

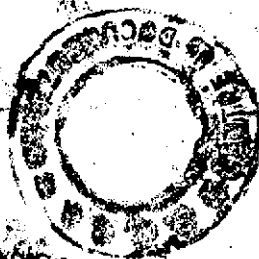
11239



11839

Service de l'Hydraulique de l'AOF

HYDROLOGIE DU NORD - DORI (HAUTE-VOLTA)



(Fascicule I - Rapport et cartes)

BURGEAP N° 178

nov. 1954

	<u>Pages</u>
Première Partie	
<u>Facteurs et caractères généraux de l'hydrologie locale</u>	4
<u>I - Conditions naturelles</u>	
<u>A. Données géologiques et morphologiques</u>	
1) Substratum	5
2) Formations d'altération	7
3) Terrains de recouvrement	8
a) dépôts éoliens	8
b) dépôts argileux des dépressions	8
c) dépôts alluviaux	9
4) Principaux types morphologiques	10
5) Morphologie générale et hydrographie	13
<u>B. Données météorologiques</u>	
1) Précipitation	15
2) Evaporation	15
<u>II - Problèmes de l'hydrologie souterraine</u>	20
<u>A. Infiltration</u>	21
1) Infiltration directe	21
2) Infiltration indirecte	25
a) les mares	25
b) les marigots	26
<u>B. Accumulation et circulation des nappes</u>	27
<u>C. Epuisement des nappes par l'évaporation</u>	30
<u>D. Minéralisation des nappes</u>	32
1) Caractères généraux de la minéralisation	32
2) Minéralisation des différentes nappes	33
<u>E. Suralimentation artificielle des nappes alluviales</u>	34

III - <u>Contribution à l'étude des problèmes d'hydraulique superficielle</u>	46
A. <u>Débits de crue</u>	46
B. <u>Notes sur les barrages</u>	51
Deuxième Partie	
<u>Les Types hydrologiques - exemples</u>	53
I - <u>Nappes résultant d'infiltration indirecte</u>	55
A. <u>Nappes de fonds de mares</u>	55
B. <u>Nappes des thalwegs de marigots</u>	56
II - <u>Nappes résultant d'infiltration directe</u>	62
A. <u>Nappes temporaires de reg</u>	62
B. <u>Nappes des zones sableuses à reliefs granitiques</u>	63
C. <u>Nappes de dunes</u>	65
Troisième Partie	
<u>Besoins et ressources - Mise en valeur</u>	76
I - <u>Situation de l'hydraulique pastorale dans le Nord du Cercle de Dori</u>	76
A. <u>Le Cheptel</u>	76
B. <u>Répartition des points d'eau</u>	78
II - <u>Possibilités et techniques de mise en valeur</u>	79
A. <u>Amélioration des points d'eau existants</u>	80
B. <u>Création de points d'eau nouveaux</u>	82

Annexes au rapport

<u>Annexe n° I</u>	Photographies	91
<u>Annexe n° II</u>	Minéralisation des eaux superficielles et souterraines	97
<u>Annexe n° III</u>	Relevés d'emplacements de barrage sur le Beli	102
<u>Annexe n° IV</u>	Analyses granulométriques et coefficients de perméabilité	106
<u>Annexe n° V</u>	Analyses chimiques	109
<u>Annexe n° VI</u>	Relevés altimétriques	112

Cartes hors texte

Carte n° 1 - Carte hydrologique à 1/200.000	(sous pochette)
Carte n° 2 - Carte de la situation de l'hydraulique pastorale à 1/200.000	(sous pochette)

AVANT - PROPOS

Le présent rapport, qui s'inscrit dans le cadre des études systématiques d'aménagement hydraulique menées par le Service de l'Hydraulique de l'A.O.F., rend compte des travaux exécutés par M. Jacques LEMOINE, Ingénieur de notre Bureau d'Etudes, de mars à octobre 1954. Elle porte sur l'extrémité septentrionale du territoire de la Haute Volta (toute la partie Nord du Cercle de Dori), jusqu'à la frontière des cercles de Ouahigouya (Haute Volta) à l'Ouest, Tombouctou et Gao (Soudan) au Nord et Tillabéri (Niger) à l'Est.

Cette étude présente un certain nombre de particularités que nous croyons devoir souligner ad liminem.

1°) le substratum de la région est entièrement constitué par des terrains cristallins ou métamorphiques, imperméables, et donc dépourvus de nappes profondes. Du point de vue climatique, son aridité (importance de l'évaporation et rareté des pluies) est telle que l'alimentation des systèmes aquifères est, le plus souvent, extrêmement précaire. Les observations de M. LEMOINE montrent qu'au delà d'une certaine limite l'alimentation classique des nappes, par infiltration directe de la pluie, n'est plus assurée en année normale ; elles permettent de tracer approximativement cette limite sur la carte.

2°) l'aménagement hydraulique de ces régions est incontestablement difficile. La tentation est grande, en tel cas, de céder à l'esprit de système, en procédant par exemple, soit à la construction de barrages en série, soit, compte tenu de l'existence d'assez nombreux points d'eau, à un quadrillage plus ou moins régulier de points de reconnaissance.

En fait, aucun programme vraiment rationnel d'équipement ne semble pouvoir être mis en oeuvre s'il ne s'appuie sur un inventaire des points d'eau, à partir duquel puissent être définis les principaux types de nappes de la région et les ressources de chacune. La présente étude procède à cette analyse méthodique et préliminaire, et s'attache à en tirer toutes conclusions utiles sur le plan des réalisations pratiques à entreprendre.

3°) en l'absence de perméabilité des roches profondes, les seules formations aquifères sont des placages, souvent très minces : zone d'altération du substratum parfois, apports éoliens ou fluviatiles surtout. L'étude de ces terrains, intermédiaire entre le domaine de la pédologie et celui de la géologie traditionnelle, et qui participe quelque peu de la "géomorphologie", était donc indispensable. Elle a donné lieu à l'établissement de la carte hors texte n° 1 à l'échelle du 1/200.000, où les différents systèmes aquifères sont représentés dans le cadre même des formations superficielles auxquelles ils sont liés.

4°) les toutes premières reconnaissances sur le terrain (mars 1954) nous ont révélé l'existence d'un certain nombre de "nappes alluviales sous-alimentées", par suite d'une imbibition trop brève des formations perméables par les eaux de ruissellement ou d'inondation. D'où l'idée des "retenues de suralimentation" destinées à obliger les crues, qui dévalent trop rapidement le lit mineur des marigots, à submerger longuement les terrains. Les avantages par rapport à la retenue à ciel ouvert sont évidents : hauteur de digue insignifiante, évaporation non pas nulle, mais considérablement réduite.

Grâce à la rapidité de décision et de réalisation de l'arrondissement de l'Hydraulique de la Haute Volta une retenue-pilote, celle de Gaïgou, a pu être aménagée en temps voulu et mise en eau à l'hivernage. Les résultats détaillés de cette première expérience sont rapportés dans les chapitres suivants. Il semble que la formule, sous réserve de données géologiques et hydrologiques favorables et de précautions élémentaires dans la construction de l'ouvrage, soit susceptible de multiples applications.

+

+ +

Il est apparu que la présente étude devait tendre à un double but. Constituer, en premier lieu, une base de travail sûre, détaillée et commode pour tous ceux que concerne, à un titre ou à un autre, l'aménagement hydraulique du Nord-Dori. Dégager, par ailleurs, dans toute la mesure du possible, les conclusions applicables à celles des autres régions de l'A.O.F., si étendues et si démunies, dont le climat, la géologie et la morphologie sont comparables.

Le premier fascicule du rapport comprend (cf. sommaire), le texte, les planches et diagrammes encartés, deux cartes hors-texte à 1/200.000 (hydrologie et formations superficielles d'une part, situa-

où les herbacées sont de moins bonne qualité et sèchent rapidement. Les feux de brousse, encore trop nombreux, mettent parfois en saison sèche des troupeaux entiers dans une situation précaire.

Des axes de transhumance et des routes d'exportation sillonnent le pays du Nord au Sud.

Les marchés les plus importants sont : la zone de Yatakala au Niger, Dori, Markoy, Gorom-Gorom, Gorgadji dans le cercle de Dori, Sikire et Aribinda dans le cercle de Ouahigouya.

Les pistes principales sont, de l'Est vers l'Ouest :

Dori-Tao, vers Tera et Niamey
 Dori-Falagontu-Yatakala
 Dori-Markoy-Tin Akof - Kacham, vers In Tillit et Gao
 Dori-Beiga-Tin Akof
 Dori-Gorom Gorom-Oursi et Oursi-Raffnaman vers Hombori, N'Daki et Gourma-Rharous
 Dori-Touka-Boulikessi
 Dori-Gorgadji-Aribinda, vers Djibo et Ouahigouya.

Du point de vue administratif, le territoire étudié se divise en deux cantons :

Au Sud, le Liptako, centre Dori, canton Peuhl, dont la carte ne comprend que la partie Nord.

Au Nord, l'Oudalan, ancien fief des Touareg, centre Beiga, dont le domaine figure en totalité dans cette étude.

A.- DONNEES GEOLOGIQUES ET MORPHOLOGIQUES

1°) SUBSTRATUM (1)

a. Dans la majeure partie de la région étudiée, et notamment au Centre et au Sud, le substratum est constitué par des formations appartenant soit au Précambrien inférieur, soit au Précambrien moyen, et pétrographiquement très diverses. On y trouve en effet :

(1) Se rapporter au rapport de J. DELORME (Direction Fédérale des Mines, 1951).

- des granites, presque toujours orientés, et des gneiss. Ce type de roche est de beaucoup le plus abondant. Il correspond à des zones presque totalement arasées, percées de quelques dômes surbaissés ou de petits pointements émergeant çà et là des terrains de recouvrement.

- des granites jeunes, assez développés à l'Est (granites de Sabba, Déou, Guesselna, Aribinda). Ils donnent naissance à de grands dômes (Aribinda) ou à des collines rocheuses et démantelées (Déou) (cf photos 1 et 2).

- des roches basiques (gabbros, dolérites) constituant des massifs localisés (1) à relief aigu (Labka, montagne d'Oursi, grande plaine au Sud d'Oursi).

- des lambeaux, d'étendue faible sinon même négligeable, de séries peu ou moyennement métamorphisées, dont les roches originelles sont encore discernables : schistes feldspathiques du type des schistes birrimiens classiques, quartzites, micaschistes.

En raison de la prédominance de ce type de roche, l'ensemble des formations précédemment décrites sera désigné dans le cours du présent rapport sous le nom de "granito-gneiss", ou encore de "granites" ou de "gneiss", sans préjuger de la signification précise et rigoureuse de chaque terme, les caractéristiques hydrologiques étant les mêmes.

b. Au Nord du parallèle 14° 45', les granito-gneiss font place à une large bande de terrains peu métamorphiques désignés sous le nom de "série du Béli". Ce sont des grès feldspathiques compacts, des conglomérats, des quartzites, des calcaires gréseux et des dolomies grises cristallines. Les affleurements s'observent surtout dans le lit du Béli. D'où le nom de ces formations qui sont l'équivalent probable de la série de Hombori-Douentza et se rangent dans le Précambrien Supérieur.

Quelle qu'en soit la nature lithologique précise, les formations du Précambrien présentent deux caractéristiques fondamentales du point de vue de l'hydrologie :

- leur imperméabilité générale
- la très faible profondeur à laquelle on les rencontre toujours.

(1) Les conditions de fissuration et d'altération qui permettent à ce genre de roche d'être parfois aquifère (nappe d'Akjoujt en Mauritanie) ne semblent pas réunies ici.

2°) FORMATIONS D'ALTERATION

la teneur de roches,

2°) FORMATIONS D'ALTERATION

Elles varient avec le type de roche.

Les schistes donnent lieu à une décomposition argileuse : Les schistes verts des puits d'essai de Gaigou (F 7) (1) sont verts de plusieurs mètres de produits argileux imperméables, la piste de Tin Akof, au Nord de la bifurcation de Markoy, les produits de l'altération des schistes, répandus par les eaux de ruissellement, et exposés à l'action du soleil donnent naissance à un reg argileux avec croûte mêlée de gravillon latéritique.

Le granitogneiss montre généralement plusieurs stades d'altération, allant de la désagrégation mécanique à la transformation physicochimique.

- La désagrégation en boules est la règle courante. Elle donne des reliefs ruiniformes qui rappellent le Sidobre (Décou, D 3, Photo n° 2). Ce genre de démolition favorise l'infiltration des pluies dans les éluvions sous-jacentes.

- Il existe, à peu près toujours, au dessus du granite, une couche d'arènes. Hétérogène, admettant des niveaux argileux et des blocs de roche peu altérée, cette formation, contrairement à ce qui s'observe plus au Sud, dans les régions de forte pluviosité, est de faible puissance : quelques mètres au plus et généralement beaucoup moins. La perméabilité d'ensemble des arènes est faible. Les puisards y ont des débits peu abondants.

- Sous les arènes meubles, ou plus souvent en l'absence d'arènes meubles, la frange supérieure du front granitique peut se trouver désagrégée et décomposée (feldspaths) tout en gardant sa forme et sa structure, sur plusieurs mètres d'épaisseur. Cette frange altérée constitue parfois une couche aquifère.

- Enfin les fissures des bancs superficiels peuvent donner lieu à une certaine accumulation d'eaux d'infiltration. Ces réseaux de fissures ne semblent pas à première vue susceptibles de constituer des réserves bien considérables, à cause du peu d'extension de la fissuration. Témoin l'essai d'approfondissement d'un puisard à Arehel (F 7 sur la carte ; fiche de points d'eau n° 9 et photo 10).

(1) La lettre et le chiffre qui précèdent désignent les coordonnées du point cité sur la carte à 1/200.000 annexée au présent rapport.

Parmi les facies d'altération, mention doit être faite du processus de ferruginisation, ancien ou actuel, qui se traduit par la présence, au-dessus du socle ou des arènes, d'une carapace d'oxyde de fer ou d'une couche de gravillon "latéritique". On admet qu'au Nord du 14° parallèle il ne se forme plus actuellement de latérite vraie, mais il a pu s'en former lors des variations de climat qui ont marqué le Quaternaire.

Des accumulations d'oxyde de fer, formées in situ ou provenant du démantèlement d'anciennes carapaces, s'observent dans des terrains très divers :

- gravillon ferrugineux (ou "latéritique") de la surface des regs
- pisolithes enrobés dans du sable ou cimentés par un grès ferrugineux
- carapace rouille et vacuolaire à ciment ferrugineux et grains de quartz
- gravillons épars des dépôts alluviaux, constituant parfois de véritables couches de sable ferrugineux ou de conglomérats.

Les "couches latéritiques" peuvent constituer un horizon aquifère de bonne perméabilité. Tel le conglomérat latéritique observé sur une épaisseur de 1 à 1.20 (le plus souvent l'épaisseur de ces niveaux est de 0.30 à 0.50) à Diona (G 7 ; puits f et g de la fiche de points d'eau n° 5).

3°) TERRAINS DE RECOUVREMENT

a) Dépôts éoliens (photo n° 3)

Si le 14° parallèle marque la limite Nord de la latérite vraie, il correspond aussi au début des dépôts de sables éoliens. Ces deux caractères s'ajoutent pour différencier les conditions hydrologiques du secteur Nord avec celles du reste du Territoire.

Ces sables sont de couleur jaune ou rose, essentiellement quartzeux, relativement grossiers, toujours un peu argileux (cf. annexe, la granulométrie de différents échantillons de sables de dune). Un échantillon moyen, prélevé dans la dune de Markoy, à 300 m au Sud du village (D 8), se compose de :

Diam. tamis	0,1	0,2	0,5	1,0	2,0
%	2	15	76	98	100

Sa perméabilité est de : $1,00 \cdot 10^{-2}$ cm/sec. Les perméabilités des sables de dune étudiés se répartissent entre 10^{-2} et 10^{-3} cm/sec. Les dunes de la région du Béli sont plus argileuses et moins perméables que les autres.

Il est probable qu'une bonne partie des limons et argiles qu'on rencontre mêlés aux sables des dunes ou ultérieurement déposés dans les fonds est également d'origine éolienne.

Enfin les vents ont une action de vannage sur les dépôts sableux superficiels, qui amène la mise en relief des éléments les plus gros. La constitution caillouteuse de certains regs est due au vent.

b) Dépôts argileux des dépressions

L'entraînement des éléments argileux par les eaux de ruissellement dans les fonds se traduit par la disparité entre les sommets dunaires où le sable est généralement pur, et les tayerts (ou dépressions intra-dunaires) recouverts d'une croûte argileuse. Cette action est aussi visible "en petit" dans le relief de détail des dunes, donnant des plages argileuses locales.

D'une façon plus générale toutes les dépressions et les étendues plates inondées par les eaux de ruissellement ou d'épandage des marigots ont tendance à disparaître progressivement sous un manteau argileux continu et imperméable.

c) Dépôts alluviaux

Dans les fonds de marigots on peut souvent distinguer deux phases distinctes de l'alluvionnement :

- à la base, une couche de sable grossier, bien lavé, de perméabilité assez élevée, qui correspond à la période de démantèlement des reliefs granitiques.

a) Les formations alluviales

Dépôts de fonds de mare et de thalweg de marigot. Dans les passages de dune, la distinction entre sables éoliens et sables alluviaux est souvent difficile à faire et d'ailleurs de peu d'intérêt (Touka, F 6).

La puissance des dépôts alluviaux est couramment de l'ordre de 3 à 5 m. Elle atteint rarement 10 m. La couche sableuse inférieure est le plus souvent de l'ordre de grandeur du mètre.

b) Les dunes

Disposées en séries d'alignements grossièrement E.W., elles sont parfois plates, en manteau, plus généralement vallonnées avec des tayerts continues ou des dépressions d'extension restreinte. L'amplitude des dénivelées se situe entre 5 et 15 m.

L'épaisseur du sable n'est jamais très considérable et il est courant de trouver au milieu des dunes des affleurements du socle. La plupart des dunes possèdent une "ossature" rocheuse, le sable s'étant accumulé autour de reliefs du socle et les ayant plus ou moins enfouis.

Des cas les plus nets de "dunes à affleurements", nous avons fait un type spécial (Bosseye D 5, Déou D 3, Soffokel, G 9), caractérisé par la présence de dunes de contrefort, alternant avec des dépressions remplies de sables éoliens ou d'arènes : à ce type morphologique correspondent en effet des conditions hydrologiques bien définies.

c) Le reg

Nous rangerons sous l'appellation de "reg", par extension d'un terme couramment employé dans les régions désertiques, toutes les autres zones. De fait, elles ont en commun deux caractéristiques essentielles : leur horizontalité quasi absolue et la très faible profondeur du socle sous les dépôts de recouvrement.

Le reg résulte de l'action d'un certain nombre de facteurs :

- L'épandage de matériaux alluviaux de toute nature aux époques de pluies particulièrement abondantes. Il semble d'ailleurs que la formation de la majeure partie des regs, du moins en ce qui concerne l'apport des éléments grossiers (sables, graviers et galets), doive être datée d'une période climatique antérieure à la nôtre (phases pluvieuses correspondant aux glaciations du Quaternaire ancien).

- Le débordage des eaux de ruissellement ou des eaux de crue des marigots qui, à l'époque actuelle, inondent, en hivernage pluvieux, de larges étendues.

- Les alternances de sécheresse et de pluie.

- Le vannage par le vent des particules les plus fines qui fait apparaître à la surface du reg des cailloux, débris du socle ou anciens galets alluviaux, le plus souvent des silex et des concrétions ferrugineuses.

Tous ces phénomènes principaux agissent dans le sens d'un nivellement toujours plus poussé de la pénéplaine granitique.

Lorsque le sol est en pente légère, il arrive cependant que le ruissellement corrode le reg, en découpant de petites plates-formes à croûte dure, séparées par des ravines (photo n° 4).

On peut distinguer, suivant l'action plus ou moins prononcée de l'un ou l'autre des facteurs précédents, plusieurs types de reg. Les discriminations correspondantes restent évidemment très arbitraires, car on rencontre parfois sur des espaces limités toutes les transitions et tous les intermédiaires. Nous nous sommes efforcé néanmoins d'indiquer sur la carte à 1/200.000 (carte n° 1 in fine) les zones où un type de reg bien défini prédomine sur une surface importante.

+ Carapace de fer et reg "latéritique".

Dans les zones d'affleurement de la carapace ferrugineuse, le reg, sableux ou argileux, est parsemé ou pavé de blocs ou de gravillons ferrugineux. Des plages de reg séparent des amoncellements de blocs de carapace.

Cas fréquent dans le Nord, dans la région de l'Aghachar.

+ Reg argileux.

Recouvert ou non de cailloutis. Le plus courant. Grandes étendues au Sud de la mare d'Oursi, à l'Est de Garga et sur la piste N. de Dori, vers le Goudebo. Le revêtement argileux peut atteindre plusieurs mètres d'épaisseur.

+ Reg sableux ou sabloargileux.

Nous l'appelons encore reg par extension : plages de sables feldspathiques uniformes, avec nombreux affleurements du socle. Croûte locale, formée par le remaniement des produits d'altération. Faible profondeur du revêtement. On le rencontre généralement dans les régions d'altitude relativement élevée (zones de partage des eaux) alors que le reg argileux caractérise les dépressions. A la limite, le reg sableux, lorsque les pointements rocheux commencent à affecter le relief général passe au type morphologique dénommé "dune à affleurements".

5°) MORPHOLOGIE GENERALE ET HYDROGRAPHIE

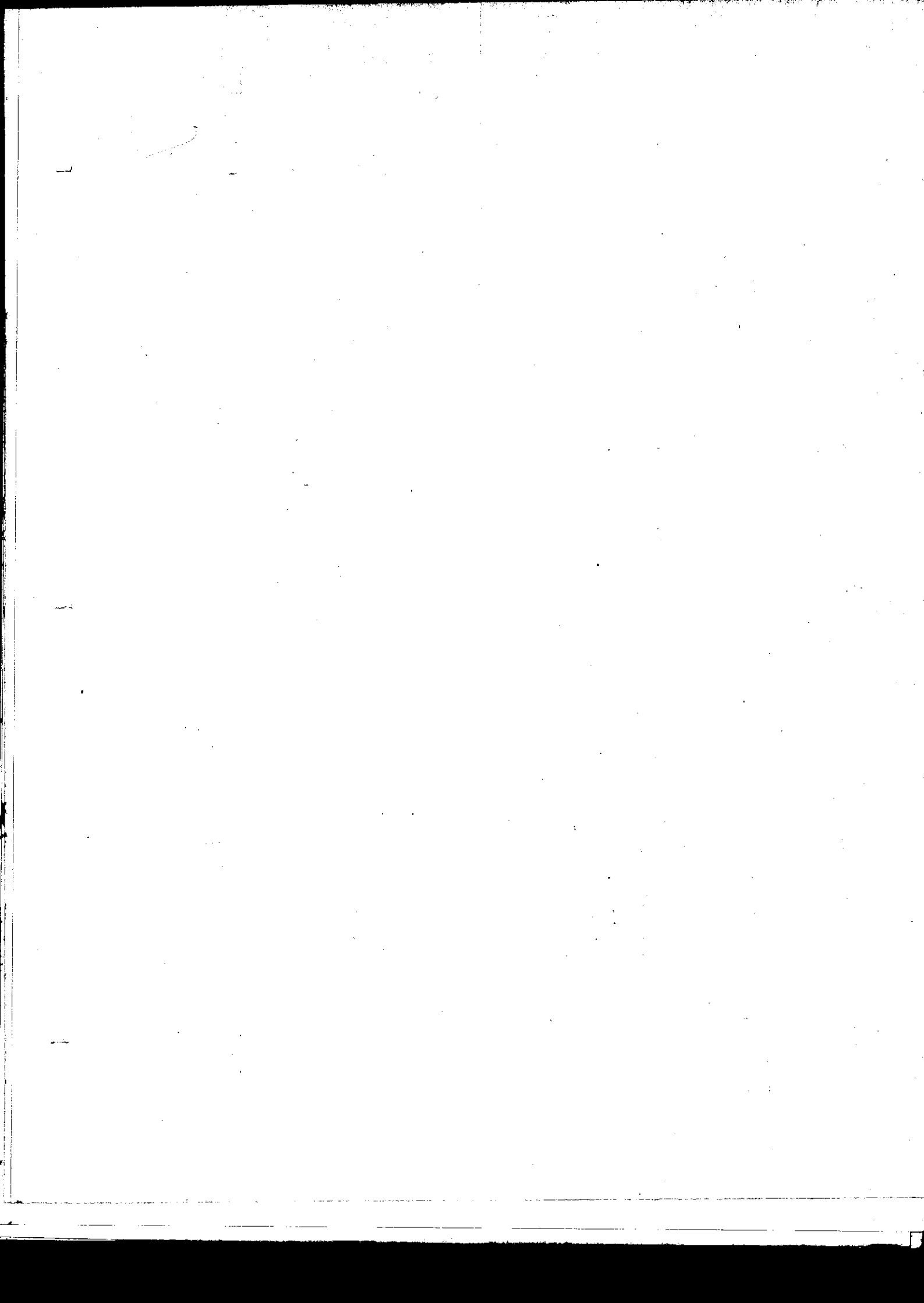
La répartition géographique des types précédents se traduit par une alternance de bandes E.W de dunes et de reg. Cette orientation correspond à la pente générale du terrain, d'ailleurs très faible, et au système hydrographique, tourné vers le Niger, à l'Est. A l'Ouest, la ligne de partage des eaux coïncide à peu près avec la frontière du Cercle de Ouahigouya (bassin de la Volta).

Si on excepte les quelques affluents du Dargol, au S.E, toutes les eaux de la région se réunissent dans l'Aghachar, à Yatakala, à l'extrême Nord-Est de la carte.

Les trois systèmes principaux sont :

- Le Goudebo, au Sud, et son affluent le Felleol (Bassin-versant: 700 km²). Le bassin-versant du Goudebo au confluent avec le Gorouol est d'environ 3.000 km².

- Le système du Gorouol avec ses trois ramifications (marigots venant de Sikire, de Boulikessi et de Bosseye) qui font leur jonction à Saouga. Le bassin-versant total au confluent avec le Goudebo est également de l'ordre de 3.000 km².



Les graphiques joints, établis par M. JESS, de l'Arrondissement de l'Hydraulique, d'après les archives du Service Météorologique, donnent l'essentiel:

- La moyenne des précipitations est de 15 mm en 1/2 heure, 30 mm en 1 heure, 40 mm en 1 h 30, 45 mm en 2 et en 3 heures.

- Les tornades les plus violentes n'atteignent pas 80 mm (maximum : 77 mm en 2 h 20). La plus forte pluie de l'hivernage 1954, le 15 juin, de 23 h 30 à 0 h et de 0 h 40 à 1 h 05, soit une durée effective de 55', mais une durée pratique de 1 h 35, a été de 68 mm (un des maxima observés).

- La courbe des intensités horaires maxima passe par un sommet légèrement supérieur à 55 mm qui correspond à la tornade de 45'.

Ces données conduisent à adopter pour les calculs des crues des marigots les chiffres suivants :

Intensité maxima	: 70 mm en une heure
Pluie maxima	: 80 mm (en 2 heures)

auxquels il y aurait lieu d'ajouter :

Hauteur maxima en 24 h.	: 100 mm (ce chiffre n'aurait jamais été atteint à Dori)
-------------------------	--

Il convient de préciser que le nombre d'années d'observation sur lesquelles ces chiffres sont basés est restreint. Il semble bien d'ailleurs que des précipitations d'intensité et d'importance notablement supérieures aient été enregistrées au Soudan, en zone climatique comparable. On adoptera donc un large coefficient de sécurité pour tous les ouvrages ne devant être à aucun prix submergés, fut-ce par une crue tout à fait exceptionnelle.

Localisation des pluies

Si l'on excepte quelques journées de pluie généralisée en juillet ou en août et pouvant affecter l'ensemble de l'Oudalan, les tornades sont très localisées : un pluviomètre, destiné à asseoir les bases d'une étude de crue, a été installé à Pepandiangou, environ 11 km au Sud de Dori. Il a permis d'observer les disparités suivantes :

	20 août	21 août	22 - 23	26 août	27 - 28	29
	3 h 12h	17h - 22h	18h 9h	14h		3h
mm Dori	20 49	4,8 2,1	3 7	7	- -	6
mm Pepan	28	14	10	-	18	8

Aussi l'étude des crues d'un marigot, même pour un bassin-versant relativement petit, est-elle difficile à réaliser en fonction de pluies dont on ne peut guère qu'estimer l'ordre de grandeur moyen, sauf à multiplier à l'infini les pluviomètres.

2°) EVAPORATION

La température élevée et le très faible degré hygrométrique qui règnent pendant la majeure partie de l'année ont pour conséquence une évaporation intense, second facteur capital de l'hydrologie du pays.

L'évaporation moyenne annuelle à l'évaporomètre PICHE (obtenue en multipliant les chiffres d'évaporation moyenne quotidienne des différents mois par le nombre de jours correspondant), se chiffre à Dori à 3.654 mm.

L'évaporation sur eau libre est difficile à apprécier par observation directe, car beaucoup de mares (et en particulier la mare de Dori) donnent lieu à des infiltrations. De plus, la corrélation avec les données de l'évaporomètre n'étaient pas possible, celui de la station étant hors d'usage. La Subdivision Hydraulique de Dori a l'intention d'installer une cuve flottante dans la mare, ce qui permettra de calculer assez exactement le coefficient de réduction à apporter aux relevés météorologiques.

Toutefois, les mesures fragmentaires effectuées en différents points conduisent à penser que l'évaporation annuelle sur eau libre est comprise dans la région de Dori entre 2 m et 2,50 m. Si nous adoptons 2,25 m comme chiffre moyen à Dori, le coefficient de réduction des relevés au PICHE s'établit à 0,61, et l'évaporation moyenne quotidienne des différents mois de l'année se traduit par le tableau suivant (période : 1944-1953) :

(a) : Pluie en mm
 (b) : Nombre de jours de pluie
 (c) : Evaporation Piche.

	JAN	FEV	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEP	OCT	NOV	DEC
DAKAR (a)	0,4	0,5	0,4	0,0	0,2	29,3	89,2	264,4	144,9	41,9	4,3	0,4
DORI	0,3	0,5	0,2	4,4	25,7	49,7	121,9	168,9	85,9	20,1	2,0	0,0
DAKAR (b)	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	2,1	6,9	13,1	10,6	3,5	0,7	0,2
DORI	0,1	0,5	0,0	0,6	3,1	5,5	9,1	11,5	6,9	1,2	0,3	0,0
DAKAR (c)	215	196	200	161	153	124	128	95	86	44	151	187
DORI	344	356	452	480	422	303	195	102	111	214	321	354

Les phénomènes pluviométriques sont très analogues. On note cependant un étirement de l'hivernage, qui commence un mois plus tôt, à Dori. Quant à l'intensité des pluies, qui intervient aussi, quoique dans une moindre mesure, nous ne pouvons en tenir compte car il y a manque d'information sur le régime de Dakar.

Par contre, l'évaporation est sensiblement deux fois plus importante à Dori.

On ne fera intervenir dans les calculs que l'évaporation au cours des mois d'hivernage. En période sèche, l'évaporation agit sur la nappe qui s'est constituée, non négligeable certes, mais qui dépend de facteurs très variables selon chaque cas particulier (profondeur, etc). On notera toutefois que l'évaporation sur nappe est sûrement bien plus intense à Dori qu'à Dakar.

Ceci posé, il existe deux méthodes pour tenter de comparer l'infiltration à Dakar et à Dori :

a) Estimation directe de la hauteur de pluie infiltrée

On peut supposer, en première approximation, que les conditions dans lesquelles fonctionne l'évaporomètre PICHE diffèrent peu de celles qui président à l'évaporation dans la portion la plus superficielle du sol imbibée d'eau de pluie. Il suffit, dans cette hypothèse,

2) INFILTRATION INDIRECTE

Dans ce second mode d'infiltration, réalisé à partir des eaux collectées et épanchées par un système hydrographique quelconque, les "seuils" pluviométriques et évaporatoires perdent leur importance. Les conditions topographiques et la perméabilité du terrain imbibé sont par contre déterminantes.

Dans les dunes elles-mêmes, au-dessus d'une pente critique du sol, et selon l'intensité de la pluie, le ruissellement intervient et entraîne la concentration de l'eau dans les bas-fonds et les tayerts. Il peut alors y avoir gain ou déficit de l'infiltration par rapport au cas du ruissellement nul, suivant le degré de perméabilité de la zone d'accumulation.

Dans les secteurs plus argileux, la formation de petites mares temporaires s'accompagne généralement d'un renforcement de l'imperméabilité du terrain, qui arrête toute infiltration.

C'est essentiellement dans les dépressions des grandes mares et dans les thalwegs des marigots que se produit l'infiltration.

a) Les mares

Toutes les mares importantes se trouvent soit dans la dune ou sur le bord de la dune, soit sur le cours d'un marigot. Leur fond est toujours imperméable ou très peu perméable, formé de dépôts argileux qui recouvrent une phase sableuse alluviale ou dunaire constante (sauf quelques exceptions : Dori-Sud, la plupart des mares du Beli). Cette disposition se traduit par une auréole sableuse de bord de mare, en continuité avec les sables du fond, ou, plus souvent, du côté adossé à la dune, par une frange sableuse, qui plonge sous les dépôts argileux.

C'est par cette frange que se réalise l'essentiel, et dans certains cas la totalité, de l'infiltration, par une sorte de débordement dans la zone perméable. C'est peut-être le fonctionnement de cet "exutoire souterrain" qui explique que l'époque d'assèchement d'un certain nombre de mares fermées ne semble pas varier sensiblement avec les années (Ce n'est pas le cas de la mare de Dori).

Ce processus explique également qu'en dehors de la période de débordement sur la bordure sableuse, la nappe n'est jamais en équilibre statique ni même au contact avec le plan d'eau superficiel.

Infiltration latérale

Les deux grandes mares intradunaires de la région, la mare de Dori-Nord et la mare de Bidi-Menegou alimentent -ou contribuent à alimenter- une nappe sous la dune. Ces nappes se manifestent par des émergences le long des versants Nord des dunes : Diona pour Dori, ligne d'émergence de Bidi à Menegou (E 6).

Il n'est pas exclu que d'autres mares (mares de bordure de dune, telles que Oursi (D 4) Yomboli (D 5), Kissi, Koni (D 7), Darkoy (C 7), Markoy (D 8), ou Djigo (G 6) alimentent également leur nappe sous-dunaire, mais cette alimentation ne se manifeste pas par des émergences.

b) Les marigots

Dans bien des cas, l'alimentation des nappes de marigot paraît s'effectuer aussi par des infiltrations de bordure : le lit mineur est colmaté par les dépôts argileux, tandis que les bords du lit majeur sont souvent très sableux. L'infiltration se fait pendant les crues où le marigot déborde largement sur son lit majeur (en particulier dans les passages de dunes). L'extension de la zone d'exploitation de certaines nappes ne dépasse pas une zone étroite sur le bord du lit, les puisards du lit restant stériles (il est vrai que cette particularité reflète le plus souvent l'absence de formations perméables dans l'axe du lit).

On peut, pour simplifier cette étude, distinguer deux cas extrêmes suivant le régime des marigots considérés :

- Faible bassin-versant et pente forte : les crues sont brèves et rapides; quelques heures après la pluie, il ne subsiste plus d'eau que dans de petites mares à fond imperméable dues à l'irrégularité du profil : cas du marigot de Gaïgou par exemple (F 7, fiches 15-16). Les eaux de ruissellement ne séjournent pas suffisamment de temps pour donner lieu à une infiltration notable, même dans les zones assez perméables. Nous n'avons jamais, au cours de nos tournées, rencontré de nappe alluviale riche, alimentée par un bassin-versant de moins de 40 km².

- Bassin-versant important, pente faible : les crues sont considérables et durent plusieurs jours. Le thalweg est inondé de façon continue pendant une partie de l'hivernage. Par exemple le Goudebo au passage de la piste de Markoy a coulé en 1954 au moins pendant 60 jours d'affilée. La durée d'inondation est prolongée immédiatement à l'amont de la piste jusqu'en décembre ou janvier par la présence d'une mare dans un secteur déprimé du profil (cf. fiche 6).

Tout dépend dans ce second cas de la perméabilité des dépôts alluviaux. La couche de sable grossier que constitue souvent le fond du remplissage alluvial du tahlweg peut rester stérile, faute d'infiltration. Il ne semble pas possible d'ailleurs de déterminer un coefficient de perméabilité critique de la possibilité d'infiltration, en raison de l'hétérogénéité qui caractérise les formations alluviales (cf. en particulier la comparaison des conditions sur le Goudebo au point 6 et à Alkoma, F 8, fiche 271).

- Il semble que dans certains cas (marigots de petite ou moyenne importance coulant dans des zones de dune au milieu d'un lit sableux) le défaut d'alimentation de la nappe ne soit pas dû à l'absence d'infiltration, mais à la faiblesse du débit (le ruissellement est très faible, dans les dunes) par rapport à la surface absorbante. Les quantités d'eau écoulées, s'infiltreraient dans une forte proportion, parfois en totalité (à l'exception bien entendu de la fraction évaporée), mais leur répartition sur l'ensemble du cours du marigot ne suffirait pas à imbiber une épaisseur de sable capable d'assurer la pérennité de la nappe ou simplement une exploitation normale.

Ce pourrait bien être le cas du marigot de Boulel (C 5) qui se perd dans les sables entre Gonadaouri et Tin Hatan (cf. fiches 195 et 196) et du marigot de Gandafabou à Raffnaman (C 3, fiche 216) dont l'existence à l'aval de Ferilia est douteuse.

B.- ACCUMULATION ET CIRCULATION DES NAPPES

L'absence d'alimentation pendant la période sèche de l'année, son extrême parcimonie à l'hivernage, font que le régime des nappes, alluviales et autres, n'a en règle générale rien de commun avec ce qu'il peut être dans un pays tempéré.

Nappes de dunes

En quelques points seulement (et plusieurs d'entre eux ne doivent leur existence qu'aux pluies exceptionnelles des années 52 et 53), on note l'affleurement d'une nappe ou pied d'une dune, ce qui implique une compensation de l'évaporation, donc un apport constant. Cette circulation continue de nappes relativement étendues (Dori, Bidi) résulte, à la fois, de l'homogénéité du niveau aquifère, d'une certaine pente générale de la couche d'arrêt (socle) et d'une bonne alimentation de la nappe (par infiltration latérale d'une mare, ou à la suite d'un hivernage particulièrement pluvieux).

Dans le cas général, et plus on remonte vers le Nord, jusqu'aux zones totalement privées d'infiltration directe, les nappes de dunes se morcellent. La "microtopographie" du socle prend ici son importance.

Suffisamment régulières pour submerger les irrégularités du relief souterrain à la fin d'un hivernage très pluvieux, les eaux d'infiltration s'écoulent lentement vers les bas-fonds, qui demeurent les seuls points aquifères en fin de saison sèche d'année moyenne ou par année sèche.

Suivant la topographie souterraine, la latitude et les conditions climatiques des dernières années, on rencontrera la surface de la nappe dans le sable, dans la couche ferrugineuse ou dans les arènes.

Quant aux vitesses de propagation des nappes, si quelques observations permettent certaines déductions, leur interprétation nécessite une grande prudence. L'exemple de la nappe de Bidi est caractéristique à cet égard (E 5, fiche 61).

La nappe qui émerge au pied de la dune de Bidi à Menegou est en équilibre avec la mare. Le débit de l'émergence, très faible en fin d'hivernage, est maximum vers le mois d'avril, ce qui traduit apparemment le temps de propagation entre la mare à l'émergence (8 mois). Les sables de dune les plus perméables de l'OU DALAN ont un K de l'ordre de 10^{-2} cm/sec. La dénivelée entre mare et émergence est d'environ 4,70 m et plus courte distance de l'ordre du kilomètre, soit un gradient hydraulique de près de 5 ‰.

D'après la loi de Darcy, la vitesse de propagation exprimée en mètres/jour, est donnée par l'expression :

$$V = K i = 1.10^{-2} \times 10^{-2} \times 5.10^{-3} \times 86.400 = 0,04 \text{ m/jour.}$$

Or la propagation s'effectue en réalité en 240 jours, c'est à dire à la vitesse de

$$V' = \frac{1.000}{240} = \text{environ } 4 \text{ m/jour}$$

c'est à dire 100 fois plus vite.

Il est possible que sous le sable une couche ferrugineuse vacuolaire de forte perméabilité permette une circulation plus rapide. Mais il semble surtout qu'on ait affaire ici au phénomène "propagation d'une onde de crue", bien distinct du processus impliquant le transport de particules d'eau, qui est seul régi par la loi de Darcy. Les études faites sur certaines nappes alluviales de France (Loire, Durance, Rhône) montrent la vitesse des deux phénomènes ^{est} d'un ordre de grandeur totalement différent (1).

(1) C'est à fortiori le cas des nappes captives (nappe de Sebikotane, à Dakar par exemple), où la propagation des pressions est quasi instantanée.

Nappes alluviales

Les possibilités de circulation des nappes alluviales sont encore plus réduites que celles des nappes de dunes. Une des raisons de l'écoulement continu d'une véritable nappe alluviale (en région tempérée) est l'équilibre avec un cours d'eau de niveau variable et avec des apports latéraux également très variables. Rien de semblable ici.

Le cas extrême est celui de la nappe de fond de mare : il s'agit simplement d'une accumulation dans la cuvette sableuse de la base des alluvions. Aucune circulation ultérieure. On a affaire à une véritable "mare souterraine".

Dans de nombreux marigots, il en est à peu près de même. Les eaux s'infiltrant dans les tronçons perméables et s'accumulent dans la couche sableuse basale. Il résulte de l'hétérogénéité de constitution des dépôts qu'il y a rarement continuité sur une grande distance le long du cours (sauf peut-être pour les passages de dune). (cf. en particulier le cas des nappes de Saouga : E 7, fiche 7-d). On a plutôt affaire à une succession de "mares souterraines".

Compte tenu de l'hétérogénéité des alluvions, il apparaît que les phénomènes de "circulation" des nappes de fonds de marigots se réduisent à une simple régularisation du niveau statique en fonction des accidents locaux du socle, dont il ne faut d'ailleurs pas s'exagérer l'importance, avec une propagation négligeable vers l'aval. L'intervention des seuils rocheux du thalweg sur le "régime de la nappe" est minime. Les réserves se stabilisent dans les dépressions locales du fond. C'est bien de "mares souterraines" qu'il faut parler.

Etalement et dispersion latérale

Le raisonnement précédent ne prend toute sa valeur que si le thalweg du marigot est creusé dans une formation imperméable (socle ou dépôt argileux préexistant) : infiltration et accumulation se limitent strictement dans ce cas à la phase alluviale.

Il n'en est pas toujours ainsi. Dans bien des cas de marigots de dune, le creusement de la vallée paraît n'avoir affecté que la dune elle-même. La phase sableuse basale des dépôts alluviaux, (en certains points, cette phase s'étend à la totalité des alluvions, il n'y a pas d'argile) se trouve en continuité dans le fond et sur les bords avec les sables éoliens sous-jacents. Les eaux d'infiltration s'étalent et se dispersent latéralement dans la dune. Malgré la lenteur des phénomènes de percolation, il semble que dans certains cas, ce phénomène puisse jouer dans le sens d'un appauvrissement considérable de la nappe. Ce peut être le cas de la nappe de Kouna, Deibanga, Timbossosso (cf 8, fiches 252-53-54), continue et de très faible puissance, dans un marigot

où les crues seraient très importantes. Dispersion possible aussi dans le marigot de Petelkotia (126) à Tiafelbohe (122) (F 4), ainsi qu'à Tin Agadel (25, E 7) et Salmossi (30, D 7).

Il serait très instructif de préciser l'ampleur de ce phénomène par une étude complémentaire effectuée sur un marigot de ce type et qui consisterait à suivre l'évolution des niveaux statiques par une ligne puits expérimentaux allant du marigot jusqu'à l'intérieur de la dune.

C.- EPUISEMENT DES NAPPES PAR L'EVAPORATION

Dans toute la région visitée, le niveau statique des nappes ne se situe qu'exceptionnellement à plus de 10 m de profondeur. Si l'on admet, comme de multiples observations faites en AOF conduisent à le penser, que l'évaporation en climat aride joue sur une nappe très au-delà de la classique frange capillaire, on conçoit que les nappes du Nord-Dori soient particulièrement vulnérables. Bien qu'elle dépende de la nature du terrain de couverture (une couche argileuse superficielle protégera mieux la nappe que du sable éolien), l'évaporation des nappes dépend essentiellement de la profondeur du niveau aquifère.

Même dans le cas le plus simple et le plus évident d'une nappe subaffleurante ou très proche du sol, on doit noter d'ailleurs qu'on n'a pas de données précises sur l'épaisseur de nappe que l'évaporation est susceptible de consommer annuellement. En attendant le résultat de recherches en cours en d'autres points de l'AOF (1), il est bien difficile d'avancer des chiffres : on n'est jamais absolument sûr, en effet, que la nappe observée est rigoureusement privée d'apports de bordure, ou réciproquement qu'elle n'est pas sujette à "dispersion latérale", sans parler des difficultés d'évaluer le débit consommé par les utilisateurs eux-mêmes.

Si l'on voulait faire des recherches sur l'intensité du phénomène d'évaporation sur nappe dans la région de Dori (en rapportant les observations aux données de l'évaporomètre de la station), signalons qu'un point favorable (nappe alluviale localisée, limitée au thalweg par une bordure de terrains imperméables, donc stabilisée selon toute probabilité dès le début de la saison sèche) serait constitué par la nappe de Gagarbou (F 7, 270) sur le Goudebo, non loin de Dori.

Quoiqu'il en soit de sa valeur exacte, l'évaporation sur nappes affleurantes ou proches du sol est certainement importante. Nous avons vu

(1) Etude de la nappe alluviale de l'Oued Seguelil en Mauritanie, menée par le Service de l'Hydraulique pour l'alimentation en eau des Usines de cuivre d'Akjoujt.

D.- MINERALISATION DES NAPPES

1) CARACTERES GENERAUX DE LA MINERALISATION

La majorité (environ 160) des points d'eau étudiés a donné lieu à la mesure sur le terrain du pH (papier colorimétrique) et du titre hydrotimétrique (liqueur titrée de savon). De plus, 10 analyses chimiques ont été effectuées sur des échantillons provenant pour la plupart de Dori (cf. résultats en annexe...)

Ces mesures permettent de dégager les résultats d'ensemble suivants :

- Les eaux de ruissellement (marigots et mares en hivernage) sont très faiblement minéralisées. Leur pH acide (entre 5 et 6) correspond à la nature des roches dominantes du substratum (granites et roches siliceuses ou silico-alumineuses diverses).

- Au fur et à mesure de la concentration, le pH croît en règle générale en même temps que le TH. Les eaux chargées ont un pH souvent supérieur à 7.

- Les caractères de la minéralisation différencient nettement les trois grands groupes de nappes (*) :

			pH		TH	
NATURE DE LA NAPPE	(1)	(2)	(3)	(4) (2)	(3)	(4)
ALLUVIALE (marigots)	27	5,8	5,2 à 7,0	5,5-6,0 7,1	3 à 20	5-10
ALLUVIALE (mares)	13	6,8	5,2 à 7,7	7,0-7,5 17	6 à 30	20-25
DE DUNE	38	6,7	5,0 à 7,8	7,0-7,5 24	3 à 120	5-15 25-30

(1) (2) (3) (4) : T.S.V.P.

(*) De tous les chiffres qui suivent, on a éliminé les cas les plus aberrants et les plus ambigus (par le mode d'alimentation). Au total, 100 points d'eau ont été retenus pour établir les moyennes, dont 78 pour le tableau. La prédominance des nappes de dunes dans ces chiffres résulte du fait que, vu l'irrégularité de leurs caractéristiques, nous les avons mesurées systématiquement.

Conditions naturelles :

- Marigot d'environ 4,5 km² de B.V. Le bassin de réception est situé dans une zone de reg argilo-ferrugineux où le ruissellement est important. Le cours s'engage ensuite dans un secteur plus sableux, en bordure de la dune de Gaigou.

- Les alluvions sont hétérogènes, à prédominance sableuse avec intercalation de passées plus argileuses. A l'extrémité Nord de la zone des puisards, un puits de reconnaissance a trouvé le socle (schistes peu métamorphiques à altération argileuse prononcée) sous 5 m environ de dépôts. L'alluvion sablo-argileuse du fond de la retenue a un coefficient de perméabilité de : $0,53 \cdot 10^{-3}$ cm/sec. Les emprunts destinés au remblai ont été prélevés à cet endroit, mais, plus superficiels, ils doivent être dans l'ensemble un peu plus perméables.

- Les bords du marigot sont très sableux (dune). Le site choisi (Cf planche IV) n'a rien de très particulier. On peut en trouver de semblables sur la plupart des marigots.

- Les puisards, dont la zone commence environ 60 m à l'aval de la digue n'ont fourni jusqu'à présent que de très faibles débits. Bien qu'approfondis jusqu'au socle, ils tarissent longtemps avant la fin de la saison sèche. En 1954, après un hivernage exceptionnel, la nappe était asséchée dès la mi-mars.

L'ouvrage (photos 7 et 8, annexe n° I, page 91)

La digue est constituée d'un remblai des terres du fond du thalweg : Ces terres n'ont pu être compactées, comme il était prévu.

106 m de long
2 m de largeur au sommet
4,50 à 7 m de largeur à la base
Talus amont : 2/1, aval : 3/2
Hauteur maximum : environ 2 m

Le parement amont est protégé à la base par un revêtement de pierres sèches.

La largeur de l'ouvrage a été renforcée au milieu du thalweg. Elle est d'environ 9 m au sommet et 13 à la base.

Un déversoir a été ménagé de chaque côté de la digue en continuité avec elle. Primitivement prévus de 25 m de large, ces déversoirs ont été allongés d'une quinzaine de mètres afin d'étaler la lame

	Cote du terrain	Niveau stat. le 18/9	Niveau stat. le 12/10	Baisse de niveau
Sommet de la digue (a)	10,60			
Niveau de la retenue		9,09		
Puisard 1 (sous la retenue)	env. 9,0		env. 7,0	(b)
2 - Affl. nappe pied du barrage		8,30		
Puisard 3 (lit mineur)	8,67	7,74	env. 6,47	- 1,27
Puisard 4 (lit mineur)	8,83	6,85	env. 6,55	- 0,30
Puisard 5 (lit mineur)	8,59	6,53	env. 6,15	- 0,38
Puisard 6 (20 m W. lit m)	9,21	5,87	env. 5,40	- 0,47
Puisard 7 (Déversoir W)	9,73	6,31		

(a) Le sommet de la digue a été évalué à 10,60 au lieu de 10,75 sur le projet, pour tenir compte du tassement

(b) Emplacement et cote du puisard (1) non vérifiés.

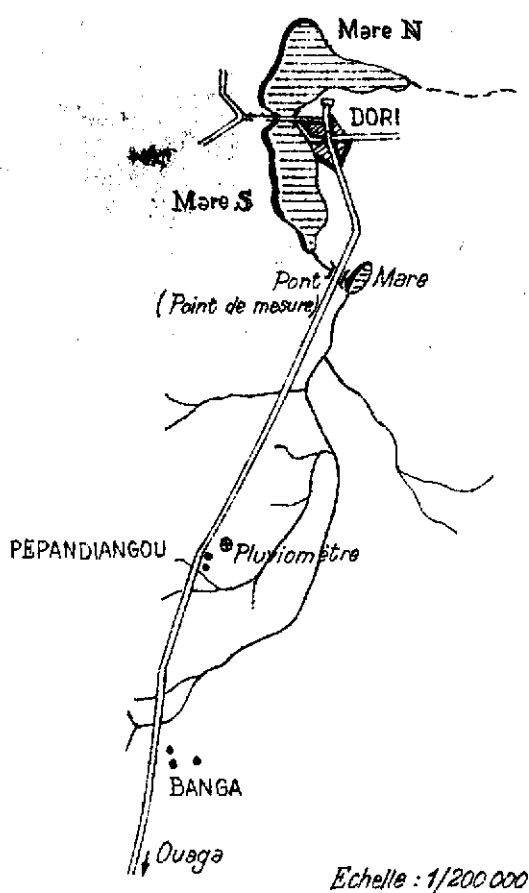
Ces résultats sont traduits par le graphique de la planche V. Ils appellent les remarques suivantes :

- On a trouvé des débris rocheux au fond du puisard (4), ce qui indique la présence probable à ce niveau d'un seuil du bed-rock. Le profil du lit mineur accuse ce seuil par un bombement local. Remarquons que la zone des puisards indigènes se trouve implantée au milieu de la dépression aval (socle vers 5 m).

- Le 18/9, dans les derniers jours de l'alimentation par la retenue, le gradient hydraulique moyen entre le plan d'eau et le point (4) s'équilibrait à 5 %, et entre les points (4) et (6), à 14 ‰.

Le gradient est passé entre (1) et (4) de 5 % à 6 ‰, avec une légère dépression vers le point (3). Entre (4) et (6), il s'est très légèrement accentué, passant de 14 à 16 ‰.

La nappe évolue vers la stabilisation. Il est vraisemblable qu'elle finira par s'équilibrer en deux portions distinctes, à l'amont et à l'aval du seuil (4).



On a extrait des résultats obtenus les plus significatifs, qui concernent la période du 18 au 26 août. La planche VI traduit graphiquement les mesures. On y a tracé en regard des hauteurs de pluie relevées à Dori et au milieu du B.V. la courbe des débits approximatifs et la courbe de montée des eaux au pont W. de Dori, entre les deux mares.

Conditions naturelles :

Bassin-versant :	Superficie	90 km ²
	Allongement L/\sqrt{S}	1,5
	Pente moyenne	0,45 ‰
	Terrain sablo-argileux, taches latéritiques, herbeux, végétation moyenne	

Mare Sud de Dori : env. 4 km²

Points d'observation :

- Pont sur le marigot :

7 pertuis de 1 m de large sur 1,60 de haut et 5 m de longueur. A partir d'une hauteur de 0,90, une partie du flot s'écoule sur la route au N. du pont.

- Pont de Dori entre les 2 mares :

3 buses de 1 m de diamètre sur 5 m de long. Un déversoir secondaire à quelques centaines de mètres à l'W. du pont évacue une partie du débit.

Il y a près de 4 km entre les 2 ponts (longueur de la mare Sud de Dori).

Observations :

Crue du 21/8 : Pluie de 30 mm

Maximum de débit au marigot : environ 12 m³/sec, 12 heures après la pluie.

Maximum de débit entre les 2 mares : environ 4 m³/sec, 42 h après le maximum du marigot.

L'effet de la crue était pratiquement terminé à l'extrémité aval de la mare Sud, 60 heures après le maximum de débit du marigot.

Ordres de grandeur des débits de crue maximum

Leur connaissance est fondamentale. On n'a malheureusement jusqu'ici, à cet égard, que des données peu sûres. Des observations faites ailleurs (1) comme de celles qu'il nous a été donné de faire nous serions tentés de déduire, en grossière et première approximation pour les crues exceptionnelles, et par Km² de B.V., les chiffres suivants :

1.500 à 2.000 km ²	:	0,3 à 0,5 m ³ /sec
1.000 à 1.500	:	0,4 à 0,6
500 à 1.000	:	0,5 à 0,7
250 à 500	:	0,7 à 0,9
100 à 250	:	0,9 à 1,2
50 à 100	:	1,2 à 1,5
20 à 50	:	1,5 à 3
0 à 20	:	3 à 5

(1) GAUCHOU - Etablissement de barrages en terre en région soudanienne.

Lorsque ce rapport est égal à 5 %, le calcul montre que la retenue est capable d'absorber une pluie de 60 mm en une heure, avec une lame déversante de 0,70 m, quelle que soit l'étendue du B.V. (1). En fait cette proportion ne peut être réalisée, à la rigueur, que dans le cas de barrages de suralimentation, car la quantité d'eau recueillie ne résisterait que quelques semaines à l'évaporation.

- Mieux vaut généralement, compte tenu des terrains très sableux de beaucoup de bords de marigots, augmenter la largeur du déversoir qu'admettre une lame trop puissante. En règle générale, et même si la pente est faible, la lame d'eau ne devra pas dépasser 0,50 m. Il est encore plus sûr, si la chose est possible, de se limiter à 0,30 m. Selon la précision de l'estimation du débit et la hauteur de lame, la revanche entre la sole du déversoir et le sommet de la digue doit être comprise entre 1,20 et 2 m.

- Chaque fois que possible, on tracera un chenal de déversement au large du barrage, en tenant compte de la topographie du terrain. Si le déversoir est adjacent à la digue, on est obligé d'édifier un remblai ou une garniture en enrochement pour la protéger contre l'érosion.

- La pente du chenal déversant sera établie en fonction de la vitesse critique d'érosion des terrains. Si cette pente est trop forte, on peut y remédier en ménageant 2 ou 3 paliers séparés par des marches en enrochement.

- Les terres alluviales de beaucoup de thalwegs conviennent bien à l'édification d'une digue en remblai homogène. Les matériaux les meilleurs ont une granulométrie très étalée. Le remblai sera compacté par couches successives.

- On aura souvent intérêt à donner au talus aval une pente faible afin d'éviter la percolation à travers le barrage.

- Etudier soigneusement l'étanchéité des alluvions du thalweg. Fréquemment, le fond est recouvert d'une argile imperméable, mais les bords sont très sableux. Les zones latéritiques qui fournissent parfois des sites intéressants sont généralement perméables. Il importe de les examiner de près.

(1) GAUCHOU : op. cit.

2) Nappes résultant d'infiltration directe :

- Temporaires dans les regs sableux
- Dans les zones sableuses à reliefs granitiques
- Dans les dunes (Sans circulation notable
(Avec émergences ou interaction sur les nappes alluviales.

247 points d'eau ont été étudiés : 180 pérennes et 67 temporaires. Il faudrait y ajouter un certain nombre de petites mares de quelques centaines de m², dispersées dans les regs et utilisables à la fin de l'hivernage, ainsi que de nombreux puisards implantés dans des nappes superficielles de reg asséchées en quelques semaines ou plus rarement un mois ou deux après les dernières pluies.

Ces points d'eau, dont l'inventaire figure sous reliure distincte, représentent chacun soit un puits, soit un puisard, soit toute une zone de puisards ou une mare. Ils se répartissent comme suit :

- Mares sans puisards	: 32	dont pérennes :	7	, temporaires :	25
- Nappes de fonds de mare	: 32	"	: 27	,	" : 5
- Nappes alluviales	: 104	"	: 81	,	" : 23
- Nappes d'infiltration	: 79	"	: 65	,	" : 14
directe (de dunes au sens large)					

I - NAPPES RESULTANT D'INFILTRATION INDIRECTE

A.- NAPPES DE FONDS DE MARES

Les caractères principaux des puisards implantés dans ces nappes sont résumés par le tableau suivant (*) (portant sur 24 points)

	0-1m	1-2m	2-3m	3-4m	4-5m	5-6m	6-10m	sup.10m
Profond. puisard	0 %	16,4 %	20,8 %	20,8 %	12,5 %	12,5 %	4,2 %	12,5 %
Profond. niv.stat	0 %	25 %	16,4 %	20,8 %	16,4 %	4,2 %	8,3 %	8,3 %
Débit/jour par puisard	0-100 l.	100-250 l.	250-500 l.	500 l.-1m ³	1-2 m ³	sup.2m ³		
	16,6 %	4,2 %	20,8 %	29,2 %	16,4 %	12,5 %		
Minéralisation(**)			pH moyen : 6,8		TH moyen : 17			

(*) Tous les relevés, et ceux des tableaux suivants ont été faits en fin de saison sèche (mars et juillet), après deux années exceptionnellement pluvieuses (planche I, page 15).

(**) A partir de 13 relevés (tableau p. 33)

Rappelons brièvement les points essentiels dégagés dans les chapitres précédents :

- Infiltration par débordement sur les bords sableux.
- Stabilisation de la nappe dans les sables du fond de la cuvette, sous les dépôts argileux imperméables. Pas d'équilibre statique entre la nappe et le plan d'eau.
- La minéralisation relativement forte de la nappe résulte du processus d'infiltration et de l'impossibilité de lessivage.

Il semble que cette minéralisation soit accrue par une absorption des sels par diffusion dans l'auréole de bordure : à Dori, 21/9, le niveau statique du puits 1-d (cf. fiche), en cours de puisage, s'établissait à 48 cm en-dessous du niveau de la mare (distance puits-bord de mare : 6 à 7 m). Ce puits que possède un revêtement cimenté continu enfoncé de 6,30 m dans le sol, s'alimente à la partie profonde de la nappe. Un échantillon de l'eau du puits a donné : pH : 7,6 - TH : 21 contre pH : 6,2 et TH : 5 pour l'eau de la mare.

Un petit puisard, creusé à mi-distance entre puits et mare

Les nappes alluviales du Goudebo (cf carte n° 1 et fiches correspondantes de l'inventaire)

On rencontre le long du cours du Goudebo, entre Oulfo-Alfa (G 4) et Yatakala (C 9), tous les types de nappes de thalweg de la région, en relation avec la nature des régions traversées par le marigot.

a) Goudebo supérieur d'Oulfo-Alfa à Yakouta.

Toute cette portion du marigot est située dans la dune.

- D'Oulfo à Demeni, nappes alluviales ordinaires de ressources assez moyennes :

Oulfo-Alfa (141) : Dépression alluviale sableuse. Nombreux puisards. Sables bouillants. Débits faibles. Eau très douce. La zone paraît être un peu sous-alimentée.

Oulfo-Est (140) : Thalweg assez sableux, peu important. Débits moyens, pérennes. Légère suralimentation latérale probable (eau dans la couche ferrugineuse à 400 m au N. du marigot, et TH 10 des puisards du marigot).

Tadio (158) : Exemple typique de nappe alluviale en zone de dune : thalweg légèrement encaissé dans la dune. Dépôt sableux grossier de base, en continuité probable avec les sables éoliens, surmonté d'alluvions argileuses. Lit mineur en surimpression dans le dépôt argileux. Alimentation sans doute en majeure partie réalisée par infiltration par les bords du thalweg.

Rien ne permet de savoir si les eaux d'infiltration du marigot ont tendance à diffuser dans la dune ou si, au contraire le niveau statique est maintenu par des apports de la dune.

Boundounoudji (159) : Pas de puisard dans le marigot. Présence d'une nappe sous-dunaire près du village, à 3 ou 400 m au Sud du Goudebo.

Seno (160) : Nappe alluviale. Débits moyens.

Petelniaki (149) : Même type qu'à Tadio ; dépôt superficiel imperméable ; une phase sableuse stérile entre 2 phases argileuses. Alimentation des sables grossiers de base par infiltrations des eaux de crues dans les parements (sable éolien).

- Zone de Demeni, jusqu'à Ouhama (fiches 145 et 151)

Le thalweg s'encaisse de 5 à 15 m dans la dune, où il recoupe

blement du reg à la zone d'étalement du flot, marquée seulement par une densité plus forte des épineux.

On retrouve exceptionnellement sur les bords des plages de sable, dont l'origine est sans doute alluviale. La phase argileuse des dépôts prédomine largement. La phase sableuse de base est faible et localisée. Les conditions favorables à la constitution d'une nappe ne sont que rarement réunies, malgré l'importance et la continuité de l'écoulement superficiel en hivernage.

- De Yakouta-Nord à la piste de Markoy :

3 petites nappes. Réserves et débits des puisards insignifiants :

Gountia (101) : Accumulation sableuse locale sur rive gauche. Un peu d'eau à 7 m dans la phase sableuse, sous le banco du thalweg.

Boubanguil : 97 : sable sur rive gauche. Puisards pratiquement taris en mars, descendus jusqu'au socle. Eau résiduelle remarquablement chargée : TH 38

96 : Un peu d'eau à 7 m

Point 6 (piste de Markoy) : marigot localement encaissé (seuil). Coefficient de perméabilité de l'argile superficielle

$$K = 3,45 \cdot 10^{-5} \text{ cm/sec}$$

Immédiatement à l'aval de la piste, dépôt argileux continu jusqu'au socle : 3,25 m d'épaisseur.

A l'amont, mare temporaire. Fond très argileux. La phase sableuse existe à la base, mais elle reste stérile.

- De la piste de Markoy à Falagontu

Les conditions de terrain demeurent analogues à celles de la section précédente à cette différence près que le reg encaissant est dans l'ensemble moins argileux. Le marigot prend de plus en plus d'importance.

Quatre points d'eau pérennes et d'une certaine importance existent cependant (fiches 270, 271, 272, 273). Bien que la perméabilité, mesurée au laboratoire, des argiles superficielles soit du même ordre que celle du point 6, il est probable que, comme à Alkoma, l'alimentation est réalisée dans les 4 cas par percolation directe des eaux de surface à travers la couche argileuse (cf. p. 10).

Aux 4 points, l'allure du thalweg est la même :

Très large extension en grande crue.

Phase sableuse recouverte d'un dépôt argileux : argile tendre, un peu sableuse, poreuse, parcourue de fissures de retrait (caractère moins marqué à Gagarbou) (1).

c) Goudébo inférieur, de Falagontu à Yatakala (marigot de Tong-Tong)

A partir de Falagontu, les sections encaissées dans la dune constituent la majeure partie du cours. Tous les points d'eau y sont situés. Les nappes, bien alimentées, possèdent des réserves importantes. L'époque de la visite ne nous a pas permis de déceler une interaction possible de nappes sous-dunaires, les puisards étant submergés. La probabilité d'existence pérenne de telles nappes est d'ailleurs réduite du fait de la latitude, surtout dans l'extrême Nord du cours.

A Falagontu (249), nappe très constante

A Tong-Tong (250), éminence sableuse sur rive droite. Sur rive gauche, et au fond du marigot, on retrouve des argiles identiques à celles des points d'eau du Goudébo moyen, particulièrement caractéristiques ici.

Au Nord de Tong-Tong (fiche 244), tous les points d'eau se trouvent au fond d'un thalweg très sableux, profondément encaissé dans la dune. Très abondants, ils permettent la subsistance de troupeaux importants. (2)

Aux 4 points, l'allure du thalweg est la même :

Très large extension en grande crue.

Phase sableuse recouverte d'un dépôt argileux : argile tendre, un peu sableuse, poreuse, parcourue de fissures de retrait (caractère moins marqué à Gagarbou) (1).

c) Goudébo inférieur, de Falagontu à Yatakala (marigot de Tong-Tong)

A partir de Falagontu, les sections encaissées dans la dune constituent la majeure partie du cours. Tous les points d'eau y sont situés. Les nappes, bien alimentées, possèdent des réserves importantes. L'époque de la visite ne nous a pas permis de déceler une interaction possible de nappes sous-dunaires, les puisards étant submergés. La probabilité d'existence pérenne de telles nappes est d'ailleurs réduite du fait de la latitude, surtout dans l'extrême Nord du cours.

A Falagontu (249), nappe très constante

A Tong-Tong (250), éminence sableuse sur rive droite. Sur rive gauche, et au fond du marigot, on retrouve des argiles identiques à celles des points d'eau du Goudébo moyen, particulièrement caractéristiques ici.

Au Nord de Tong-Tong (fiche 244), tous les points d'eau se trouvent au fond d'un thalweg très sableux, profondément encaissé dans la dune. Très abondants, ils permettent la subsistance de troupeaux importants. (2)

(1) Nos observations concernant ces 4 points d'eau ont été malheureusement restreintes par la crue du marigot, déjà effective à l'époque de leur visite.

(2) cf. aussi à propos des nappes alluviales, les exemples de Touka, (fiches 81 à 91), de la zone de Deibanga (252 - 254), assez caractéristiques, et toutes les fiches concernant ces nappes (Fasc. II).

II - NAPPE RESULTANT D'INFILTRATION DIRECTE

A.- NAPPES TEMPORAIRES DE REG

L'imperméabilité n'est pas la cause de l'absence de nappe pérenne dans les regs. Seuls le reg argileux peut être considéré comme rigoureusement imperméable, et seulement dans le cas où il est nettement caractérisé. A partir de ce type, on peut trouver tous les degrés de perméabilité dans les zones de reg.

Les regs sablo-latéritiques sont perméables et peut-être même le plus souvent très perméables, en particulier lorsque la couche ferrugineuse affleure, moins dans les zones à croûte.

Mais le reg est une formation extrêmement superficielle et c'est ce qui limite ses possibilités aquifères. Seuls les regs argileux paraissent dépasser couramment une épaisseur de 2 m. Dans les regs sableux et latéritiques, cette puissance est une limite. Les affleurements du socle sont fréquents et les dépressions où l'accumulation d'eaux d'infiltration peuvent résister à un assèchement total par l'évaporation sont trop rares et exigües pour présenter un quelconque intérêt pratique.

Les zones de reg sableux se gorgent d'eau pendant l'hivernage. Les indigènes y creusent d'ailleurs de petits puits, capables d'abreuver leurs bêtes pendant quelques semaines ou au maximum pendant un ou deux mois après les dernières pluies, suivant la profondeur à laquelle ils atteignent le socle.

Nous n'avons généralement pas relevé ces puisards, dont les traces sont visibles un peu partout (cf. fiches 109-b et 132).

La petite nappe de Tiokol-Koissaré (G 7, fiche 274) a pu être observée en fin d'hivernage. Elle donne lieu à des émergences temporaires et permet aux bergers de prolonger la période d'utilisation des pâturages sans déplacement du troupeau. C'est le type de la nappe temporaire de reg "latéritique".

Au point de vue hydrologique, cette distinction se traduit par une continuité beaucoup moins grande des nappes que dans les dunes vraies, du fait de la discontinuité du revêtement sableux.

	0-1m	1-2m	2-3m	3-4m	4-5m	5-6m	6-10m.sup.10.
Profond. puisard	18,5 %	18,5 %	18,5 %	22,2 %	11,1 %	3,7 %	7,4 % 0 %
Profond.niv.stat.	22,2 %	18,5 %	22,2 %	22,2 %	7,4 %	3,7 %	3,7 % 0 %
Débit / jour par puisard	0-100 l.	100-250l	250-500l	500l-1m ³ .	1-2 m ³	sup. 2 m ³ .	
	33,4 %	22,2 %	18,5 %	11,1 %	7,4 %	7,4 %	
Nature du niveau aquifère	sable éolien	couche latée	arène		granite décomp. ou fissures		
	3,7 %	40,7 %	18,5 %		37,1 %		
Minéralisation moyenne : même ordre de grandeur que les nappes de dunes vraies							

- Les deux premières colonnes (profondeurs inférieures à 2 m) représentent des points de nappes en circulation, ou bénéficiaires d'apports qui compensent l'évaporation : dans 41 % des cas au moins, et probablement beaucoup plus, la nappe est circulante.

- Débits : 56 % des puisards fournissent des débits inférieurs à 250 l/jour, 15 % des débits supérieurs au m³/jour.

- 59 % des puisards sont implantés dans des nappes éluviales (arène et couche ferrugineuse), 37 % dans le granite décomposé in situ ou dans des réseaux de fissures. En recherchant la relation entre la nature de la couche aquifère et le débit, on s'aperçoit que les puisards à faible débit sont ceux qui atteignent la nappe dans les fissures du socle, alors que tous les gros débits sont obtenus dans la couche latéritique.

En schématisant, on peut d'ailleurs caractériser deux types de nappes :

Le premier, qui se repère à Arehel (F 7; 9 ; photo 10) , Bellagaoudi (D 6, 189), et au point 60 (D 6) de la piste de Beiga à Gorom-Gorom, se distingue par un relief peu marqué : dômes granitiques peu accusés, recouverts d'un manteau de sables éoliens et d'arènes mêlées de gravillon, de faible puissance. La nappe y est diffuse, peu importante et se réfugie au point le plus bas, dans la frange fissurée du socle. Les puits sont rarement pérennes et donnent toujours de faibles débits.

Le second type (photos 2 et 13) , bien marqué à Déou (209, D 3), Bosseye-Malebé (180, D 5), Manama et Guesselna (213 et 214, E 3) et Soffokel (265, G 9) est celui des reliefs "importants" (15 à 80 m) auxquels sont adossés des amas sableux relativement puissants. Le régime de la nappe correspond toujours au même schéma : infiltration dans la partie haute, très perméable, du contrefort sableux, percolation par gravité vers la dépression où le niveau statique s'équilibre à faible profondeur. Dans trois cas (Bosseye, Manama, Soffokel), l'affleurement du socle au fond de la dépression provoque l'émergence de la nappe.

Il est aisé de se rendre compte qu'en raison de l'extension topographique limitée et du caractère superficiel de l'ensemble de ces nappes, les fluctuations climatiques annuelles les affectent fortement : les émergences de Bosseye-Malebé et de Soffokel ne se sont manifestées que depuis les pluies exceptionnelles des dernières années. A Déou et Guesselna, où les zones de réception et d'accumulation sont plus amples, il semble que les nappes puissent résister beaucoup mieux aux effets d'une série d'années de sécheresse.

Trois petites mares intérieures (n, k, o), anciens trous à banco, assez profonds pour que l'eau y subsiste toute la saison sèche pendant les bonnes années, reçoivent les eaux de ruissellement du village. Il est fort probable qu'elles contribuent à l'alimentation de la nappe.

- Les pluies exceptionnelles de 1952 et surtout de 1953 ont fortement suralimenté la nappe et porté la cote d'hivernage de la mare à un niveau anormalement élevé : en 1953, les bas quartiers de la ville indigène ont été inondés. La mare a dû atteindre la cote 101,60 ou 101,70 (1). La cote du plan d'eau résiduel en fin de saison sèche 1954 devait se situer vers 99 m.

- La nappe en fin de saison sèche (18/6/54) (carte phréatique n° 1 - planche VII)

Les puits de Dori semblent avoir été à ce moment à leur point le plus bas. Quelques-uns ont peut-être déjà profité des apports des premières pluies, mais la physionomie générale de la nappe est celle de son niveau minimum (pour la saison sèche 1953-54).

Les courbes izopiezométriques (très approximatives à cause du petit nombre des points d'eau), indiquent une pente régulière de la surface de la nappe depuis le point haut du Sud du village jusqu'à la mare, pente de l'ordre de 1,3 % vers la mare S. (puits de l'Elevage), de 0,2 % vers la mare Nord (puits Ouest), qui correspond à la topographie. Ceci en supposant la nappe continue, ce n'est sans doute pas le cas partout.

La pente de la nappe, régulièrement dirigée de la mare vers le bombement de la ville indigène montre que la nappe conserve l'eau d'infiltration directe de la dune et n'est pas alimentée par la mare.

- La nappe en fin d'hivernage (28/8/54) (carte phréatique n° 2 - planche VIII)

La mare est près de sa cote maxima, on remarque nettement deux domaines d'alimentation :

Domaine de la dune : Puits (f) et (e)

La cote d'équilibre du puits (f) s'établit à 14 cm au-dessus du niveau du plan d'eau de la mare (o). L'alimentation se fait

(1) Cotes conventionnelles ; l'altitude vraie de Dori, est voisine de 270 m. (baromètre du poste météo).

donc essentiellement par infiltration directe. La cote des puits (e) et (f) est nettement supérieure à celle des grandes mares.

Domaine de la mare : Puits (a) et (d)

Ces deux puits, dont l'un se trouve à l'intérieur même du périmètre de la mare, bénéficient de l'apport des eaux de la mare à la nappe, avec laquelle elle est en équilibre.

Domaine intermédiaire :

Les courbes 101 limitent une zone déprimée où se raccordent les deux domaines précédents. Le puits de la Résidence est implanté au centre d'une zone particulièrement déprimée, limitée par les courbes 100 et 99.

Les puits du domaine intermédiaire se rattachent plutôt en hivernage au domaine de la mare. Lorsque la mare s'est retirée et qu'elle ne se trouve plus en équilibre avec la nappe, les pentes hydrauliques s'inversent et la zone déprimée se déplace vers le fond de la mare. Le domaine de la dune s'étend. On retrouve les courbes de fin de saison sèche (carte n° 2).

Ce phénomène est particulièrement net pour le puits de l'Élevage : noter l'importance de la perte de charge sur les quelques mètres qui séparent la mare du puits : les bords de mare sont ici très peu perméables contrairement au cas des puits (d) et (a).

On se trouve donc bien en présence d'une nappe d'infiltration directe qui bénéficie d'une suralimentation temporaire sur sa frange, par les apports de la mare.

Le tableau de la p.72 montre l'évolution de la nappe du 18/6 au 29/10 :

- Baisse des niveaux :

Pour les puits du bord de la mare, on peut penser que les niveaux atteints le 18/6/55 seront inférieurs à leur cote du 18/6/54 (différence des niveaux de la mare pendant les hivernages 53 et 54). La colonne (1) du tableau indique que les vitesses de diminution de ces puits (surtout a et d) sont actuellement inférieures à leur moyenne. La nappe est soutenue par la présence du plan d'eau au niveau de la bordure sableuse. Lorsque la mare se sera éloignée, et retirée sur un fond beaucoup moins perméable, il se produira un "décrochement" de la nappe des puits, jusqu'à l'équilibre avec le domaine de la dune. Cette discontinuité est beaucoup moins sensible au puits de l'Elevage (g), où le régime du domaine de la dune doit se rétablir rapidement après l'hivernage.

Les puits (c) et surtout (h), beaucoup plus éloignés de la mare, subissent déjà ce décrochement. Ils se stabiliseront dès le retour du régime normal de saison sèche.

De même pour le puits (b) où toute circulation doit cesser dans la nappe au-dessous d'un certain seuil. La dépression phréatique de la Résidence doit correspondre à une accumulation de bas fond, à alimentation directe nulle ou insuffisante, à alimentation par la mare sporadique ou négligeable.

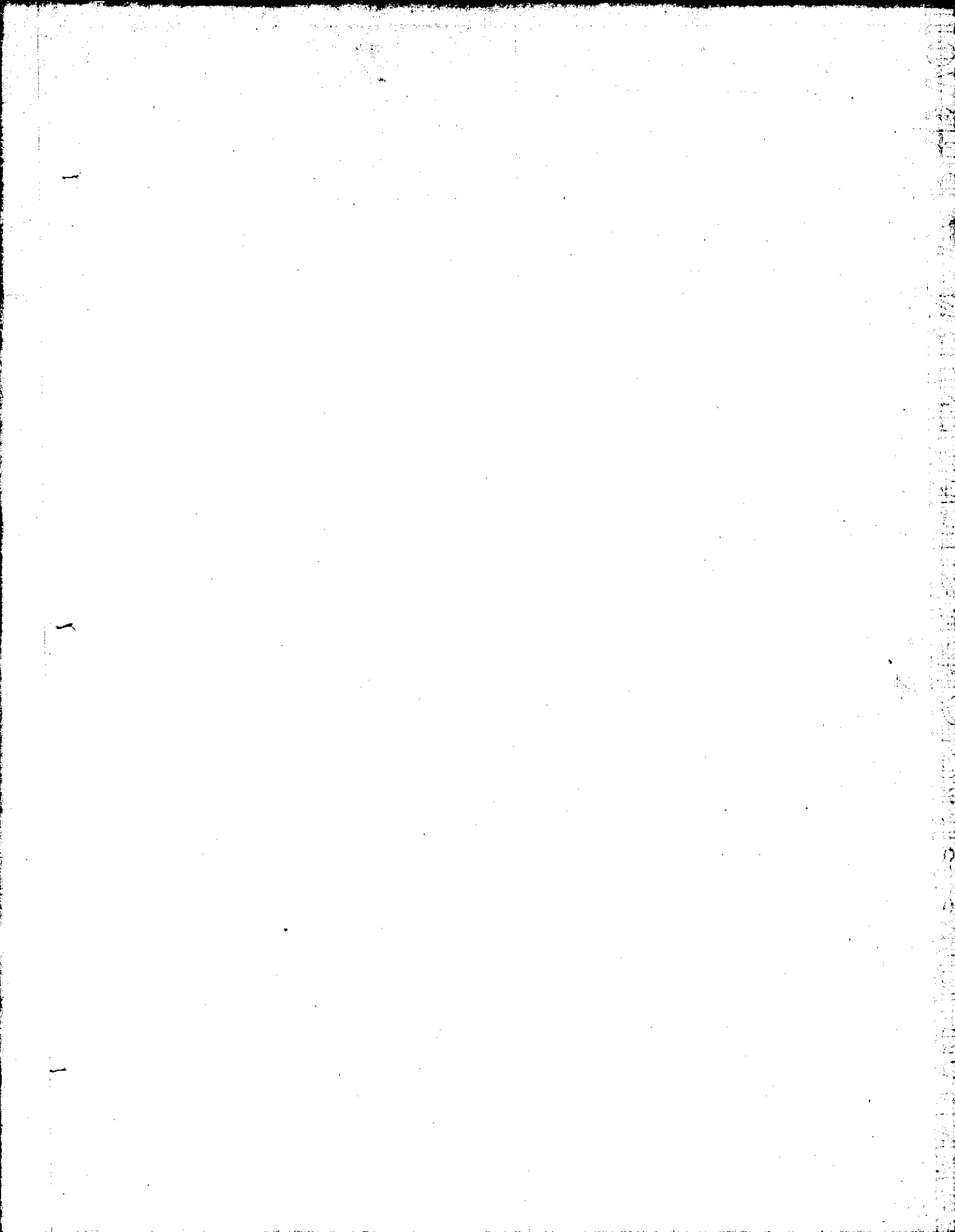
Le puits (f) qui se trouve actuellement dans une "zone d'émulsion" est le siège d'une baisse de niveau rapide. Celle-ci se ralentira avec la fragmentation de la nappe, qui réduira la circulation.

Minéralisation :

Dans l'ordre des minéralisations croissantes, les puits se classent comme suit : d - c - a - h - f - b - g. Nous réservons le cas des puisards (e), trop particulier, mais remarquable par la différence qui existe entre deux points très voisins situés dans des conditions identiques.

Nous remarquons en premier lieu que les eaux sont dans l'ensemble très chargées, même dans les puits du bord de la mare (i et j) alors que les eaux des puisards du fond de la mare Sud sont peu minéralisées, et celles de l'émergence de Dionga encore moins.

Ce phénomène est sans doute dû à deux causes : la nappe de la dune est peu puissante et peu profonde. D'où une action importante de l'évaporation. D'autre part son extension et sa circulation ne datent sans doute que de ces dernières années (conditions pluviométriques exceptionnelles). A plusieurs reprises auparavant, elle a dû se



La déficience des ressources en eau destinées au bétail n'est peut-être pas la plus grave qui affecte la région. Les problèmes d'hydraulique humaine apparaissent au moins aussi pressants. De nombreux villages, établis sur les zones favorables à la culture du mil, sont totalement dépourvus d'eau pendant la saison sèche. Les troupeaux émigrent et les habitants doivent, quand il leur est possible de demeurer au village, parcourir des distances parfois supérieures à 20 km pour aller chercher l'eau qui leur est nécessaire (les gens de Tin Agadel (E 7) se ravitaillent d'avril à juin à Koriziena, 12 km au Sud).

Les trois domaines sur lesquels doit porter l'effort d'aménagement sont donc :

Les zones totalement démunies

Les routes commerciales

Les villages.

II - POSSIBILITES ET TECHNIQUES DE MISE EN VALEUR

La quasi-totalité des zones aquifères est exploitée par le système indigène des puisards : ce sont de petits puits de faible diamètre qui prennent une forme en amphore par suite des éboulements qui en affectent la base. Seul l'orifice est généralement protégé par quatre rondins disposés en carré. Un puisard peut durer une ou plusieurs années suivant l'intensité du bouleversement qu'apporte l'hivernage. Lorsque le puisard s'est trop élargi, on en creuse un autre à côté. cf. photo 17.

Ces puisards ne sont presque jamais isolés. Les unités d'exploitation sont des zones d'une vingtaine de puisards en moyenne, parfois beaucoup plus. Dans certains marigots, on en rencontre côte à côte sur plusieurs kilomètres de longueur (Salmossi : 30, D 7.; Deibanga : 253, C 8).

Lorsque le débit des puisards est suffisant, les éleveurs établissent à côté un abreuvoir, réserve de 1 à 2 m de diamètre, à l'intérieur d'un petit remploi de terre de quelques dizaines de cm de hauteur, qu'ils protègent des déprédations des animaux en y plantant des branches d'épineux.

Le puisage est effectué à la main à l'aide de calebasses ou de délous en peau, fixés au bout d'une corde, d'une capacité de 5 à 10 litres. Le délou en peau est seul capable de retirer de l'eau d'un puits où le niveau n'est qu'à 10 ou 15 cm du fond.

Il pourrait à première vue sembler intéressant de remplacer ces zones de puisards, dont on ne peut extraire qu'une eau trouble, et qui doivent être repris tous les ans au début de la saison sèche, par quelques puits de construction européenne, permanents et beaucoup moins sujets à la pollution. En fait, dans la majorité des cas, un puits de ce type ne pourrait fournir en fin de saison sèche un débit sensiblement supérieur à celui d'un seul puisard. La raison n'en est pas tellement la faible perméabilité de beaucoup de terrains aquifères que la puissance extrêmement réduite de ces terrains. Une couche de sable mouillé de 30 cm d'épaisseur est exploitable avec un grand nombre de puisards, elle ne l'est pas avec quelques puits. La multiplicité des puisards reste le plus souvent le seul moyen rationnel d'exploitation des nappes, au moins des nappes alluviales.

A.- AMELIORATION DES POINTS D'EAU EXISTANTS

1°) Il s'agit essentiellement de nappes alluviales des thalwegs de marigots. Les nappes de fonds de mares sont dans l'ensemble exploitées de façon satisfaisante. Les nappes des dunes ne sont atteintes que lorsqu'elles sont très superficielles, et si en plusieurs points déjà exploités, il serait utile d'y implanter de véritables puits, nous renvoyons pour ces aménagements aux fiches de points d'eau (Fascicule II).

Nous avons constaté au paragraphe précédent l'inefficacité générale du puits dans les nappes alluviales minces. Il est cependant des cas où le puisard indigène est incapable d'exploiter correctement la nappe : dans les sables bouillants. La possibilité d'accès à la nappe est évidemment fonction de la protection des parements. Le puits doit ici être employé chaque fois que l'épaisseur du niveau aquifère est suffisante. Il devra être descendu si possible jusqu'à la couche imperméable (généralement le socle) et muni de buses filtrantes (1)

(1) Signalons à propos des puits cimentés, quels qu'ils soient, l'intérêt que présenterait le scellement dans les buses d'une série de marches en fer permettant la descente dans le puits. La plupart des puits cimentés sont encombrés d'objets divers (délous) que les utilisateurs ne peuvent y rechercher.

qui seules peuvent permettre une alimentation suffisante. Si le maintien des sables s'avère réellement très difficile, on aura intérêt à équiper la base du puits d'une gaine de gravier, selon les techniques qu'on s'est efforcé de mettre au point ces dernières années et que le Service de l'Hydraulique a déjà employées dans certains territoires de la Fédération.

2°) Dans bien des cas, l'amélioration du système d'exploitation n'apportera aucun bénéfice tangible si l'on ne porte pas remède à la cause principale de la déficience des nappes alluviales : l'insuffisance de leur alimentation. Dès que les études complémentaires auront été effectuées, et en fonction de leurs résultats, il importe de développer autant qu'il sera possible la technique des retenues de suralimentation des nappes alluviales (cf. p. 35). Les points d'eau en nappes alluviales présentent l'avantage, sur ceux qui résultent de l'infiltration directe, d'être beaucoup moins sensibles aux effets de l'irrégularité du régime climatique : leur alimentation est normalement possible par année moyenne et déficitaire.

L'étude des possibilités de suralimentation d'une nappe alluviale déficiente devra comprendre les recherches suivantes (étant entendu qu'il s'agit en général d'un secteur de dune (1)) :

a) Sondage jusqu'au socle au fond du thalweg destiné à déterminer d'une part la puissance du niveau aquifère, d'autre part la possibilité de résistance à l'évaporation d'une nappe bien alimentée.

Si l'épaisseur des sables mouillés est suffisante mais que ces sables sont trop bouillants, il suffira souvent d'exploiter la nappe avec des puits à buses filtrantes ou gaine de graviers.

Il semble en général qu'une épaisseur de dépôt alluvial supérieure à 3 mètres constitue des conditions favorables à la création d'une digue de suralimentation.

b) Etude du régime de la nappe pendant la saison sèche et sondages

qui seules peuvent permettre une alimentation suffisante. Si le maintien des sables s'avère réellement très difficile, on aura intérêt à équiper la base du puits d'une gaine de gravier, selon les techniques qu'on s'est efforcé de mettre au point ces dernières années et que le Service de l'Hydraulique a déjà employées dans certains territoires de la Fédération.

2°) Dans bien des cas, l'amélioration du système d'exploitation n'apportera aucun bénéfice tangible si l'on ne porte pas remède à la cause principale de la déficience des nappes alluviales : l'insuffisance de leur alimentation. Dès que les études complémentaires auront été effectuées, et en fonction de leurs résultats, il importe de développer autant qu'il sera possible la technique des retenues de suralimentation des nappes alluviales (cf. p. 35). Les points d'eau en nappes alluviales présentent l'avantage, sur ceux qui résultent de l'infiltration directe, d'être beaucoup moins sensibles aux effets de l'irrégularité du régime climatique : leur alimentation est normalement possible par année moyenne et déficitaire.

L'étude des possibilités de suralimentation d'une nappe alluviale déficiente devra comprendre les recherches suivantes (étant entendu qu'il s'agit en général d'un secteur de dune (1)) :

a) Sondage jusqu'au socle au fond du thalweg destiné à déterminer d'une part la puissance du niveau aquifère, d'autre part la possibilité de résistance à l'évaporation d'une nappe bien alimentée.

Si l'épaisseur des sables mouillés est suffisante mais que ces sables sont trop bouillants, il suffira souvent d'exploiter la nappe avec des puits à buses filtrantes ou gaine de graviers.

Il semble en général qu'une épaisseur de dépôt alluvial supérieure à 3 mètres constitue des conditions favorables à la création d'une digue de suralimentation.

b) Etude du régime de la nappe pendant la saison sèche et sondages sur les bords du thalweg, destinés à préciser l'extension latérale de

(1) Dans les autres secteurs, la déficience de la nappe résulterait plutôt de l'imperméabilité des alluvions que d'une imbibition insuffisante, en durée ou en surface, par les eaux du marigot. Cependant un tronçon alluvial non accompagné de sables éoliens ne doit pas être écarté a priori.

la nappe et la mesure dans laquelle elle bénéficierait d'une suralimentation artificielle.

c) Prospection et étude topographique d'un site permettant la construction d'une digue et d'un déversoir latéral. On aura tout intérêt à les implanter à proximité et à l'amont d'une batterie de puisards ; les conditions d'existence de la nappe y sont généralement les meilleures.

B.- CREATION DE POINTS D'EAU NOUVEAUX

- Nappes alluviales :

Il ne semble pas qu'une prospection systématique des thalwegs de marigots permette de découvrir de nouvelles nappes aquifères. Les indigènes savent fort bien que c'est là qu'ils ont le plus de chances de trouver une eau exploitable par leurs méthodes et ils ont sans doute prospecté les nappes alluviales plus que ne pourra jamais le faire l'Administration. Seuls peut-être les thalwegs des dunes de l'extrême Nord, où le peuplement est plus rare, pourraient être examinés (affluents du Beli comme le marigot de Manfissega, (B 6, 193)). Pour le Beli lui-même, c'est inutile : on retrouve tout au long des traces de puits de reconnaissance stériles.

Il reste la possibilité de création artificielle de nappes par le système des retenues d'infiltration. Ce moyen pourrait être envisagé après que la méthode aura été définitivement testée.

- Nappes de dunes :

L'effort principal de création de nouvelles ressources doit porter sur ce domaine, pratiquement inexploré, puisque les indigènes n'en ont pas les moyens. La puissance des nappes sous-dunaires, dont les réserves dans l'ensemble paraissent supérieures à celles des nappes alluviales, permet (le renouvellement de ces réserves est au contraire, nous l'avons dit, moins bien assuré) l'exploitation par puits. Le puits filtrant, avec gaine de graviers si ce revêtement est nécessaire, constitue la meilleure solution.

L'aspect paradoxal de ce problème d'exploitation, qui s'aggrave plus on se déplace vers le Nord, a déjà été exposé dans les pages précédentes. On peut le résumer de la manière suivante : d'une part rechercher la profondeur maxima dans les bas-fonds d'accumulation afin d'obtenir un point d'eau pérenne même dans les années déficitaires ; d'autre part éviter ces mêmes secteurs et rechercher les parties les plus superficielles pour trouver des eaux suffisamment douces pour être

consommables. Le problème ne pourra être résolu qu'en suivant de près dans chaque cas les conditions de gisement et la minéralisation des eaux.

Au point de vue de la recherche, la seule indication générale à suivre est de prospecter d'abord et de préférence les points bas.

Il ne semble pas que la prospection électrique soit capable de circonscrire les zones aquifères. On a affaire à trois couches, parfois quatre (sable éolien, couche ferrugineuse, arène et zone d'altération, socle franc). De plus la minéralisation, et par conséquent la résistivité, des terrains aquifères, est extrêmement irrégulière. Les résultats seraient sans doute ininterprétables.

La prospection par sondeuse, du type Benoto par exemple, n'est guère réalisable, en raison des difficultés de transport d'un tel engin en tous-terrains (dunes), compte tenu de la faible profondeur à prospecter. L'emploi, envisagé par l'Administration, de sondeuses à main, peut se révéler adapté à ce genre de prospection.

Il est probable cependant que le puits à main constitue la solution la meilleure. Mais il serait nécessaire d'encadrer les puisatiers autochtones par des puisatiers formés au fonçage en terrain bouillant dans des écoles analogues à celles qui existent dans d'autres territoires de l'A.O.F. ou provenant de ces écoles.

- Rétention des eaux superficielles : (cf page 51)

Les sites favorables à l'édification de barrages sont assez rares dans la région, soit que la topographie s'y prête mal, soit que le substratum soit trop perméable (dune). C'est dans les passages de dunes qu'on trouve les sites les plus favorables, mais ils ne peuvent être utilisés que pour des digues de suralimentation.

Quelques sites ont pu être retenus, dans des zones privées de tout autre moyen d'alimentation (sur le Beli, en particulier). Ils nécessitent une étude complémentaire approfondie.

Notons que la retenue possède sur l'exploitation des eaux souterraines l'avantage d'un gain de temps pour les troupeaux. Ceux-ci peuvent donc atteindre des secteurs de pâturages plus éloignés du point d'eau. En raison de la faible pente des marigots, certaines retenues ont d'autre part une longueur importante. La superficie de la bande de pâturages valorisés peut dans ce cas être beaucoup plus considérable que lorsqu'il s'agit d'un point d'eau unique.

III.- ELEMENTS D'UN PROGRAMME DE MISE EN VALEUR

A.- ETUDES COMPLEMENTAIRES APPLIQUEES AUX NAPPES ALLUVIALES

Il importe en premier lieu de préciser les connaissances que nous avons déjà au sujet des nappes alluviales afin de pouvoir procéder à leur aménagement sur une plus grande échelle.

L'étude du comportement des nappes de Gaigou et de Tin Agadel doit être poursuivie pendant toute la saison sèche, comme il a été indiqué p. 43 et suivantes. Si ces exemples n'étaient pas suffisants, il serait très utile de compléter en d'autres points l'étude de l'extension des nappes alluviales dans les dunes.

En outre une étude de l'intensité évaporatoire pourrait être entreprise dans une nappe dont on s'assurerait au préalable des limites d'extension (nappe alluviale sensu stricto : celle de Gagarbou paraît convenir : 270, F 7, cf. p.30).

B.- EQUIPEMENT DES SECTEURS DEFICITAIRES OU DEPOURVUS DE POINTS D'EAU

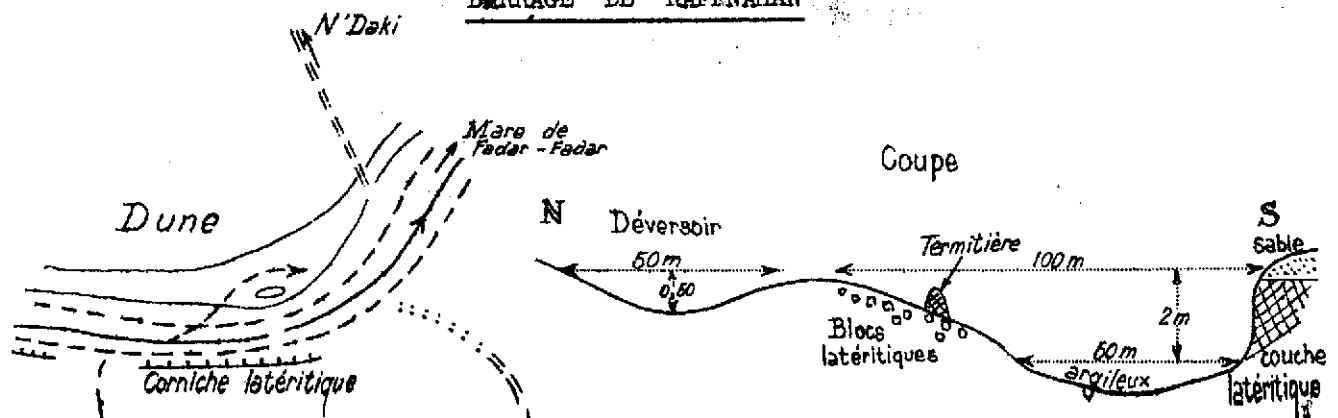
1°) REGION NORD ET NORD-OUEST (Zone de Belé)

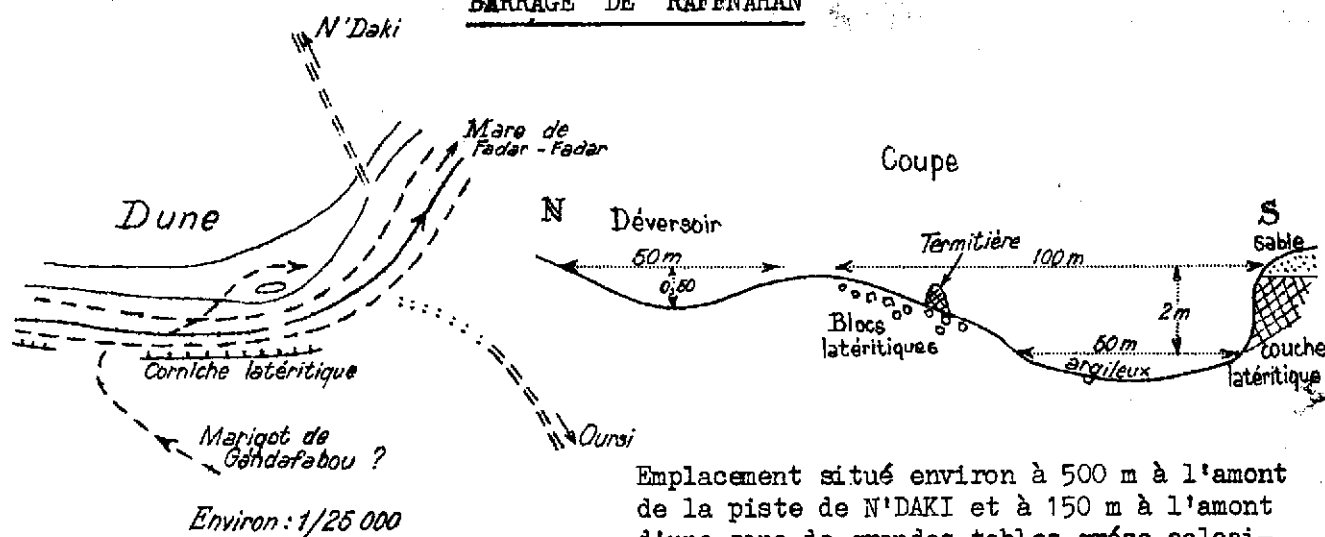
Le Béli ou Aghachar a une importance capitale dans l'économie pastorale du Nord du Cercle. Au Nord du parallèle 14° 50' il n'existe pas d'autre ressource aquifère que celles qu'apportent les mares du Béli. Elles valorisent au début de la saison sèche une bande d'excellents pâturages d'environ 2.000 km² de Raffnaman à Yatakala.

Mais si la plupart de ces mares conservent un peu d'eau jusqu'à la fin de la saison sèche, la plupart ne peuvent plus être utilisées dans les derniers mois, les eaux résiduelles étant boueuses et salées : de l'amont vers l'aval, les dates de fin d'utilisation s'établissent comme suit :

Fadar-Fadar	B4	236	: fin mars
Tinaman	A5	235	: janvier
In Abao	A5	201	: janvier
Kacham	A6	202	: avril
Tin Ghassam	B6	234	: avril
Tin Akof	B6	20	: mai

SIT.	N° d'ordre	LIEU	pH .DH	Date de mesure	Observations
IV - <u>NAPPES DE DEPOTS ALLUVIAUX S.S.</u>					
a) <u>RICHERS</u>					
E 7	31	Djoungoy	6,5 13	15/3/54	Catégorie IV ou V ?) NA
E 7	49	Gontouré	5,8 6	2/4/54	Arène
E 7	52	Gagara	5,8 6	2/4/54	NA
E 6	71	Kourfelil	7,0 7	7/4/	SA
E 6	75	"	5,4 5	9/4	NA
G 5	147	Gont-Garga	5,3 5	13/5	NA
E 4	232	Gontuwala	6,8 10	18/6	NA
					Moyenne : pH 6,1 TH 7,4
					NA : socle non atteint SA : socle atteint
b) <u>PAUVRES OU PRES DE L'ASSECHEMENT</u>					
G 7	96	Goudebo	5,8 8	1/5/54	NA
G 7	97	Boubanguil	7,4 38	1/5/54	SA
G 7	107	Légé	5,2 3	4/5/54	NA
F 6	109	Boundou	7,0 20	4/5/54	Arène
E 4	122	Feterdé	5,7 5	7/5/54	NA
					Moyenne générale : pH 6,2 TH 15
					Débris organiques
					Moyenne, Boubanguil excepté : pH 5,9 TH 9
V - <u>NAPPES ALLUVIALES DANS LES DUNES, ALIMENTEES PAR LE SEUL MARIGOT</u>					
a) <u>RICHERS</u>					
C 7	22	Ziguiberri	5,6 6	17/3/54	Sommet de la nappe; NA
E 6	36	Gorom Gorom	5,8 6	27/3	NA
E 5	63	Guiddoriss	5,8 7	6/4	SA
D 5	66	Farkoussa	5,8 4	6/4	NA
F 7	72	Saousa	6,1 6	7/4	NA
G 7	100	Yakouta - N.	5,4 7	1/4	NA
F 5	138	Garga	5,5 6	11/5	NA
C 2	218	Gnienie	5,2 7	14/6	NA
					Moyenne : pH 5,65 TH 6,1
b) <u>PAUVRES OU PRES DE L'ASSECHEMENT</u>					
F 7	16	Gaigou - Nord	5,8 9	16/3/54	SA
E 7	19	Lelingo	5,7 6	25/3/54	NA
D 7	29	Beiga	6,2 11	25/3/54	NA
E 7	25	Tin Agadel	6,0 6	18/3/54	NA
D 7	30	Salmossa	5,8 10	25/3/54	NA
E 6	33	Deberelil	5,8 10	23/3	NA
G 7	106a	Natchiari	5,5 7	3/5	NA
F 4	124	Adjarai	5,2 7	7/5	NA
					Frange superficielle
					Moyenne : pH 5,75 TH 8,3
					Frange superficielle gravillon

BARRAGE DE RAFFENAHAN

BARRAGE DE RAFFNAHAN

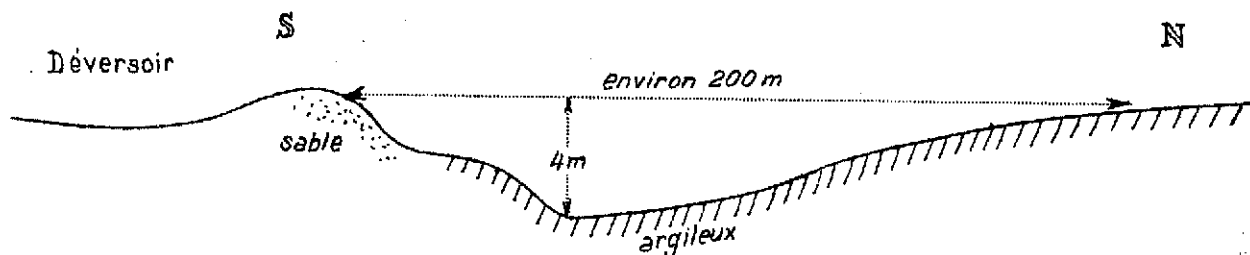
- Bassin-versant : Parait peu étendu. Mais la pente semble assez forte. Le ruissellement doit être assez important. Une reconnaissance est indispensable (terrain difficile). Il n'est pas possible de préjuger actuellement des débits à admettre.

- Site : Un autre site analogue existe entre la piste et ce point. Il est nécessaire d'exécuter un levé topographique. A l'oeil, il semble que la hauteur de retenue maxima soit un peu insuffisante et que l'importance de la pente risque de limiter par trop l'extension de la retenue.

- Etanchéité : Une étude complémentaire est nécessaire. Le banc latéritique du bord du marigot peut se révéler perméable.

Voir aussi la fiche 236

BARRAGE DE KACHAM



- Débits : Ils ne peuvent être très considérables à cause de l'étalement du à la mare de Kacham. Il serait bon de vérifier s'il n'existe pas d'affluent de rive gauche entre les mares de Kacham et In Abao.

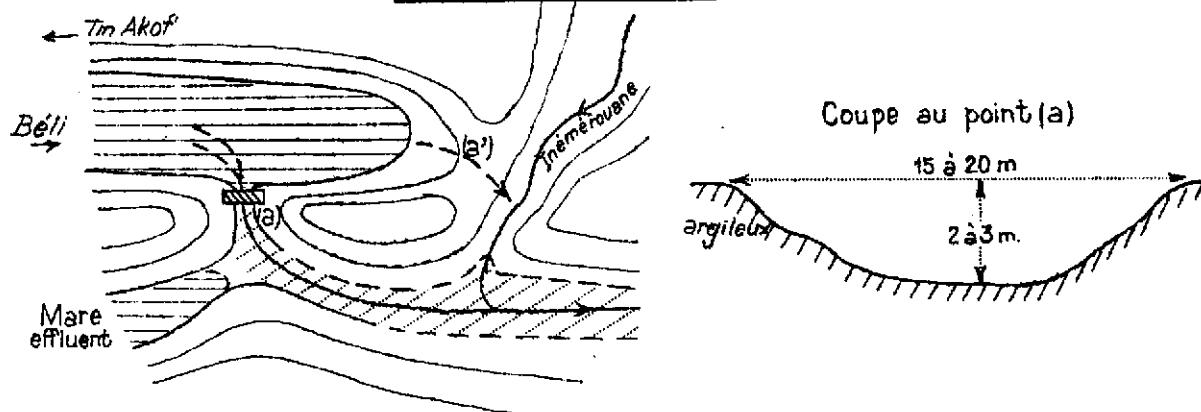
- Site : Situé à environ 1.500 m à l'aval de l'extrémité de la mare de Kacham. Le déversement est à préciser, de même que le terrain du déversoir, superficiellement sableux.

En outre un nivellement devra être mené de la mare jusqu'au site afin de déterminer la répercussion exacte du barrage sur le niveau de la mare. Un rehaussement de 75 cm devrait suffire à rendre la mare de Kacham pérenne et utilisable jusqu'aux pluies.

- Il ne semble pas se présenter de problème d'étanchéité particulier.

Voir aussi la fiche 202

BARRAGE DE TIN AKOF



(a) passe de Bambakari

Environ : 1/20.000

L'étranglement de Bambakari, par lequel s'écoule le trop-plein de la mare de Tin Akof n'est sans doute pas un exutoire normal. On peut penser que l'évacuation s'opérait autrefois par l'extrémité de la mare. Un barrage au point (a) obligerait les eaux à emprunter de nouveau cette voie. Il n'y a donc pas de problème de déversement.

Un nivellement permettra de comparer les cotes du seuil (a') du sommet du barrage (a) et du seuil amont qui règle actuellement le niveau de la mare de Tin Akof (cf. fiche 20) et de connaître la répercussion de l'ouvrage. Un exhaussement d'environ 50 cm devrait suffire à rendre la mare utilisable en toutes saisons.

La topographie permettra aussi de prévoir exactement le nouveau parcours des eaux ainsi qu'un retour possible du flot vers le barrage (a).

Cet ouvrage est réalisable à fort peu de frais par un simple remblai barrant le chenal.

Voir aussi l'étude du Goudebo (fiche 6) et celle de Tao (fiche 263).

I - Localisation et caractéristiques des échantillons analysés

- A.- Route Beïga-Tin Akof. Dune entre Kissi et marigot Darkoy. Sable fin roux peu argileux
- B.- 2 Km après le marigot de Darkoy. Sable fin roux foncé assez argileux
- C.- Kadiera. Sable fin roux foncé assez argileux
- D.- Affluent du Beli, 2 Km Est de Tin Akof sur piste. Comme le précédent, moins fin, moins argileux
- E.- Dune de Tin Akof, bord Ouest du marigot précédent. Sable roux un peu argileux
- F.- Dune à affleurement entre Beldiabé et Ziguiberri. Sable roux fin et argileux
- G.- Dune de Ziguiberri entre Ziguiberri et Markoy. Sable plus clair, plus grossier, plus quartzeux
- H.- Dune plate près du puits de Katchirga. Sable gris (humifère ?) relativement grossier
- I.- Banco du marigot de Soffokel. Argile beige assez sableuse
- J.- Dune de Tin Samman. Sable fin, roux clair, très quartzeux, peu argileux
- K.- Puits de Kouna, à 20 cm de profondeur. Sable fin beige clair assez argileux
- L.- Dune de Markoy à 300 m Sud du village. Sable roux, grossier, très quartzeux
- M.- Gagarbou - Banco bord lit mineur Goudébo. Argile sableuse, tendre, jaune-beige
- N.- Tin Agadel - Sable alluvial du marigot. Sable argileux fin, gris-beige
- O.- Tin Agadel - Crête dune au Nord du village. Sable fin ocre
- P.- Lelingo - Sable du marigot dans zone de puisards. Sable jaune-gris, grossier, très pur
- Q.- Saouga - Sable du marigot sud. Sable jaune-gris, grossier, très pur

- R.- Saouga - Dune à 500 m. au sud du village. sable fin, rose saumon, peu argileux
- S.- Gaïgou - Sable de surface, dune près du village. Sable gris-rose, plus grossier, peu argileux
- T.- Gaïgou - Banco du fond de la retenue. Sable argileux fin, gris-beige
- U.- Alkoma - Banco bord du lit mineur Goudébo. Argile tendre un peu sableuse, poreuse, polygones de retrait
- V.- Alkoma - Sable déblai du fond d'un puits; sable fin, clair, poreux quand pris en masse (argileux)
- W.- Felléol - Piste Saouga-Banco. Lit mineur. Argile sableuse gris beige
- X.- Goudébo - Piste Saouga-Banco. Lit mineur. Argile assez peu sableuse gris beige
- Y.- Goungam - Banco bord du marigot des puits. Argile très humifère, plus dure, fentes de retrait

II - Granulométrie et Perméabilité

	Pourcentage de poids passant à travers les tamis de diamètre :									Perméabilité
	0,1	0,2	0,5	1,0	2,0	5,0	8,0	10,0	16,0	(en cm/sec.)
A	5	46	95	100						$0,73 \cdot 10^{-2}$
B	11	35	93	100						$3,28 \cdot 10^{-3}$
C	15,5	64,5	96,5	100						$2,70 \cdot 10^{-2}$
D	22,5	59	91	97,5	100					$1,05 \cdot 10^{-3}$
E	7,5	32	91,5	99	100					$3,25 \cdot 10^{-3}$
F	19	59	92	97	100					$1,24 \cdot 10^{-3}$
G	12,5	36	91	97,5	100					$1,05 \cdot 10^{-3}$
H	6	31	95,5	99	100					$0,88 \cdot 10^{-2}$
I	48,5	79	96	98	100					$1,63 \cdot 10^{-4}$
J	2,5	26,5	95	100						$1,12 \cdot 10^{-2}$
K	21	59	91	96	99	100				$1,18 \cdot 10^{-3}$
L	2	15	76	98	100					$1,00 \cdot 10^{-2}$
M	72	89,5	94	95,5	97,5	98,5	100			$0,765 \cdot 10^{-4}$
N	18	52	98,5	96,5	99	100				$2,87 \cdot 10^{-3}$
O	12,5	39	93,5	98,5	100					$2,32 \cdot 10^{-3}$
P	1,5	4	62,5	90,5	99	100				$1,7 \cdot 10^{-2}$
Q	1,5	7	69	84	92,5	96,5	98,5	99,5	100	$2,36 \cdot 10^{-2}$
R	4,5	30	96,5	99,5	100					$0,775 \cdot 10^{-2}$
S	7	26,5	93	99	100					$0,7 \cdot 10^{-2}$
T	23,5	46	89	96	99,5	100				$0,53 \cdot 10^{-3}$
U	79,5	91	97,5	99,5	100					$2,26 \cdot 10^{-5}$
V	16	29	98,5	100						$2,87 \cdot 10^{-3}$
W	63,5	88,5	96	98	100					$0,59 \cdot 10^{-4}$
X	60	89	95,5	97	98,5	99,5	100			$3,45 \cdot 10^{-5}$
Y	84,5	92,5	98	98,5	100					$2,3 \cdot 10^{-6}$

ANALYSES CHIMIQUES

(exécutées par le Laboratoire de la
Direction Fédérale des Mines à Dakar)

(Bulletins d'analyses N^{os} : 5172 à 5179, 4568 et 5180)

Echantillon	1 b		1 d		1 f		1 h		1 l		5 a		I e (Sud)		I e (Nord)	
An. ten. par lit.	mg	még	mg	még	mg	még	mg	még	mg	még	mg	még	mg	még	mg	még
Cl-	472	13,30	20	0,56	71	2,00	322	9,06	5	0,15	36	1,02	234	6,62	31	0,88
SO4--	209	4,36	25	0,51	108	2,24	395,5	8,24	12	0,25	16,5	0,34	15	0,30	9	0,18
CO3--	289,5	9,65	195	6,50	90	3,00	189	6,30	36	1,20	84	2,80	24	0,80	21	0,70
NO3-	1860	30	3	0,04	400	6,45	1064	17,16			5	0,08	656	10,58	77,5	1,25
SiO2	4		2		3		9		4		64		5		16	
		57,31		7,61		13,69		40,76		1,60		4,24		18,30		3,01
Fe2O3+Al2O3	9		2		3		4		2		8		3		8	
Ca++	206	10,31	70	3,50	143,5	7,17	170,5	8,53	11	0,53	42	2,10	195	9,75	32	1,60
Mg++	74	6,17	12	1	27,5	2,28	40	3,34	3	0,23	4	0,30	45	3,77	3	0,27
Al.Cal.Na+	939	40,83	71,5	3,11	97,5	4,24	665	28,89	19	0,84	42	1,84	110	4,78	26	1,14
		57,31		7,61		13,69		40,76		1,60		4,24		18,30		3,01
Ext. 110°	4884		408		1200		3100		104		424		1308		264	

1 b : Dori - puits de la Résidence

1 d : Dori - puits Ouest

1 f : Dori - puits Macquard

1 h : Dori - puits de l'abattoir

1 l : Dori - Grande mare

5 a : Diona - trous d'eau 5 a

I e (Nord) : Dori - puits de l'école

I e (Sud) : Dori - puits de l'école

Echantillon	Analyse de la partie soluble		Echantillon	Analyse de la partie soluble	
An. ten. par litre	mg	még	An. ten. par litre	mg	még
Cl-	8	0,22	Cl-	30	0,85
SO4—	3	0,07	SO4—	24	0,50
CO3—	46,5	1,55	CO3—	25,5	0,85
Argile colloïdale + résidu siliceux	1034	—	NO3—	5838	94,17
		1,84	SiO2	1	—
					96,37
Fe2O3 + Al2O3	95		Al2O3	6	
Ca++	26	1,28	Na+		traces
Mg++	4	0,34	Ca++	5	0,25
Al.Cal. en Na+	5	0,22	Mg++	3	0,25
traces de K.		—	K +	3739	95,87
		1,84			96,37
Ext. 110°	1250		Ext. 110°	9736	

Croute saline recueillie dans la zone d'efflorescence située au pied de la dune de Dibi
 Sur 10 grs de croûte, 1,250 grs se sont dissous
 8,750 grs sont restés insolubles

Sel de Bidi (vendu sur les marchés - N° 61)
 Pour effectuer l'analyse, nous sommes partis de 10 grammes de sel. 9,736 grs ont été solubles - 0,264 grs sont restés insolubles - Le sel est constitué essentiellement par du nitrate de potassium.

Base Station DORI = 270 m

Station	Date.Heure	Relev en r.m.	Relev corri- en mm	Stat. mb	Relev mb	DP mb	Dh (m)	Alt
Dionga	15/3 17h	734,9	734,9	978,3	979,8	1,5 -	13	264 (nivel- lement)
Saouga	15/3 21h50	737,2	737,2	980,9	982,9	2,0 -	17	253-267-257-261 250-254
"	16/3 6h10	736,2	736,2	979,8	981,5	1,7 -	15	255 256 (7+1)
(cpt)	16/3 7h	736,0	736,0	980,0	981,3	1,3 -	11	259
+ 80m								
Balliata St	16/3 9h30	726,0	726,1	981,2	968,1	13,1 +	111	381 <u>381</u>
Arehel	" 12h	733,3	733,4	980,8	977,8	3,0 +	26	296 <u>296</u>
Felleol	" 13h30	734,2	734,3	978,9	979,0	0,1 -	1	269 276-245 265 (3)
Gaigou S.	" 15h30	731,7	731,8	977,0	975,7	1,3 +	11	281 <u>281</u>
" N.	" 16h40	732,0	733,1	976,0	977,4	0,6 -	5	265-275-251-249 260 (4)
Saouga	16/3 18h30	733,2	733,3	977,3	977,7	0,4 -	3	267
"	17/3 6h	734,4	734,6	977,9	979,4	1,5 -	13	257
"	" 7h	734,6	734,8	978,6	979,7	1,1 -	9	261
"	" 8h	735,9	736,1	979,0	981,4	2,4 -	20	250
Pt 18	" 10h15	735,9	736,1	980,0	981,4	1,4 -	12	258 <u>258</u>
Ziguiberri	" 17h15	733,1	733,3	975,6	977,7	2,1 -	18	252 <u>252</u>
Markoy mare	" 18h	731,0	731,2	975,7	974,9	0,8 +	7	277 <u>277</u>
Markoy cpt	18/3 6h	731,0	731,4	977,7	975,1	2,6 +	22	292-292-287-297 292 (4)
" "	" 7h	731,2	731,6	978	975,4	2,6 +	22	292
Markoy marché	" 8h	732,6	733,0	978,6	977,3	1,3 +	11	281
Markoy barrage	" 10h	731,9	732,3	979,8	976,3	3,5 +	30	300 <u>300</u>
Tin Agadel	" 10h40	733,8	734,2	979,0	978,9	0,1 +	1	271-267 269 (2)
Koriziena	" 12h	735,5	735,9	978,3	981,1	2,8 -	24	246-252-253-254 252 (5 + 1)
"	" 13h15	734,4	734,8	977,6	979,7	2,1 -	18	252
"	" 14h	733,8	734,2	977	978,9	1,9 -	16	254
Gaigou	" 14h55	731,4	731,8	976,3	975,7	0,6 +	5	275
Felleol	" 15h30	732,1	731,5	976	975,3	0,7 +	6	276
Dionga	" 16h	731,2	731,6	975,9	975,4	0,5 +	4	274 nivelé
Koriziena	25/3 7h30	736,5		977,9	981,9	2,0 -	17	253
Gaigou N.	" 10h	735,2		978,0	980,2	2,2 -	19	251
"	" 10h30	735,4		978,0	980,5	2,5 -	21	249
Felleol	" 12h30	735,2		977,3	980,2	2,9 -	25	245
Koriziena	26/3 7h	735,8		979,1	981,0	1,9 -	16	254
Tin Agadel	" 8h15	735,4		980,1	980,5	0,4 -	3	267
Beiga puits	" 11h30	736,4		979,3	981,8	2,5 -	21	249 <u>249</u>
Salmossi	" 12h30	734,8	(fond)	978,9	979,7	0,8 -	7	263 <u>263</u>