très récent, en date du 22 juin 1954, émanant de la Division de la Mise en Valeur et du Génie Rural, avance même le chiffre de 175.500 ha.

Une carte pédologique au 1/50.000^e a été dressée par les Services de l'Agriculture pour l'ensemble du périmètre.

Pour la détermination des modules de pointe, chiffres qui n'ont pour l'instant d'autre utilité que de permettre de définir la pointure à donner aux artères maîtresses, l'expérimentation agricole, entreprise en 1950 à la station expérimentale de Boulaouane, n'est que d'un faible secours, en raison d'une part du peu d'années d'observations et d'autre part du caractère trop spécial du sol de la station, dont le type se retrouve assez rarement dans le périmètre.

Aussi bien, les modules d'irrigation admis pour l'étude de l'avant projet, résultent-ils d'un compromis entre des chiffres très élevés issus de considérations de caractère théorique, dues au Génie Rural, et faisant état de plans de cultures supposés, et des chiffres plus modestes issus de l'expérience des périmètres algériens et marocains déjà en exploitation.

Nature des terres	Module de pointe l/sec/ha irrigué
Sols châtaîns et rouges lourds	0,45 l/sec/ha
Sols rouges légers.....	0,34 »
Tirs	0,43 »

Compte tenu de ces modules de pointe et des superficies considérées comme irrigables, le débit maximum à dériver sera de 64 m³/sec.

Il va de soi, que ce débit réserve une marge de sécurité relativement importante, permettant de répondre à l'appel du jour le plus chaud de l'année ainsi que d'envisager l'implantation de cultures avides d'eau.

La construction du barrage d'Im-Fout, qui a été réalisée entre 1939 et 1946, avait pour but à l'époque, non seulement l'irrigation du périmètre des Abda-Doukkala, mais également et surtout la production rapide d'énergie électrique.

Aussi bien ses caractéristiques essentielles, et notamment sa cote de retenue, ont-elles été déterminées sans qu'il ait été véritablement tenu compte des besoins de l'irrigation.

C'est un barrage poids, de 42 m 50 de hauteur totale, pour une hauteur de retenue de 38 m. Bien que le volume de l'eau emmagasinée à la cote 190, cote de retenue normale, soit de 83 millions de m³, le barrage ne permettait, avant la mise en service du barrage de Bin-el-Ouidane, qu'une régularisation hebdomadaire correspondant à une tranche d'eau utilisable de 5 m.

La crue maximum du fleuve, évaluée à 3.500 m³/sec, peut être évacuée par cinq pertuis de 12,25 × 8,25, commandés par des vannes secteur.

L'eau est amenée à l'usine par une galerie en charge de 6 mètres de diamètre intérieur, capable de débiter 150m³/sec. Une galerie de vidange permet d'évacuer 50 m³/sec.

L'usine comporte deux turbines Kaplan de 50 m³/sec chacune, susceptibles de donner à elles deux, sous 36 m 50 de chute nette, une puissance de 31.200 kW. L'emplacement d'une troisième turbine a été réservé.

L'équipement actuel correspond donc au débit moyen de l'Oum-er-R'bia à Im'Fout, qui est de 102 m³/sec (moyenne des observations de 1918 à 1948).

L'usine fournit au réseau, en année moyenne, une énergie de 140 millions de kilowatts-heure.

C. — La galerie tête morte

L'adduction en tête du périmètre irrigable, dans la région de Boulaouane, des débits nécessaires, exigeait la construction d'une galerie, les sinuosités du lit de l'Oum-er-R'bia et le caractère abrupt des berges, d'ailleurs entrecoupées de nombreuses rivières, excluant toute possibilité de construire un canal latéral à ciel ouvert.

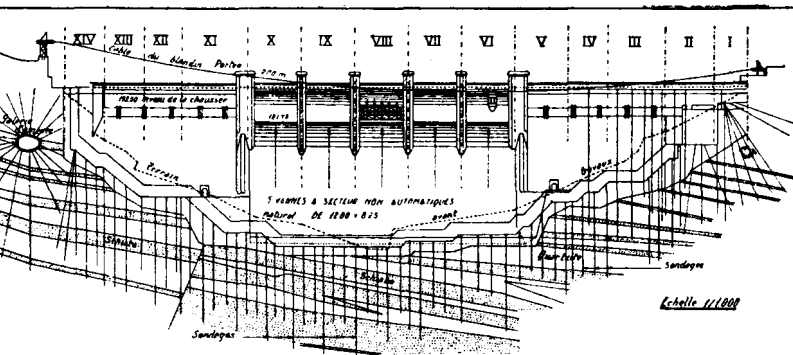
La galerie, telle qu'elle a été réalisée, a 16.773 m de longueur et 5 m 30 de diamètre intérieur ; elle est entièrement revêtue avec une épaisseur de béton sur pointes variant, suivant les sections, de 0 m 30 à 0 m 50.

La détermination des caractéristiques du revêtement a fait l'objet d'essais extrêmement intéressants, dont le détail sortirait du cadre de la présente notice, mais sur lesquels toutefois nous estimons nécessaire de nous attarder.

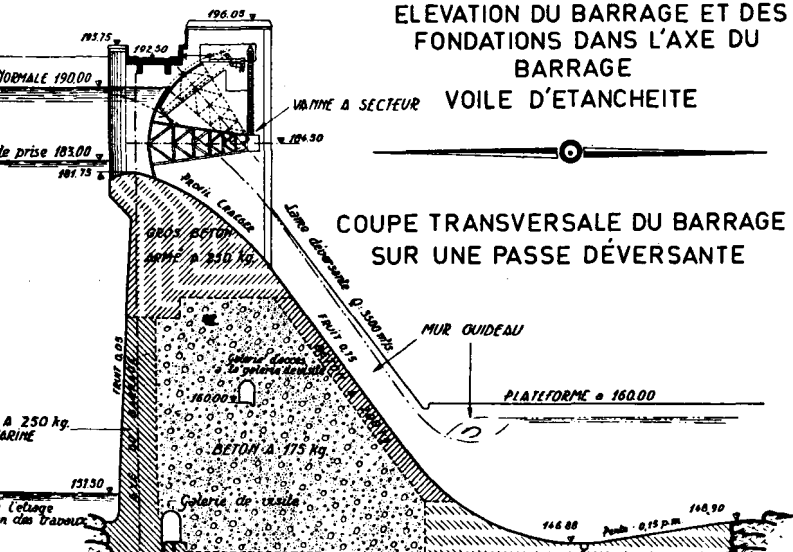
Im'Fout - Vue générale



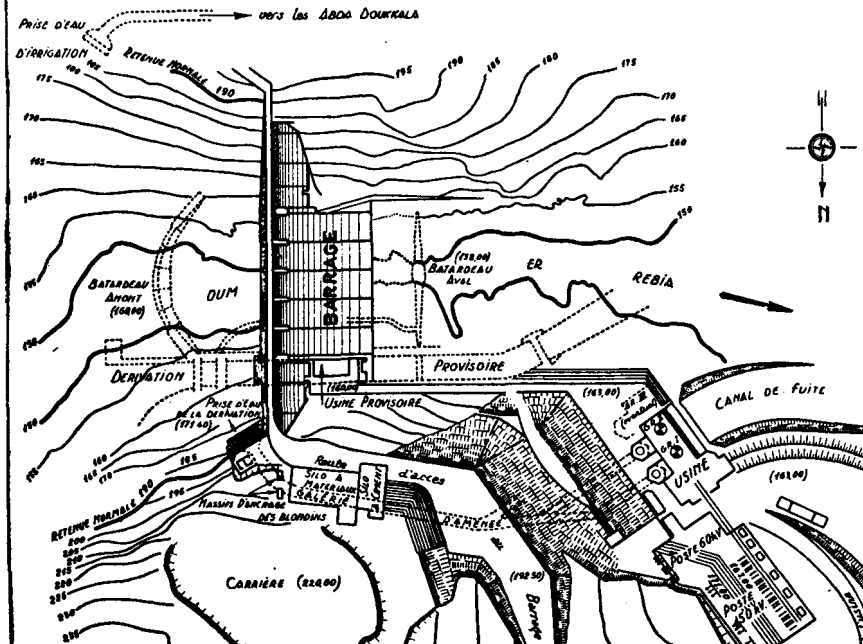
À gauche : Salle de manœuvre et soutes — A droite : Ouvrage de prise d'eau (stationnement provisoire)

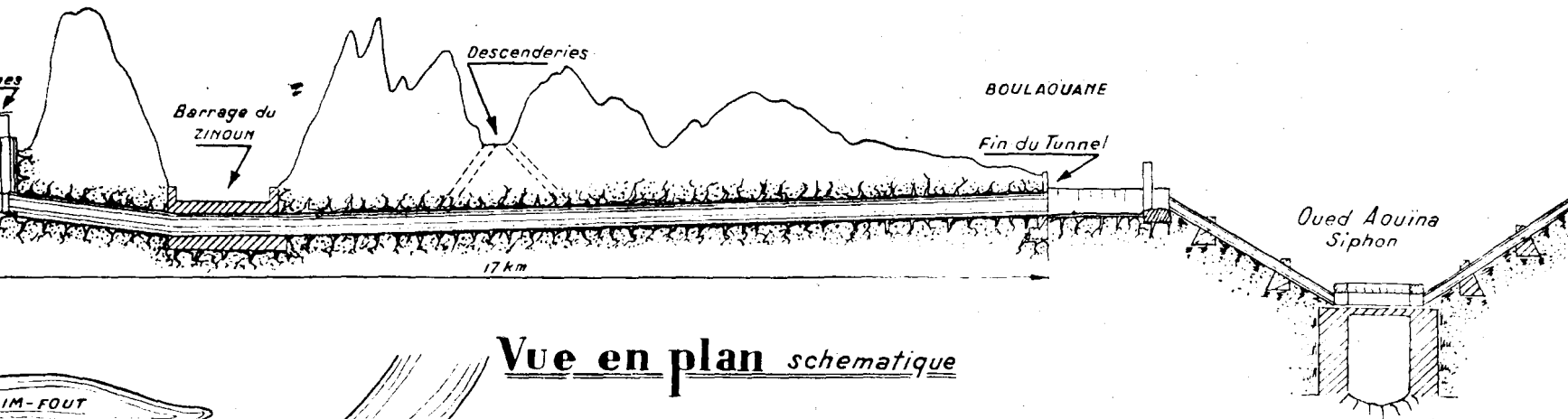


ELEVATION DU BARRAGE ET DES
FONDACTIONS DANS L'AXE DU
BARRAGE
VOILE D'ETANCHEITE

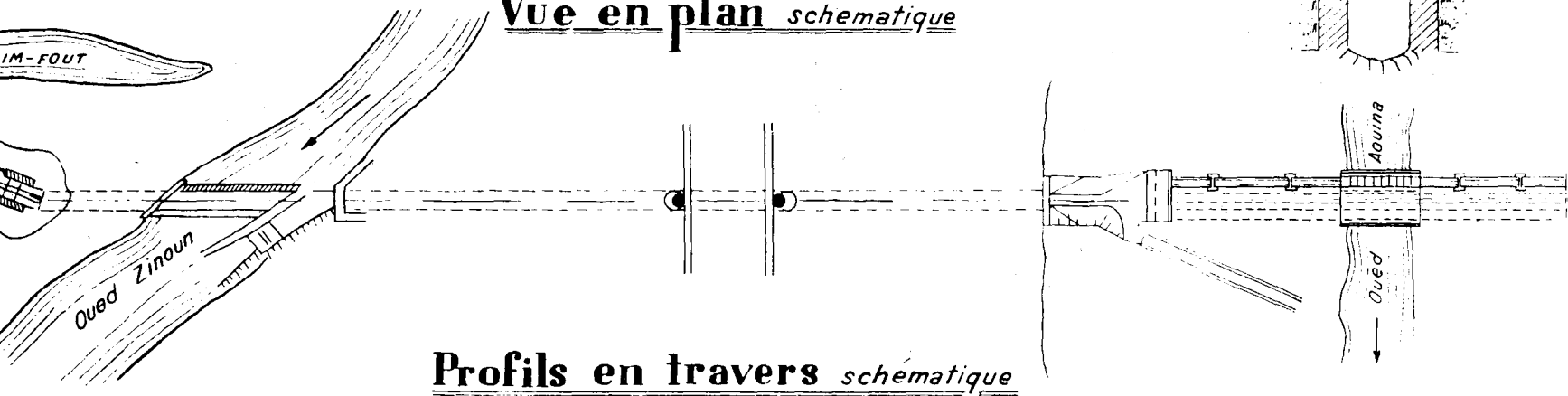


PLAN D'ENSEMBLE DES OUVRAGES

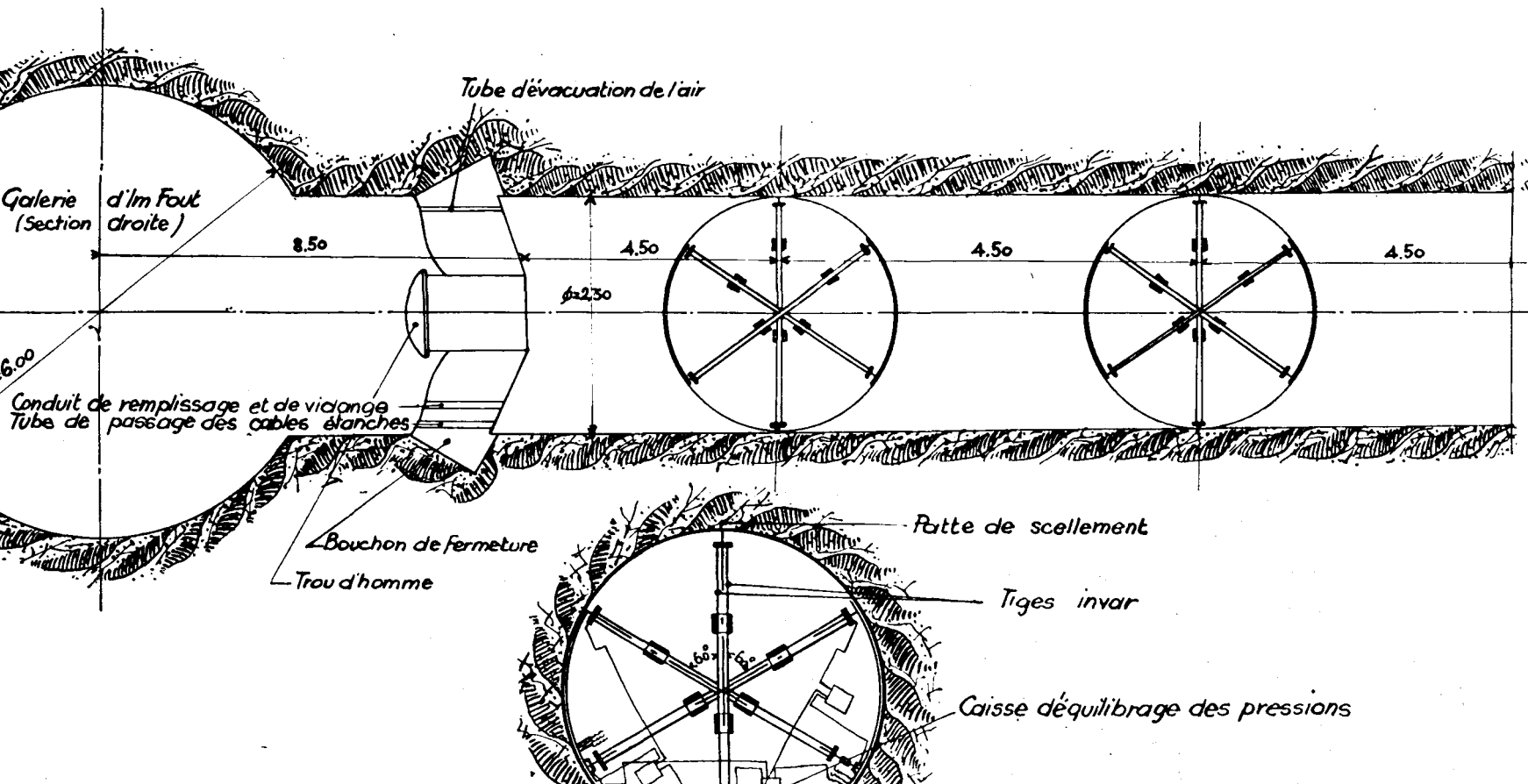




Vue en plan *schematique*



Profils en travers *schématique*



Les essais avaient pour but la recherche des modules élastiques, ou plus exactement des indices de déformation des terrains encaissants. Ils ont été effectués systématiquement, dans le tunnel lui-même.

Les terrains essayés, souvent coupés de failles, se rattachaient à des types très différents, allant des grès tendres rayables à l'ongle, des alluvions grossières à peine cimentées aux schistes et aux quartzites les plus durs.

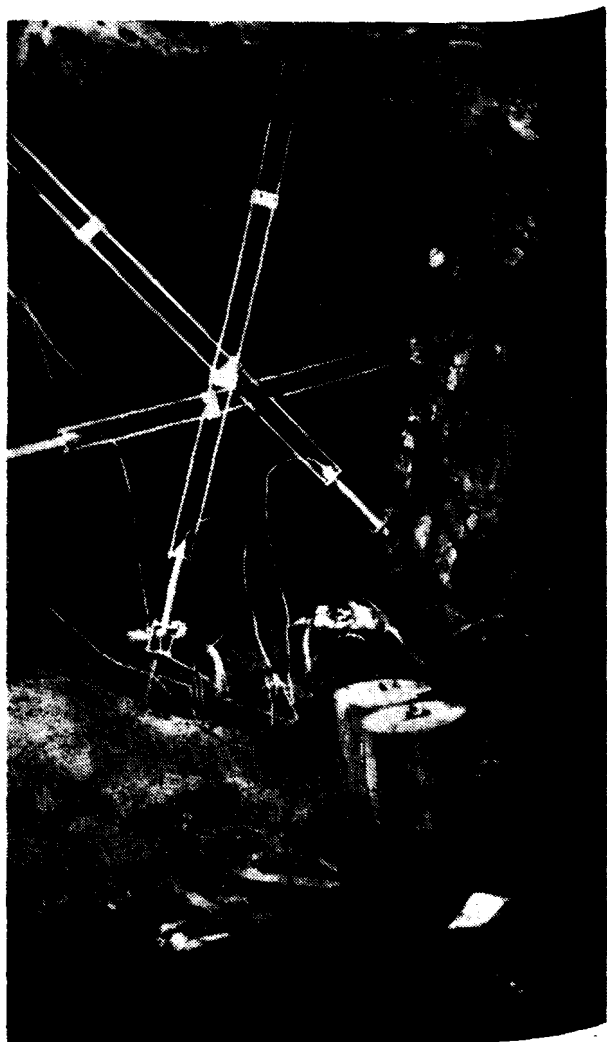
Le programme d'étude a comporté trois séries d'essais. En premier, il a été procédé à quarante-deux chargements au vérin dans des terrains se rattachant à vingt-deux types différents.

Les hypothèses de calculs dégagées de ces mesures, ont été mises à l'épreuve dans une deuxième série d'essais, qui a consisté dans l'étude systématique des déformations de dix galeries nues ou bétonnées sous l'action d'une pression intérieure variable.

La dernière série d'essais a porté sur l'amélioration qu'on pouvait espérer obtenir en effectuant des injections de ciment à haute pression (20 à 40 kg/cm²), derrière le revêtement.



*Galerie non revêtue
Section équipée de trois témoins Coyne — Mesure
perpendiculaire au pendage et à 60° sur le pendage*



Section équipée de trois témoins diamétraux

La technique utilisée pour les essais au vérin était celle de la semelle souple ; entre le vérin et le rocher on interposait un disque en caoutchouc, armé de toiles fortes ; un orifice circulaire limité par une gaine en acier et ménagé au centre du disque permettait le passage d'un palpeur maintenu par un ressort dont les mouvements, amplifiés deux fois, étaient enregistrés par un comparateur solidaire d'un système de référence fixe. Des comparateurs latéraux mesuraient les déformations sur les bords, à l'extérieur du cercle chargé.

Pour les essais en petite galerie il a été fait appel aux procédés acoustiques Coyne.

Les galeries d'essai avaient un diamètre de 2 m 30 et chacune constituait un modèle réduit du tunnel. Elles étaient établies, soit parallèlement à la galerie principale, soit perpendiculairement de manière à recouper les couches de terrain sensiblement sous la même incidence.

Un bouchon de chaudière obturait la galerie qu'on remplissait d'eau sous pression (0 à 7 kg/cm²).

Des témoins acoustiques fixés par des tiges en métal invar, scellés dans le béton ou le rocher, selon

que la galerie était revêtue ou non, permettaient la mesure des déformations diamétrales avec une précision de 0,4 microns.

On évitait l'aplatissement des témoins en assurant l'équilibrage de la pression d'air intérieure et de la pression d'eau par une liaison avec une cloche à plongeur.

L'étude de chaque galerie comportait une montée en charge rapide par paliers successifs et l'exécution de plusieurs cycles, puis le maintien d'une charge déterminée pendant un long intervalle de temps, de dix jours au minimum et pouvant aller jusqu'à vingt jours, pour observer un éventuel fluage. L'essai se terminait par une succession de cycles rapides.

Les résultats des mesures sont très variables d'un point à l'autre. Pour certains quartzites le module atteint 700.000 kg/cm², de telle sorte qu'un simple revêtement, d'épaisseur minimum, bien appuyé au terrain, doit suffire à assurer la stabilité du tunnel. Par contre pour certains terrains tendres, ou très fissurés, le module peut être considéré comme pratiquement nul. Dans ce cas il faut soit réaliser un revêtement armé, soit prévoir des injections à haute pression destinées d'une part à améliorer le terrain et d'autre part à mettre le revêtement en compression.

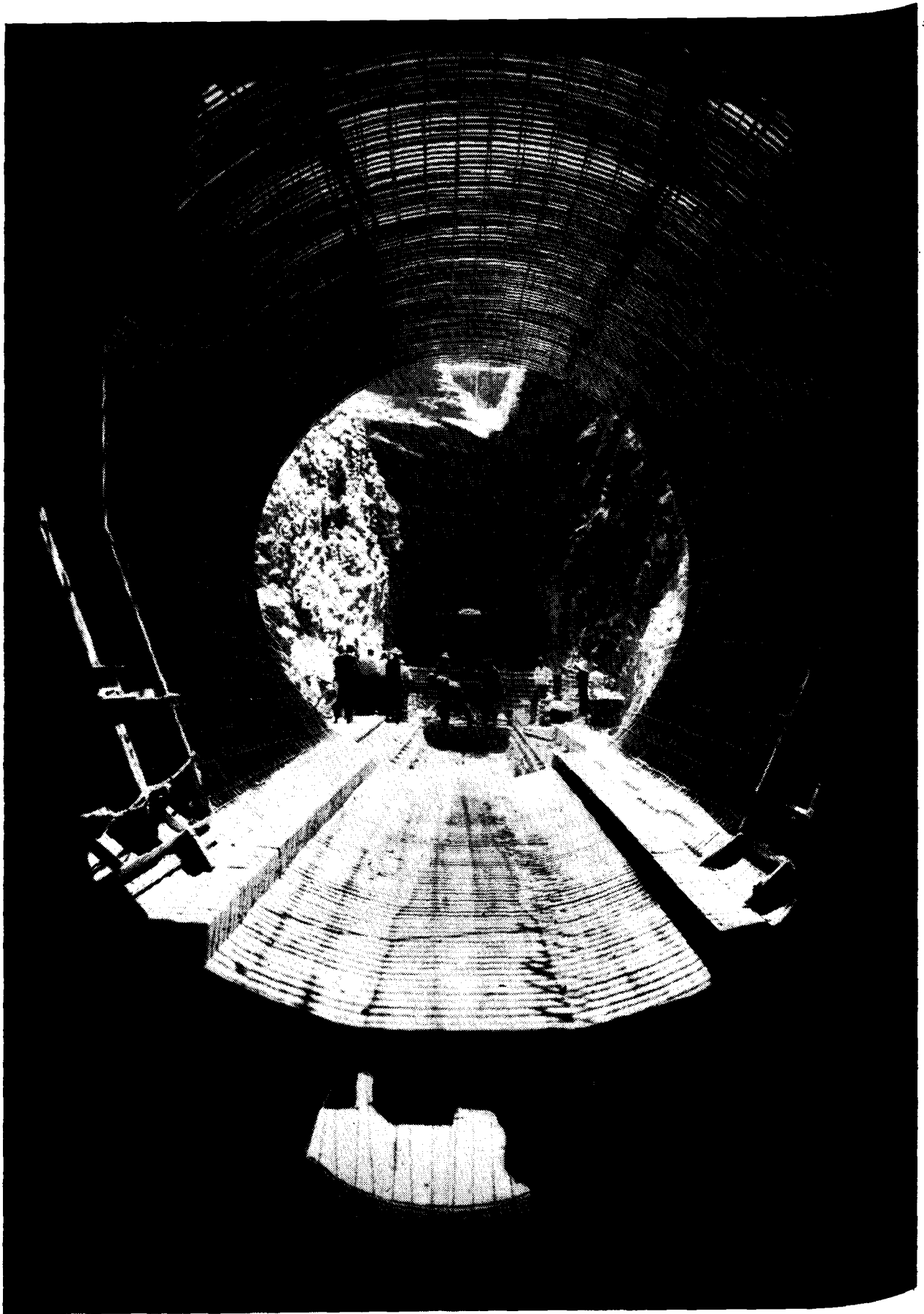
C'est ainsi qu'on a dû armer, à l'origine de la galerie, un tronçon de 300 mètres, creusé dans les quartzites très fissurés.

GALERIE TETE MORTE D'IM'FOUT



Ferrailage de l'anneau en tranchée aux abords de la chambre des vannes (fenêtre amont)

GALERIE TETE MORTE D'IM'FOUT



Raccordement d'une section en tranchée et d'une section en galerie

La galerie peut écouler un débit de $48 \text{ m}^3/\text{s}$ entre les cotes 190, cote du plan d'eau de la retenue d'Im'Fout, et 181,20, cote en tête du canal principal bas service. Un relèvement de trois mètres de la retenue maximum du barrage sera nécessaire un jour pour permettre à la galerie de porter le débit de $64 \text{ m}^3/\text{s}$ qui sera absorbé en pointe par le périmètre, au terme de son développement.

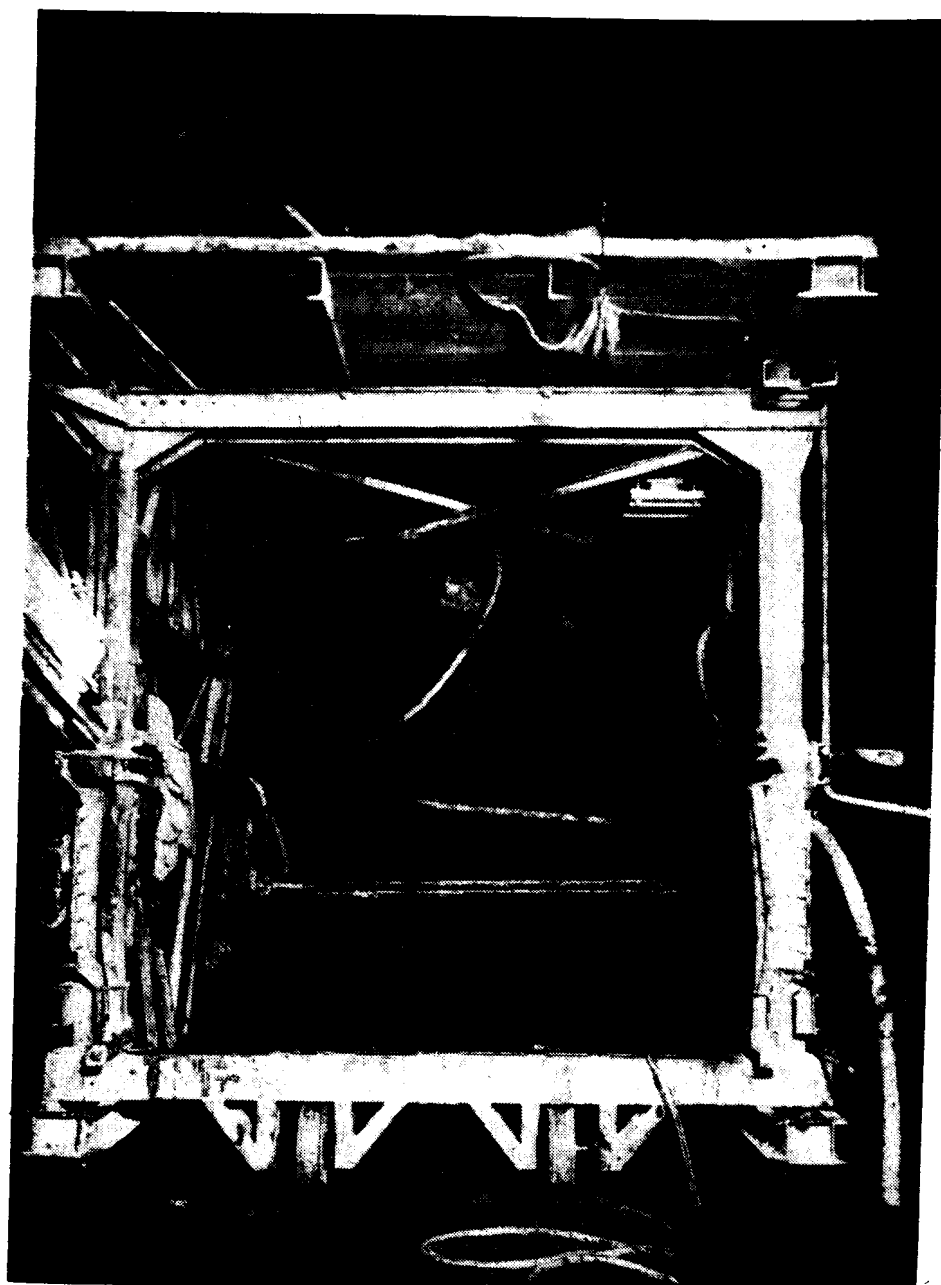
La tour de prise est équipée de deux vannes-wagon, manœuvrables sous toute la charge au moyen de deux vérins synchronisés et fermant des pertuis de $2 \text{ m } 50 \times 4 \text{ m } 50$. Chaque vane de réglage est précédée d'une vane batardeau, de même dimension, pouvant fermer en charge, en cas de coincement de

la vane de remplissage, et ouvrir rapidement, après équilibrage des pressions au moyen d'un clapet bypass commandé par le système de relevage.

A deux kilomètres de la prise, le tunnel franchit à niveau la dépression de l'Oued Zinoun ; l'ouvrage, constitué par un tuyau barrage se trouve au point bas de la galerie ; il comporte une vane de vidange obturant un pertuis de $1,75 \text{ m} \times 1,80 \text{ m}$ et pouvant se relever en 6 heures. La durée totale de vidange sera de 11 heures environ.

Les travaux de la galerie, répartis en trois lots, ont été adjugés en juillet 1947 et attribués de la façon suivante :

GALERIE TETE MORTE D'IM'FOUT



« Jumbo » monté sur portique roulant en position de perforation

- Lot n° 1 (du P.K. 0,000 au P.K. 7,150) au « Groupement d'Entreprises du tunnel d'Im'Fout amont », ou « G.E.T.I.F.A. », association des entreprises Truchetet, Tansini et A. Dodin, Régie Générale des Chemins de Fer, et Société des Grands Travaux de l'Est.
- Lot n° 2 (du P.K. 7,150 au P.K. 12 + 200) à la Société « des Travaux Marocains de Génie Civil (T.M.G.C.) ».
- Lot n° 3 (du P.K. 12,200 au P.K. 16,832) à la Société « Les Travaux Souterrains (L.T.S.) ».

L'utilisation des procédés modernes de perforation et de marinage a permis de mener très rapidement ces travaux qui n'ont pas donné lieu à des difficultés notables. D'une manière générale l'avancement a pu se faire à pleine section ; toutefois, entre les P.K. 11 et 14, la mauvaise tenue des terrains de transition primaire-tertiaire a nécessité l'avancement par galeries de reconnaissance et l'élargissement sous protection de cintres métalliques.

Le bétonnage des premier et deuxième lots a été exécuté au pressweld. Sur le lot n° 3, les « Travaux Souterrains » ont utilisé le procédé « Colcrète », qui

consiste à injecter un mortier colloïdal dans un squelette de gros agrégats préalablement mis en place.

Les travaux sont actuellement terminés. La mise en eau de la galerie a été réalisée en mai 1953. L'étanchéité des revêtements s'est révélée satisfaisante.

D. — L'ossature maîtresse du périmètre d'irrigation

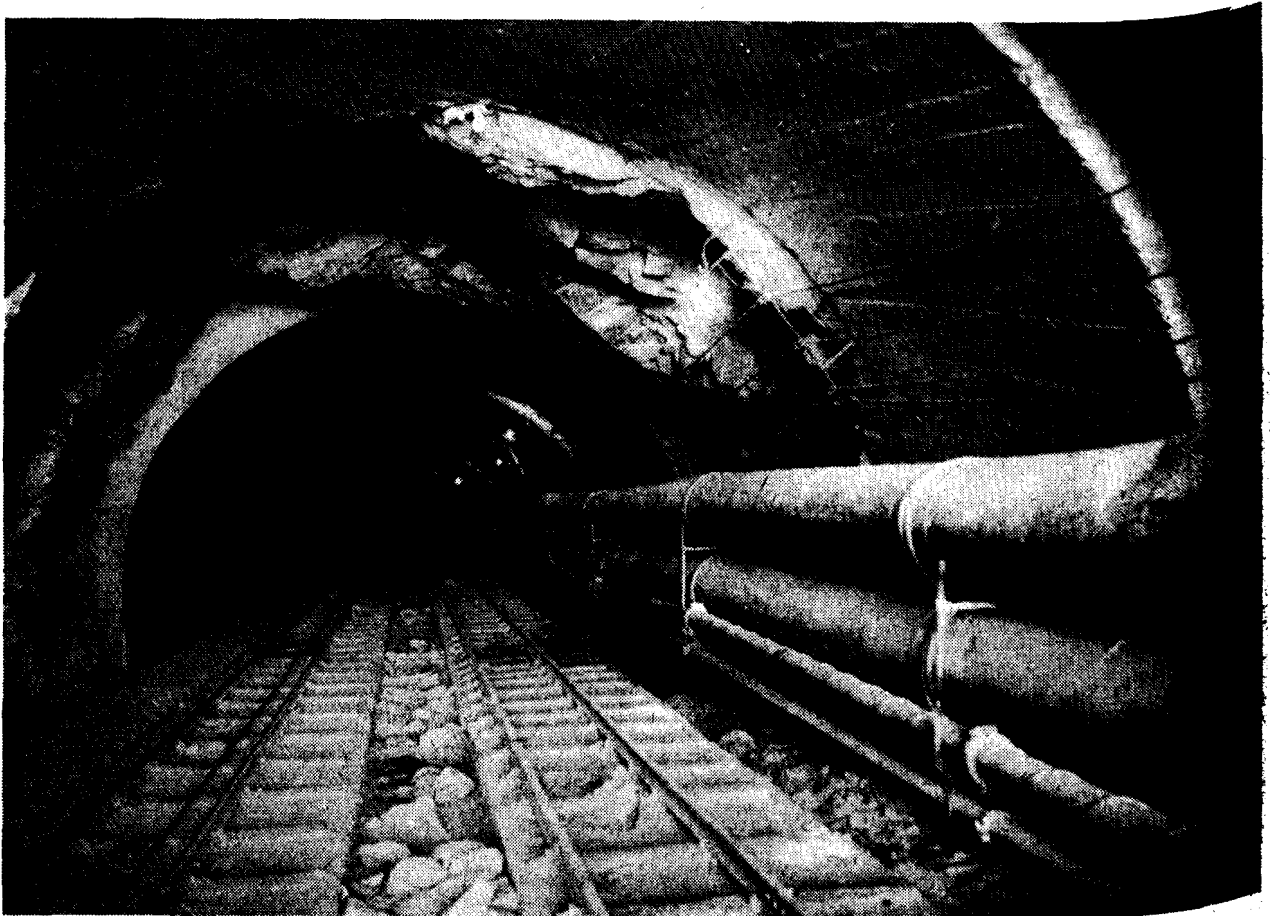
Trois canaux principaux répartiront l'eau sur l'ensemble du périmètre :

- Le canal principal bas service, d'une longueur totale de 110 km, faisant suite à la galerie d'Im'Fout et dominant une zone de 108.000 ha dont 56.000 irrigables. Il portera en tête un débit de 36 m³/s. Son exécution, dont il sera question plus loin, est commencée depuis 1950.

- Le canal intermédiaire, d'une longueur de 67 km, alimenté à partir du canal principal bas service, par la station de pompage de Bir-el-Abid, prévue pour relever entre les cotes 172 et 192 un débit maximum de 14 m³/s.

Le canal intermédiaire dominera une superficie totale de 51.000 hectares dont 30.000 irrigables.

GALERIE TETE MORTE D'IM'FOUT



Descenderie du Defla

— Le canal principal haut service, long de 105 km, qui sera alimenté à la cote 219 par une station de pompage installée au P.K. 12 de la galerie d'Im'Fout. Ce canal dominera une superficie de 73.000 hectares dont 47.900 irrigables, et portera un débit maximum de 26 m³/s.

Le canal principal haut service ne dominant pas la totalité de la plaine irrigable, on a envisagé la construction d'un quatrième canal qui serait alimenté par une station de pompage située près d'El-Arba-Amrane. La zone ainsi desservie comporterait environ 13.000 hectares irrigables.

La réalisation de l'ensemble des canaux principaux nécessitera 6.000.000 m³ de terrassement et la mise en place de 400.000 m³ de béton.

E. — Le réseau de distribution

Nous ne nous étendrons pas sur cette partie du projet qui ne présente rien de particulier.

Les canaux secondaires, tertiaires et quaternaires, constituant le réseau de distribution, seront, pour la majeure partie, des canaux portés, réalisés avec des demi-buses préfabriquées en usine.

F. — Le réseau de colature et de drainage

La quasi-inexistence d'un système hydrographique marqué et le manque d'exutoires rendront très difficile et relativement onéreuse la réalisation d'un réseau de drainage efficace.

Les deux seuls exutoires existants, qui sont l'Oued Faregh et l'Oued M'Tal, seront utilisés comme émissaires de la moitié est du périmètre.

L'évacuation des eaux de la partie ouest nécessitera, soit le creusement d'émissaires artificiels en direction de Safi et de Tletla de Sidi-Embark, soit la création de zones d'épandages, soit encore l'utilisation de puits filtrants reliés aux couches perméables et solubles du crétacé inférieur ou du jurassique supérieur, qui sont constituées par des calcaires et du gypse.

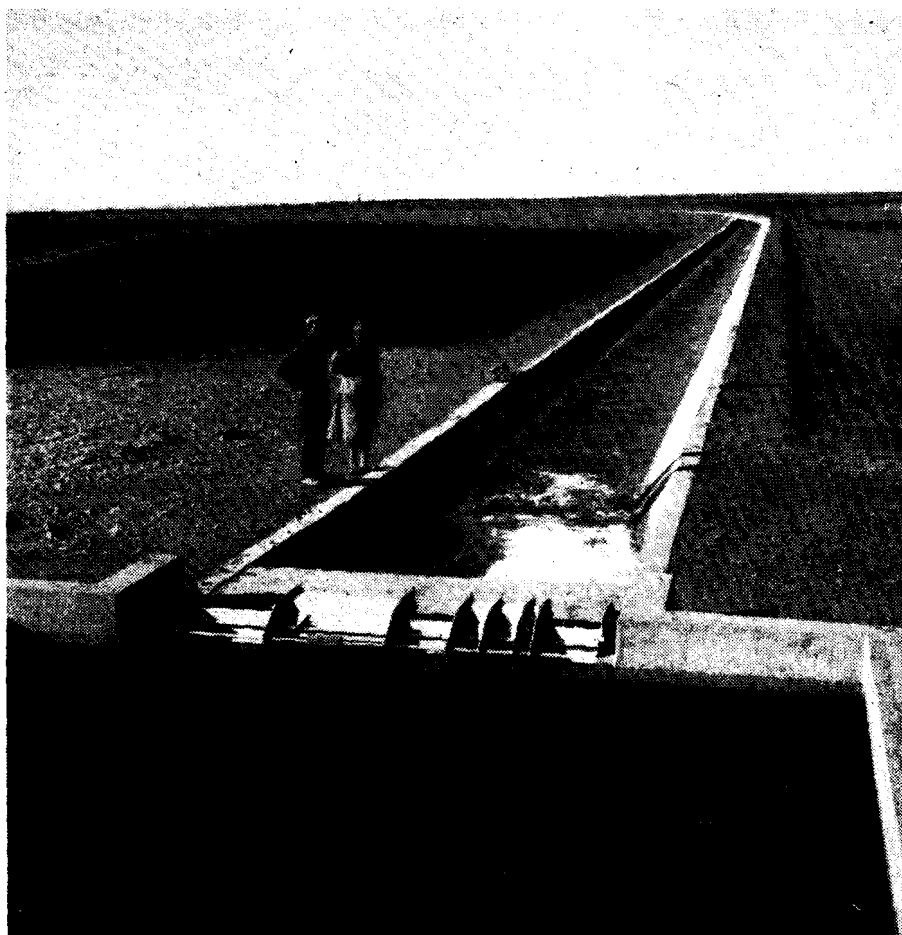
Les eaux seront amenées à ces émissaires, tant naturels qu'artificiels, par des drains principaux, empruntant des thalwegs existants : Oueds Faregh, Aouja, M'Tal, Fahri, Bouchane, etc...

Cette trame de drains principaux sera complétée par un chevelu de petits drains et de colatures qui seront en quelque sorte le négatif du réseau de distribution tertiaire.

GALERIE TETE MORTE D'IM'FOUT



Descenderte du Defla



CASIER DE BOULAOUANE

*Prise d'un secondaire
sur canal principal*

CASIER DE BOULAOUANE



*Canal secondaire en éléments
portés semi-circulaires*



CASIER DE BOULAOUANE

Abreuvoir-type



CASIER DE BOULAOUANE

Ouvrage régulateur type Giraudet



Projet de barrage de Sidi Smâin — Perspectives géométriques du barrage et des installations annexes



Le rôle dévolu à cet ensemble de canaux pourra être limité s'il ne s'agit que de recueillir les eaux de colature et les eaux de ressuyage des terres après les pluies ; par contre, dans les zones où la nappe phréatique aura tendance à remonter, de véritables drains déprimant la nappe au-dessous de la racine des plantes seront nécessaires.

G. — Les réalisations en cours

Nous avons déjà parlé de l'exécution de la galerie d'Im'Fout, entreprise en 1947 et achevée en 1952.

Les travaux actuellement en cours ont pour but la mise à l'irrigation d'un premier bloc de 4.700 ha dans le casier de Boulaouane, qui est le premier casier dominé par le canal bas service.

Ces travaux comprennent l'exécution du canal principal bas service sur 23 kilomètres, et l'équipement en canaux de tous ordres d'un premier bloc de 4.700 hectares.

1°) Exécution du canal principal.

Les huit cents premiers mètres du canal bas service, à la sortie de la galerie, ont été confiés à l'Entreprise « Les Travaux Souterrains », déjà chargée de l'exécution du troisième lot de la galerie.

Ce premier tronçon comporte, au franchissement

de la dépression de l'Oued El-Aouina, un siphon inversé de 275 mètres.

En stade définitif ce siphon écoulera un débit de 48 m³/s et sera constitué par trois tuyaux en béton armé, d'un diamètre intérieur de 3 m, franchissant la partie basse du thalweg sur un pont à poutres droites d'une portée de 21 mètres.

En stade provisoire on s'est contenté de réaliser un seul des trois tuyaux, ainsi que le petit pont dans sa consistance définitive.

A l'aval de ce premier tronçon de 800 mètres les travaux du canal principal, répartis en trois lots, dénommés quatrième, cinquième et sixième lots, ont été attribués de la façon suivante :

- Lot n° 4 (du P.K. 17 + 532 au P.K. 23 + 884) aux Entreprises « Vandewalle et Guillemant », par adjudication du 16 octobre 1950.
- Lot n° 5 (du P.K. 23 + 884 au P.K. 29 + 665), également aux Entreprises « Vandewalle et Guillemant », par adjudication du 4 janvier 1952.
- Lot n° 6 (du P.K. 29 + 665 au P.K. 40 + 282) aux « Grandes Entreprises Franco-Africaines », par adjudication du 6 mai 1952.

En premier stade, le canal principal n'est pas revêtu, mais les terrassements sont exécutés d'après le profil définitif en réservant toutefois un léger sous-profil pour tenir compte de l'érosion des talus. Les caractéristiques essentielles du canal provisoire sont les suivantes :

Lot	P. K.	Largeur au plafond	Profondeur d'eau normale	Pente des talus	Pente du radier mm p. m.	Observations
3	16 + 799 à 17 + 240	4,25	5,22	1/1	0,27	Bassin de stabilité de la télécommande
4	17 + 532 à 18 + 111	4,50	2,80	1/1	0,19	Zone rocheuse
	18 + 136 à 22 + 116	4,70	3,05	3/2	0,15	
	22 + 116 à 23 + 433	5,00	1,50	1/1	0,60	Zone dite de la « tranchée rocheuse »
5	23 + 433 à 23 + 884	4,70	3,05	3/2	0,15	
5	23 + 884 à 29 + 665	4,20	2,80	3/2	0,15	
6	29 + 665 à 32 + 247	4,20	2,80	3/2	0,15	
	32 + 247 à 40 + 282	3,60	2,15	3/2	0,16	

Dans ce stade provisoire le canal écoulera un débit maximum de 10 m³/s qui suffira à l'irrigation de 30.000 ha et permettra, par conséquent, de desservir non seulement les 12.000 ha d'excellentes terres, dont les services de l'Agriculture ont demandé l'irrigation en première urgence dans les casiers de Boulaouane, mais encore 18.000 ha dans la plaine de Sidi-Bennour.

Ce n'est donc pas avant un certain nombre d'années que s'imposera la réalisation des profils définitifs revêtus.

Les travaux des quatrième, cinquième et sixième lots sont achevés. La mise en eau des treize premiers kilomètres du canal, a été effectuée au mois de septembre 1953. Sauf sur le premier kilomètre, creusé dans des terrains assez perméables, l'étanchéité s'est révélée remarquable. Elle correspond en moyenne au coefficient $C = 25$ de la formule de Davis et Wilson ; étant donnée la texture relativement fine du terrain encaissant, l'étanchéité ne pourra que s'améliorer par colmatage progressif.

2°) Equipement d'un bloc de 4.700 ha.

En 1949 la fabrication et la pose de 140 kilomètres de canaux secondaires, tertiaires et quaternaires, destinés à équiper un premier bloc de 4.700 ha dans les casiers de Boulaouane a été confiée à deux entreprises :

- La Société Commerciale et Minière pour l'Afrique du Nord (SOCOMAN) chargée de fabriquer les diamètres de 500 mm, 600 mm, 700 mm, 1.100 mm.
- L'Entreprise Marocaine d'Irrigation et de Canalisation (EMIC) chargée de fabriquer les diamètres de 400 mm, 500 mm, 800 mm, 950 mm, 1.300 mm et 1.550 mm.

Deux usines ont été construites à Souk-El-Arba des Aouates, dans la vallée de l'Oued Faregh. SOCOMAN utilise le procédé classique de la centrifugation. EMIC utilise les procédés « Vacuum concrète » ou traitement par le vide. Toutes deux sortent des éléments de six mètres de long environ.

La cadence d'équipement des 4.700 ha qui devait être initialement de 1.500 ha par an, a été considérablement ralentie par suite de l'obligation dans laquelle on s'est trouvé de remembrer les terres, en raison du morcellement extrême de la propriété.

L'équipement de ce premier bloc sera terminé au cours de l'année 1955.

Dès maintenant, toutefois, l'amenée de l'eau de l'Oum-er-Rebia au cœur des casiers de Boulaouane, sur 2.500 hectares, est chose faite.

H. — Les réalisations prochaines

En 1955 sera entrepris l'équipement d'un nouveau bloc de 5.300 hectares dans les casiers de Boulaouane, ce qui portera à 10.000 hectares la superficie totale équipée dans la vallée du Faregh.

Le nouveau bloc, situé au nord et à l'est du premier, en direction de Souk-El-Had des Ouled-Fredj, et autour de Souk-El-Khemis-Metouh, comportera cinq secteurs dénommés S7, S8, S9, S10 et S11.

Après la réalisation de ce programme, il faudra étendre la zone irriguée soit au casier de Sidi-Bennour, soit à celui de Sidi-Smaïn.

Le casier de Sidi-Bennour comporte d'excellentes terres, mais son irrigation suppose un pompage.

Le casier de Sidi-Smaïn comporte des terres à peine moins bonnes, et présente l'avantage d'être dominé par le canal bas service. C'est lui qui sera vraisemblablement le premier livré à l'irrigation.

Pour atteindre le casier de Sidi-Smaïn et dominer une zone irrigable de 6.000 hectares environ, il faudra prolonger le canal bas service à section réduite sur 25 kilomètres, jusqu'au P.K. 65. Ces travaux n'entraîneront qu'une dépense relativement modeste, le canal n'étant pas revêtu en premier stade et sa section subissant une réduction très importante après le P.K. 55, point où sera installée la prise du canal d'amenée de la station de pompage de Bir-El-Abid.

K. — Le remembrement

Etant donné l'extrême morcellement de la propriété dans le périmètre, et l'irrégularité des parcelles, l'établissement d'un réseau d'irrigation cohérent et économique ne pouvait se concevoir sans un remembrement préalable.

Après une étude approfondie d'opérations similaires, effectuées dans de nombreux pays, il a été décidé de procéder à une première expérience de remembrement dans la vallée de l'Oued Faregh. Un dahir en date du 8 mars 1952 (11 jourmada II 1371) en a précisé les limites, la procédure et les effets. Un arrêté viziriel du 10 mai 1952 en a fixé les modalités d'application.

Des arrêtés de l'autorité locale fixent les limites des secteurs de remembrement et la date d'ouverture des opérations, lesquelles sont effectuées par des commissions comprenant des représentants de l'Administration et des propriétaires, ce qui permet de tenir compte de toutes les circonstances locales, et de garantir le respect des intérêts particuliers. Le dahir institue l'immatriculation obligatoire des immeubles à remembrer, suivant une procédure simplifiée, ceci dans le but de définir sans ambiguïté leur situation juridique, souvent incertaine et complexe.

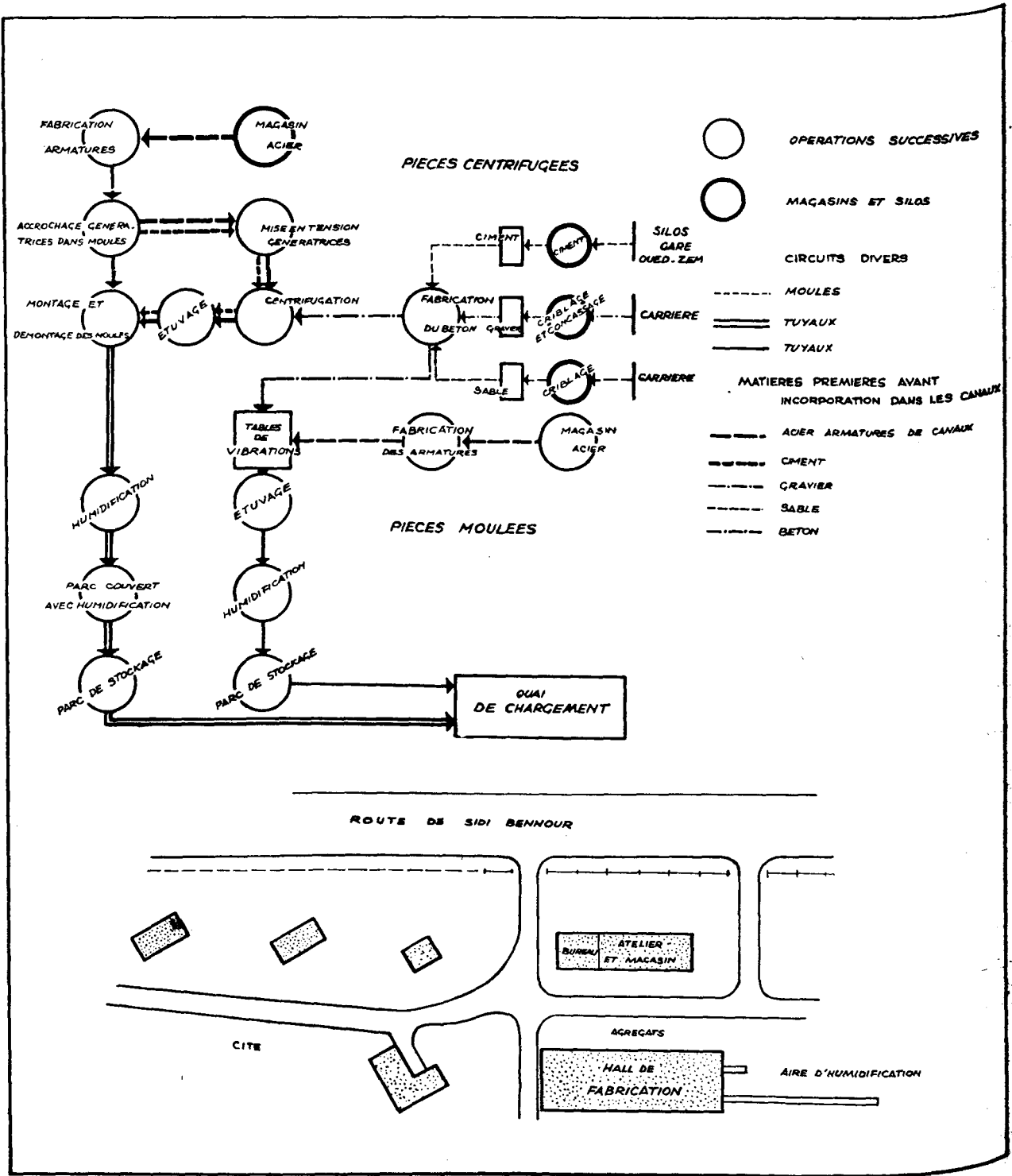
Ultérieurement, dans le but d'assurer le maintien et l'efficacité du remembrement, toutes les opérations de mutation et de partages immobiliers seront soumises à autorisation préalable de la commission locale.

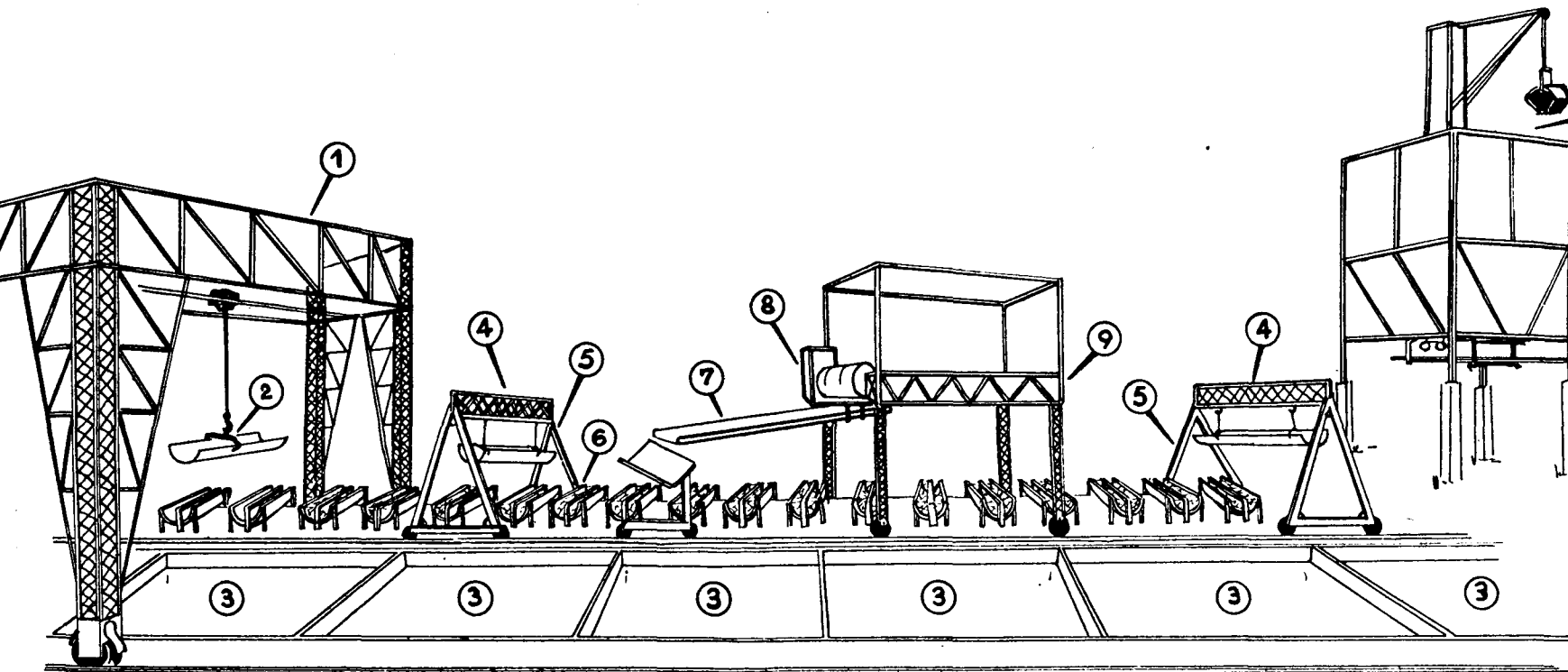
L'application de ces textes n'a donné lieu à aucune difficulté. Les fellahs ont compris le sens et

Fabrication de canaux semi circulaires

Plan schématique de l'usine SOCOMAN de Souk-el-Arba des Aounates

(Société commerciale et minière pour l'Afrique du Nord)







Vue aérienne des Usines SOCOMAN et EMIC, à Souk-el-Arba-des-Aounate

l'utilité finale du remembrement ; ils apprécient de plus l'immatriculation systématique qui l'accompagne et qu'ils considèrent à juste titre comme une précieuse sécurité.

I. — Vocation agricole du périmètre

Il est sans doute prématuré de parler de la vocation agricole du périmètre ; plusieurs années seront nécessaires, après la première mise en eau, pour que, de la masse des idées émises et des essais réalisés, prenne corps un programme cohérent.

Des trois facteurs essentiels en jeu, savoir : le milieu naturel, le milieu humain, les débouchés, il

cultures fourragères indispensables, tant pour le maintien de la fertilité des sols que pour l'intensification de l'élevage, dont l'importance pour résoudre le grave problème de l'alimentation de Casablanca en lait et en viande n'est pas à souligner.

Il faudra toutefois ne pas trop s'écarter pendant les premières années des cultures traditionnelles, céréales d'hiver et de printemps qui, déjà familières au fellah, sont à la base de sa nourriture et de celle des animaux (blé, orge, maïs), mais il conviendra d'en améliorer la qualité et le rendement par l'emploi de variétés sélectionnées très productives, l'utilisation d'engrais minéraux, l'adaptation de méthodes culturales appropriées à l'irrigation.

L'introduction des cultures industrielles, marai-



Les parcelles remembrées du casier de Boulaouane (vue aérienne)

serait très hasardeux de décider lequel aura une influence prépondérante.

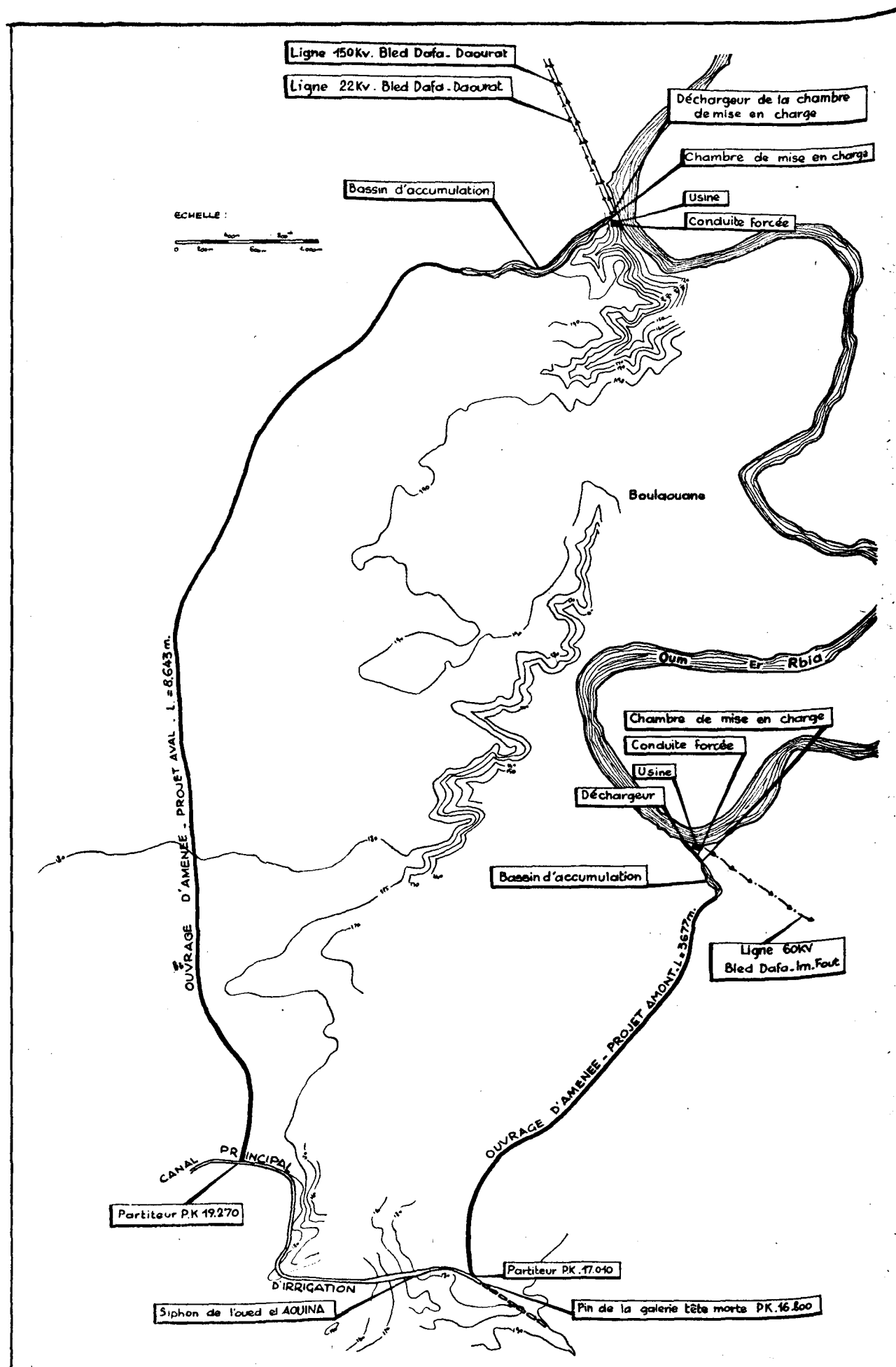
Il semble dès à présent que, s'il faut envisager l'introduction de cultures industrielles, pour l'instant inexistantes, et d'une manière générale de cultures riches assurant aux exploitants des recettes suffisantes pour leur permettre d'améliorer considérablement leur standard de vie et d'acquitter sans difficulté les redevances pour usage de l'eau, condition de la rentabilité des aménagements réalisés, il n'en restera pas moins indispensable de réserver dans l'assolement, une part substantielle aux céréales, ne fut-ce que pour garantir aux fellahs une large autonomie alimentaire, et une part non moins substantielle aux

chères, et de l'arboriculture, ne pourra se faire que parallèlement à l'éducation des fellahs et à l'introduction d'une main d'œuvre spécialisée.

Un premier secteur de modernisation du Paysan- nat s'est installé, depuis 1951, au cœur de la première zone qui sera irriguée dans les casiers de Boulaouane ; il participera à l'encadrement des fellahs, leur prêtera son concours pour l'équipement de leurs terres, et entreprendra un programme d'action cohérent.

Par ailleurs, l'expérimentation agricole a été abordée dès 1950 par la création d'une ferme expérimentale, non loin de Boulaouane, en bordure du

Equipement Hydro-électrique de l'Oum-er-Rebia inférieur Projets d'aménagement de Bled Dafa



canal principal bas service, sur un sol que M. Aubert qualifie de « sol rouge châtain lessivé » et qui se retrouve en quelques points, peu nombreux, de la vallée du Faregh et de la plaine de Sidi-Bennour. Cette station a commencé à fonctionner pendant la campagne agricole 1950-1951.

Les premiers résultats obtenus sont très satisfaisants. Ils ont mis en évidence l'influence très favorable de l'hygrométrie nocturne qui se traduit par des doses d'arrosages très faibles, pour l'obtention d'excellents rendements. Ces essais ont porté sur des plantes vivrières (haricots, pois chiches, lentilles, pommes de terre), industrielles (textiles, hibiscus, coton, lin à graine, oléagineux : soja, arachides, sesame, ricin, pavots) et céréales d'hiver.

Les services locaux de l'Agriculture préconisent pour le premier secteur irrigué, l'assolement suivant :

Céréales d'hiver	30 à 40 %
Légumineuses d'hiver	10 à 20 %
Maïs hybride	20 à 30 %
Cultures industrielles et maraîchères	10 à 20 %
Cultures fourragères	10 à 20 %
Jachères	20 à 30 %

Après quelques années d'adaptation on pourra passer à des assolements plus riches.

Signalons enfin, en ce qui concerne l'élevage, qu'une station expérimentale sera prochainement créée dans les casiers de Boulaouane, à proximité de Souk-El-Khemis-Metouh.

N. — Irrigation des Abda-Doukkala et production d'énergie électrique

A mesure que le périmètre d'irrigation des Abda-Doukkala, et les autres périmètres dépendant de l'Oum-er-Rebia (Beni-Amir, Beni-Moussa, El-Kelaa des Shrarna, Haouz) se développeront, le débit moyen annuel laissé à l'usine d'Im'Fout et aux usines d'aval diminuera jusqu'à devenir inférieur à 20 m³/s.

En compensation de cet amenuisement, la galerie d'Im'Fout offre, pour un nombre d'années relativement important, une possibilité intéressante de production supplémentaire d'énergie électrique. Nous voulons parler du projet d'usine hydroélectrique de Bled Dafa, aménagement dont le principe serait le suivant :

L'Oum-er-Rebia, en aval d'Im'Fout, a une pente assez forte, de l'ordre de deux pour mille, ainsi qu'un lit très sinueux ; il en résulte que son plan d'eau moyen, à Bled Dafa, dans la queue de la retenue de Daourat se trouve à une centaine de mètres au-dessous du plan d'eau de sortie de la galerie d'Im'Fout.

L'usine qu'il serait possible d'installer en ce point, et dont l'E.E.M. a dressé le projet, comporterait un canal d'aménée de 10 kilomètres et absorberait le débit maximum dont est capable la galerie d'Im'Fout, soit 48 m³/s.

Le gain de chute brute, par rapport à l'usine d'Im'Fout serait de 84 — 36 = 48 mètres.

Le supplément d'énergie serait de 160.000.000 kWh les premières années et de 40.000.000 kWh au terme de la mise en valeur des grands périmètres. A cette époque les installations seraient largement amorties.

On peut concevoir également une utilisation plus modeste de la chute de Bled Dafa, au seul bénéfice de l'irrigation des Abda-Doukkala et plus particulièrement pour réduire le coût de l'eau d'irrigation fournie par pompage aux zones hautes du périmètre.

C'est dans ce sens que s'oriente actuellement l'étude de l'usine de Bled Dafa.

Outre cet aménagement nous pensons qu'il faudra envisager un jour de faire travailler les volumes d'eau transportés par la galerie. Une usine de turbo-pompage serait installée au P.K. 12 de la galerie et tout en assurant l'alimentation en eau du canal haut service fournirait de l'énergie au réseau pendant les mois de faible irrigation.

Une surélévation du barrage d'Im'Fout serait nécessaire. Compte tenu de la dépense correspondante, dont une partie relative à la déviation du chemin de fer et de la route de Marrakech, le coût du kWh annuel produit, et économisé au pompage, serait du même ordre que celui d'une installation hydroélectrique normale.

P. BERNARD

Ingénieur des Ponts et Chaussées.