TECHNIQUES VIVANTES

C.I.T.

développement en zones arides

H. SERRES

POLITIQUES D'HYDRAULIQUE PASTORALE

PRESSES UNIVERSITAIRES DE FRANCE

« techniques vivantes »

collection publiée par
l'AGENCE DE COOPERATION CULTURELLE ET TECHNIQUE
avec la collaboration du Conseil international de la langue française

développement en zones arides

POLITIQUES D'HYDRAULIQUE PASTORALE

H. SERRES

Institut d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux

Cette étude a été réalisée dans le cadre d'une Action concertée de la D.G.R.S.T.

PRESSES UNIVERSITAIRES DE FRANCE

AGENCE DE COOPÉRATION *CULTURELLE ET TECHNIQUE*

19, avenue de Messine 75008 Paris

L'Agence de Coopération Culturelle et Technique, organisation intergouvernementale, créée par le Traité de Niamey en mars 1970, rassemble des pays, liés par l'usage commun de la langue française, à des fins de coopération dans les domaines de l'éducation, de la culture, des sciences et de la technologie, et plus généralement, dans tout ce qui concourt au développement de ses Etats membres et au rapprochement des peuples.

PAYS MEMBRES

Belgique, Bénin, Burundi, Canada, Comores, Dominique, République Centrafricaine, Côte-d'Ivoire, Djibouti, France, Gabon, Haïti, Haute-Volta, Liban, Luxembourg, Mali, Ile Maurice, Monaco, Niger, Rwanda, Sénégal, Seychelles, Tchad, Togo, Tunisie, Vanuatu, Viêt-Nam, Zaïre.

ÉTATS ASSOCIÉS

Cameroun, Guinée-Bissau, Laos, Mauritanie.

GOUVERNEMENTS PARTICIPANTS

Nouveau-Brunswick, Québec.

Le Programme de Coopération Scientifique et Technique de l'Agence a pour objet :

- Coopération intergouvernementale en matière politique scientifique et technologique ;
- Coopération multilatérale dans la recherche-développement ;
- Développement des réseaux nationaux et internationaux d'information scientifique et technologique ;
- Amélioration des applications de la science et de la technologie au développement.

© AGENCE DE COOPERATION CULTURELLE ET TECHNIQUE 1980
© CONSEIL INTERNATIONAL DE LA LANGUE FRANÇAISE – 1980
ISBN 2-85319-081-1

AVERTISSEMENT

L'Agence de Coopération Culturelle et Technique (ACCT) se préoccupe, comme le veut sa charte, de fournir à ses pays membres une documentation sur l'état des travaux scientifiques et techniques concernant leurs domaines d'intérêt prioritaires. Aussi a-t-elle décidé, avec le concours du Conseil International de la Langue Française (CILF), de publier une collection de synthèses scientifiques et techniques dont l'objet est de répandre les connaissances nécessaires au développement en faisant le point des acquisitions les plus récentes de la science et de la technique.

Dans le cadre de la collection « Techniques Vivantes », voici une série d'ouvrages consacrés au développement en zones arides résultant de travaux dûs à l'initiative de la Délégation Générale à la Recherche Scientifique et Technique (DGRST) française.

En effet, la DGRST a pour mission, sous l'autorité du Secrétaire d'Etat auprès du Premier Ministre chargé de la recherche, de préparer, animer, coordonner la politique nationale de recherche et d'en suivre la mise en œuvre ; à ce titre, elle intervient au moyen de crédits incitatifs pour faciliter la réalisation de recherches que les structures en place ne pourraient entreprendre spontanément selon l'orientation ou avec l'ampleur jugée nécessaire.

C'est ainsi qu'en 1974, elle a lancé une action dite de « Lutte contre l'aridité en milieu tropical », afin de renforcer l'effort de recherche des organismes scientifiques français dans les zones arides, en conformité avec les grandes lignes d'action dégagées lors de l'élaboration du VII^e^ Plan de développement économique et social. En outre, face à l'ampleur et à la diversité des interrogations posées par le Tiers-Monde, il lui est apparu depuis lors nécessaire de favoriser l'élaboration et la réalisation d'une politique cohérente de

coopération scientifique avec les pays en développement : c'est ce qui a conduit en 1977 à la création du « Comité Consultatif de Coordination des Recherches menées en coopération avec les pays en développement », dont la présidence et le secrétariat sont assurés par la DGRST.

A vocation d'abord technique, le Comité « Lutte contre l'aridité en milieu tropical » a été amené à s'interroger de façon plus générale sur les différentes « problématiques du développement » en zone aride, afin de déterminer les conditions d'une meilleure application des résultats de ces recherches techniques.

La décision de publier quelques-uns des documents issus de cette démarche pluridisciplinaire à dominante socio-économique répond au souci de mettre à la disposition de la communauté scientifique et plus généralement de tous ceux qui s'intéressent à ces questions, des éléments d'information qui devraient contribuer à stimuler de nouvelles réflexions.

Ils constituent une collection intitulée « Développement en zones arides » dans laquelle six ouvrages sont publiés en 1980/1981, les opinions exprimées dans ces documents engageant la responsabilité de leurs seuls auteurs :

- *Modélisation de l'agriculture pluviale ;*
- *L'élevage en pays sahéliens ;*
- *Politiques d'hydraulique pastorale ;*
- *Politiques d'aménagement hydro-agricole ;*
- *Problèmes de santé en milieu sahélien ;*
- *Recherche et développement en agriculture.*

L'ACCT et le CILF sont heureux de s'associer à cette entreprise et espèrent que les études de cette série intéresseront les divers spécialistes et techniciens des domaines plus particulièrement traités de même que tous ceux qui travaillent au développement des zones arides à travers le monde.

INTRODUCTION

L'élevage en Afrique tropicale sèche est sous la dépendance des disponibilités en eau. Le climat chaud et sec augmente les besoins du bétail, alors qu'il raréfie les points d'abreuvement.

Depuis environ trois décennies, des programmes d'hydraulique pastorale ont été mis en place dans divers pays de la zone sahélienne et sahélo-soudanienne.

On a réalisé des travaux d'hydrogéologie qui ont précisé les disponibilités en eau et l'on a étudié divers procédés d'exploitation de l'eau. En surface, barrages collinaires, mares artificielles ; en profondeur, divers types de puits et forages.

Ces travaux ont apporté d'utiles enseignements au plan de la technique même d'exploitation de l'eau. Mais on s'est aperçu que les programmes d'hydraulique pastorale pouvaient induire des effets secondaires qui ont été plus ou moins bien maîtrisés. Ces effets peuvent toucher à la santé du bétail, à la modification du milieu sylvo-pastoral environnant les points d'eau, à la modification plus ou moins profonde des modes d'élevage traditionnels. Dans ce dernier cas de vrais problèmes sociaux peuvent se poser, car ce que la tradition avait séculairement réglé se trouve brutalement remis en question.

Une certaine confusion règne dans les esprits à propos de l'hydraulique pastorale. N'a-t-on pas entendu condamner la politique des forages parce qu'ils sont des agents de la désertification du Sahel ? N'a-t-on pas entendu condamner l'utilisation des eaux de surface pour l'abreuvement du bétail en raison des maladies et des pertes économiques qui en résultent ?

Dans les pages qui suivent, à la lumière de quelque trente ans d'expérience, nous avons tenté d'analyser les divers éléments de l'hydraulique pastorale et d'en tirer les enseignements. Plutôt que de pourchasser les données statistiques, nous avons choisi de rechercher et de dégager les idées maîtresses, pour permettre de mieux définir des politiques d'hydraulique pastorale adaptées à la diversité des situations.

CHAPITRE I

LES DISPONIBILITÉS EN EAU

1. Pluviosité

Une grande partie des eaux qui permettent l'abreuvement du bétail tirent leur origine de la pluie : eaux de cours d'eau, des mares, des nappes phréatiques. Aussi paraît-il important de donner un aperçu du volume de l'eau que reçoit la zone qui nous intéresse.

Si on la limite aux isohyètes 200 mm et 800 mm, elle couvre une bande qui, du Sénégal au Tchad, s'étend sur 4 000 km de long et 500 km de large, axée sur l'isohyète 500 mm. On peut estimer que la quantité d'eau qui tombe annuellement sur cette zone aride est de l'ordre de 1 000 milliards de mètres cubes en année normale. Elle peut s'abaisser aux environs de 600 milliards de mètres cubes en année très sèche et s'élever à 1 400 milliards de mètres cubes en année très arrosée. Quel que soit le niveau de pluviosité annuel, c'est une quantité énorme d'eau qui tombe du ciel.

A 300 mm annuels, 3 000 m^3 par hectare pour la végétation ne sont pas très élevés, mais sans commune mesure avec les besoins du bétail.

Une partie de cette eau s'infiltre. L'eau infiltrée peut rester dans les couches superficielles du sol et du sous-sol si leur perméabilité est faible. Dans ce cas, une partie est utilisée par les végétaux et une autre, importante, remonte par capillarité vers la surface et se réévapore. En revanche, dans les terrains perméables, l'eau s'infiltre profondément et peut alimenter les nappes phréatiques.

L'eau qui ne s'infiltre pas ruisselle et cette fraction est d'autant plus importante que les sols sont plus imperméables. L'eau de ruissellement alimente les cours d'eau mais, compte tenu du relief peu accentué de la zone sahélienne, elle se rassemble souvent dans des mares d'importance variable où elle pourra être utilisée par l'homme, mais d'où elle va aussi s'évaporer.

Il faut rappeler ici que l'évaporation est un phénomène très important au Sahel, en raison des températures élevées qui peuvent dépasser 40° C pendant plusieurs mois de l'année et en raison de la faible hygrométrie de l'atmosphère. En saison sèche les minima de la journée sont de l'ordre de 5 à 10 p. 100 et les maxima de 45 p. 100. Cela entraîne une évapotranspiration potentielle très élevée : la valeur moyenne de 2 000 mm correspond approximativement à l'isohyète 900 mm et la moyenne 2 500 mm à l'isohyète 200 mm. Elle est donc partout, dans la zone considérée, de loin supérieure à la hauteur de pluie, ce qui explique son importance.

Si la quantité de pluie qui tombe chaque année est importante, sauf lorsqu'on se rapproche des régions subdésertiques, sa répartition est mauvaise : les précipitations sont concentrées en une saison centrée sur le mois d'août. A l'isohyète 200 mm, 20 jours de pluie se répartissent de mi-juillet à mi-septembre ; à l'isohyète 500 mm, 40 jours de début juin à fin septembre ; à l'isohyète 800 mm, 60 jours de fin mai à début octobre.

On évolue donc du nord au sud d'une saison des pluies de deux mois avec dix mois secs, à une saison humide de cinq mois suivie de sept mois secs.

Il en découle que la disponibilité en eau sera très irrégulière au cours de l'année et que, si pendant les pluies et les mois qui suivent l'eau est abondante, la fin de la saison sèche est dure dans de nombreuses régions.

2. Les eaux de surface

a) Les cours d'eau

Les régions sahélienne et sahélo-soudanienne sont parcourues par des cours d'eau qui prennent naissance dans les régions montagneuses et arrosées de la zone guinéenne.

- **Les cours d'eau permanents**

Le Niger prend naissance en Guinée et se dirige vers le nord-est, pour décrire dans le Sahel une large boucle par Tombouctou et

Gao. Le Niger roule aux hautes eaux 5 000 m³/s et à l'étiage, à Niamey, son débit se limite à quelques mètres cubes par seconde. Néanmoins, il est permanent tout au long de sa traversée des zones arides et, avec son affluent, le Bani, il offre au moins 2 000 km de cours d'eau, soit 4 000 km de rives où peuvent s'abreuver les troupeaux.

Le Niger n'offre pas seulement l'abreuvement du bétail. Lors de la décrue, les larges espaces qui se découvrent voient se développer une végétation exubérante d'*Echinochloa stagnina* (bourgou), que les troupeaux vont pâturer en saison sèche, ce qui entraîne des transhumances générales particulièrement importantes dans le delta intérieur qui, de Sansanding à Diré, au Mali, offre d'immenses surfaces de pâturage.

Le Sénégal et ses affluents, nés en Guinée ou au Mali, déroule son cours vers le nord-ouest en délimitant la Mauritanie du Sénégal. Sur environ 1 000 km, il offre deux rives, soit 2 000 km, à l'abreuvement du bétail qui s'y concentre pendant la saison sèche.

Le Chari et son affluent **le Logone** ne coulent, au Tchad, dans la région qui nous intéresse que dans leur cours terminal, sur une centaine de kilomètres. Issus du Centrafrique, au climat humide, ils sont permanents malgré des variations très importantes de débit.

La Volta Noire dessine, en réduction, une boucle qui rappelle celle du Niger. Née dans la région de Bobo Dioulasso sous une pluviométrie annuelle de 1 200 mm, elle se dirige nord-nord-est jusqu'aux approches du Sahel où pénètre son affluent, le Sourou. La Volta Noire, malgré des étiages quasi nuls, conserve de l'eau dans son lit pratiquement toute l'année. Elle intéresse la zone dans la partie septentrionale de sa boucle sur quelque 200 km.

- **Les cours d'eau non permanents**

Leur débit peut durer plus ou moins longtemps mais, plus il sont situés au nord, plus leur période d'activité est réduite. Cependant, même lorsqu'ils ne coulent plus, ils laissent le long de leurs cours des trous d'eau qui peuvent souvent servir à l'abreuvement des troupeaux de façon permanente.

Nous citerons **le Ferlo,** qui coupe la zone sahélienne du Sénégal, et alimente le lac de Guiers. Sa période active se limite à 3 ou 4 mois.

La Volta Blanche coule six mois de l'année dans la partie amont de son cours, puis s'assèche.

Les affluents du Niger : Gorouol, Dargol et Sirba coulent de deux à quatre mois seulement, puis laissent des trous d'eau.

Le Batha, au Tchad, se comporte de façon identique.

b) Les lacs

Compte tenu du relief souvent très plat de la zone sahélienne, des lacs se sont constitués. Ils représentent de vastes points d'eau permanents que les grandes sécheresses, comme celle de 1973, ne parviennent pas à tarir.

Le lac de Guiers, au Sénégal, est alimenté par le Ferlo dont il occupe la dépression terminale. Il s'allonge sur une cinquantaine de kilomètres de long.

Le lac de Rkiz, en Mauritanie, est de dimension plus modeste : une vingtaine de kilomètres de long.

Au Mali, dans la région de Diré, les lacs Faguibine, Niangay, Do, Garou et Haribongo sont en rapport avec le Niger au moment des plus hautes eaux. Le lac Debo est situé au centre du delta intérieur.

Le lac Tchad est le plus grand des lacs d'Afrique occidentale. En année normale, il offre plus de 500 km de rives, sans compter celles des innombrables îles qui bordent sa côte nord-est. Les rives et îles du lac Tchad permettent l'alimentation et l'abreuvement du bétail de race Kouri. Alimenté par le Chari, le lac Tchad a pu être coupé en deux bassins au cours des grandes sécheresses, notamment de 1973, mais il a toujours conservé des surfaces d'eau libre suffisantes pour abreuver, sans problème, le bétail.

Le lac Fitri, alimenté par le Batha, ne mesure qu'une vingtaine de kilomètres, mais il constitue un pôle de transhumances.

c) Les mares

Dans les dépressions, l'eau peut s'accumuler en collections trop petites pour que l'on puisse parler de lacs. Certaines sont permanentes, d'autres ne subsistent que quelques mois après la fin des pluies et sont donc temporaires. La formation d'une mare dépend de la présence d'une dépression sans exutoire, dont le fond est suffisamment imperméable pour retenir l'eau. Les sables des ergs ne permettent pas la formation de mares. Les sols limoneux, en revanche, par colmatage, donnent de bonnes mares alors que les

sols argileux, qui se rétractent fortement, ne sont pas toujours aussi imperméables.

Certaines mares doivent leur pérennité à leur communication avec une nappe qui ne subit pas l'évaporation de façon aussi intense que l'eau libre (cette dernière est la plus grande responsable de l'assèchement des mares non pérennes). Lorsque cette nappe phréatique existe, elle permet le plus souvent l'abreuvement permanent du bétail, même si l'eau de surface s'assèche, par le creusement de puisards au bord de la mare, dans lesquels on doit alors puiser, à faible profondeur, l'eau pour les hommes et le bétail.

Nous ne pouvons citer ici toutes les mares. Mais certaines sont importantes par les mouvements de transhumance dont elles sont les pôles.

Citons les mares de Gossi, Dorey, In Tillit, au Mali, celle d'Anderamboukane, aux confins du Mali et du Niger, les mares du Béli : Tin Akof, Tin Hrassan, dans l'Oudalan voltaïque, ainsi que les mares d'Oursi, de Darkoy, Markoye, Dori.

3. Les eaux souterraines

Les eaux que l'on peut trouver dans le sous-sol ont des origines diverses. Les nappes phréatiques ne sont séparées de la surface par aucune couche imperméable. Elles peuvent être superficielles ou profondes suivant la situation du niveau imperméable qui les supporte. Elles sont alimentées par la pluie et leur niveau varie selon que la saison des pluies a été copieuse ou non.

Les autres nappes sont séparées de la surface par une ou plusieurs couches imperméables. Parfois elles sont alimentées par des infiltrations qui se produisent au loin près des massifs montagneux où les couches géologiques plongent dans la profondeur. Certaines ne se réalimentent pas et sont dites fossiles. Elles sont toujours profondes et toujours soumises à une certaine pression. Lorsque cette dernière est supérieure à la pression hydrostatistique qui la sépare de la surface, le forage donne un jaillissement artésien. Si la pression est moins forte, l'eau remonte dans le forage jusqu'à un niveau statique, plus proche de la surface que ne l'est la nappe.

a) Les nappes superficielles

• **Les nappes des sables éoliens.**

Le vent d'harmattan a amassé sur de vastes surfaces du Sahel des épaisseurs de sable pouvant atteindre plusieurs dizaines de mètres, formant des reliefs dunaires aplanis et fixés par la végétation. C'est l'erg ancien. La pluie qui tombe s'infiltre très rapidement dans le sable qu'elle traverse avec facilité et s'accumule au-dessus de l'horizon imperméable sur des hauteurs variables en fonction du relief du plancher de la nappe qui peut former des poches dans lesquelles l'aquifère a une forte épaisseur.

Un exemple caractéristique est donné par la nappe du Kanem au Tchad. Elle possède deux dômes sous les plateaux sableux au sud de Mao et au sud de Moussoro. De là son niveau s'abaisse lentement et la nappe circule de façon divergente à la fois vers le Nord et vers le Sud.

La profondeur à laquelle elle peut être exploitée dépend non seulement de son niveau mais du relief formé par les sables. Dans les reliefs dunaires, si on met à profit les creux interdunaires, on peut obtenir l'eau à quelques mètres de profondeur. Sur les plateaux sableux qui n'offrent que peu ou pas de dépression, la couche de sable doit être creusée sur 20 ou 30 mètres pour l'atteindre.

On trouve de telles nappes dans la région de Noro-Nara au Mali, d'Aïn el Atrouss, Timbedra-Nema et dans l'Aouker en Mauritanie. Elles jouent un rôle considérable dans l'abreuvement du bétail sahélien car elles peuvent être facilement atteintes par des puits traditionnels donnant un débit de 1 à plusieurs litres à la seconde. Au Kanem, on a pu dénombrer 410 puits « en dur » et 615 puits traditionnels, soit 1 037 points d'eau plus ou moins uniformément répartis dans les pâturages de la région.

• **Les nappes des fonds de mares.**

Dans les zones arides, on remarque que les pentes très faibles, la pluviosité limitée et l'ensablement des vallées favorisent les concentrations d'eau de ruissellement dans des mares qui s'échelonnent le long de ces vallées. Le niveau statique de ces nappes se situe au-dessous du plan d'eau de la mare et elles sont exploitables par des puisards de quelques mètres lorsque la mare s'assèche. Contrairement aux nappes des sables éoliens qui peuvent être

très étendues, ces nappes de fond de mare sont toujours localisées selon la topographie. Leur débit est faible et les puisards ne peuvent guère donner que des fractions de litre par seconde.

• **Les nappes alluviales.**

Au Sahel, les nappes alluviales continues sont rares en raison de l'insuffisance des pluies et de la faible perméabilité des alluvions argileuses.

Les oolithes limonitiques qui proviennent du démantèlement des carapaces ferrugineuses de surface recèlent des nappes très localisées capables d'alimenter un village et son troupeau. C'est le cas de nombreux villages de l'Ader Doutchi au Niger.

Les nappes alluviales sont plus importantes et continues dans les vallées fossiles telles que les Dallol au Niger, tout au moins dans les parties méridionales qui reçoivent 500 mm de pluie. Le Dallol Bosso, au Sud de Bonkoukou, renferme dans les sables quaternaires une nappe généralisée régulièrement exploitée par des puits. Elle a une pente conforme à celle du Dallol et, dans le Sud, les mares sont des affleurements de la nappe phréatique.

En général, la perméabilité est bonne et les puits ont un bon débit. L'eau est surtout utilisée pour les usages domestiques et de petites cultures maraîchères.

• **Les nappes d'altération des régions de socle**

Dans ces régions, on peut distinguer des granito-gneiss, des schistes et des roches vertes du Birrimien. Normalement, ces formations sont rigoureusement imperméables. Seules les parties altérées ou fissurées peuvent contenir de l'eau, mais la perméabilité reste faible. En raison de ce phénomène, on doit le plus souvent percer profondément la couche aquifère si l'on veut obtenir des débits qui ne soient pas ridiculement faibles. On doit également chercher à atteindre les points bas, dans les zones fissurées ou fracturées qui donnent des débits moins mauvais que les zones seulement altérées.

Néanmoins, il peut arriver qu'aucune eau ne puisse être trouvée : on ne connaît aucun point d'eau dans les schistes du Liptako nigérien.

Les nappes ne sont pas généralisées et il faut rechercher des réservoirs circonscrits et de capacité limitée. Bien qu'elles soient parfois relativement éloignées de la surface (20 à 30 m), elles sont très sensibles aux fluctuations saisonnières et à l'importance annuelle des pluies.

b) Les nappes profondes.

Elles se situent au-delà de 40 mètres de la surface.

- **Le bassin sédimentaire du Tchad**

Le continental terminal est important dans l'ouest du Tchad et se superpose aux bassins du Chari et du Logone ; il renferme une nappe aquifère continue. Le continental terminal s'enfonce profondément aux abords du lac Tchad. A N'Djamena, un forage de 365 mètres n'a pas atteint sa base. La perméabilité est souvent assez faible puisque 12 p. 100 des puits donnent moins de 0,25 $m^3/h/m$ et 14 p. 100 entre 0,25 et 1 $m^3/h/m$. 33 p. 100 des puits seulement donnent de bons débits, supérieurs à 5 $m^3/h/m$.

- **Les bassins sédimentaires du Niger**

Nappe du continental terminal

La région de Dosso, Filingué, Tahoua possède une nappe phréatique continue dans des grès argileux mio-pliocènes. Elle s'achève en biseau sec sur les argiles papyracées de l'éocène de l'Ader-Doutchi, à l'est, et sur le socle hydrogéologique, à l'ouest. Exploitée par de très nombreux puits de village de 40 à 60 m (Laham : 52 m), cette nappe fournit des débits assez faibles.

De nombreux forages, dont certains sont artésiens, exploitent la nappe profonde du continental terminal.

Nappe éocène et crétacée — Ader Doutchi-Damerghou

Les horizons marins, éocènes et crétacés, constitués par des argiles bariolées, des calcaires, des marno-calcaires, sont par nature peu productifs en eau. Des nappes à faible débit suffisent parfois à alimenter des puits de village ou des puits pastoraux ou à provoquer de fortes remontées d'eau dans les tubes de forage (forage d'Endemboutem, dans la vallée du Tadiss).

Nappe du continental intercalaire

Emmagasinées par des séries gréseuses très épaisses provenant du démantèlement des formations anciennes de l'Aïr et de l'Adrar des Iforas, les nappes du continental intercalaire nigérien se situent entièrement en zone pastorale. En raison de leur extension géographique considérable dépassant 800 000 km^2 et de leur puissance, ces nappes offrent aux pasteurs nigériens des ressources en eau inépuisables évaluées à des dizaines de milliards de mètres cubes.

La nappe des grès du Tegama, libre et exploitable au nord des

auréoles crétacées et éocènes par des puits de 40 à 80 m de profondeur, s'écoule à l'est et au sud-ouest sous une pente de l'ordre de $0{,}4\text{-}10^{-3}$. Les transmissivités ont une valeur moyenne de $2.10^{-3}m^2/s$ à $1.10^{-3}m^2/s$ sous l'Ader Doutchi.

Les débits spécifiques des forages varient de 0,2 $m^3/h/m$ à 10 $m^3/h/m$ (Abalak).

Nappe du pliocène inférieur

Cette nappe s'étend aux abords du lac Tchad dans la région de Diffa et de N'Guigmi. Elle est sous une pression telle que dans l'extrême sud-est du Niger, elle est artésienne et plusieurs forages l'exploitent sans aucun pompage. Elle déborde d'ailleurs au Tchad, dans les environs de Rig Rig, où elle n'est plus artésienne, alors que la proximité des eaux du lac lui retire beaucoup d'intérêt.

- **Les bassins sédimentaires du Mali**

Nappe du continental terminal

Le fleuve Niger, de Koulikoro à Ansongo, joue le rôle de réservoir de mise en charge de la totalité des grands ensembles hydrauliques souterrains du Mali et de la partie sud-est de la Mauritanie.

La nappe libre du continental terminal est exploitable entre le Bani et le Niger, au nord de Niafunké, Goudam, Tombouctou, Gao, par des puits de profondeur variable de 30 à 70 mètres.

Le mur de ce faciès et de la nappe est constitué, au sud, par les grès primaires, au nord du fleuve, par le substratum imperméable, et dans le détroit soudanais, par les argiles papyracées éocènes.

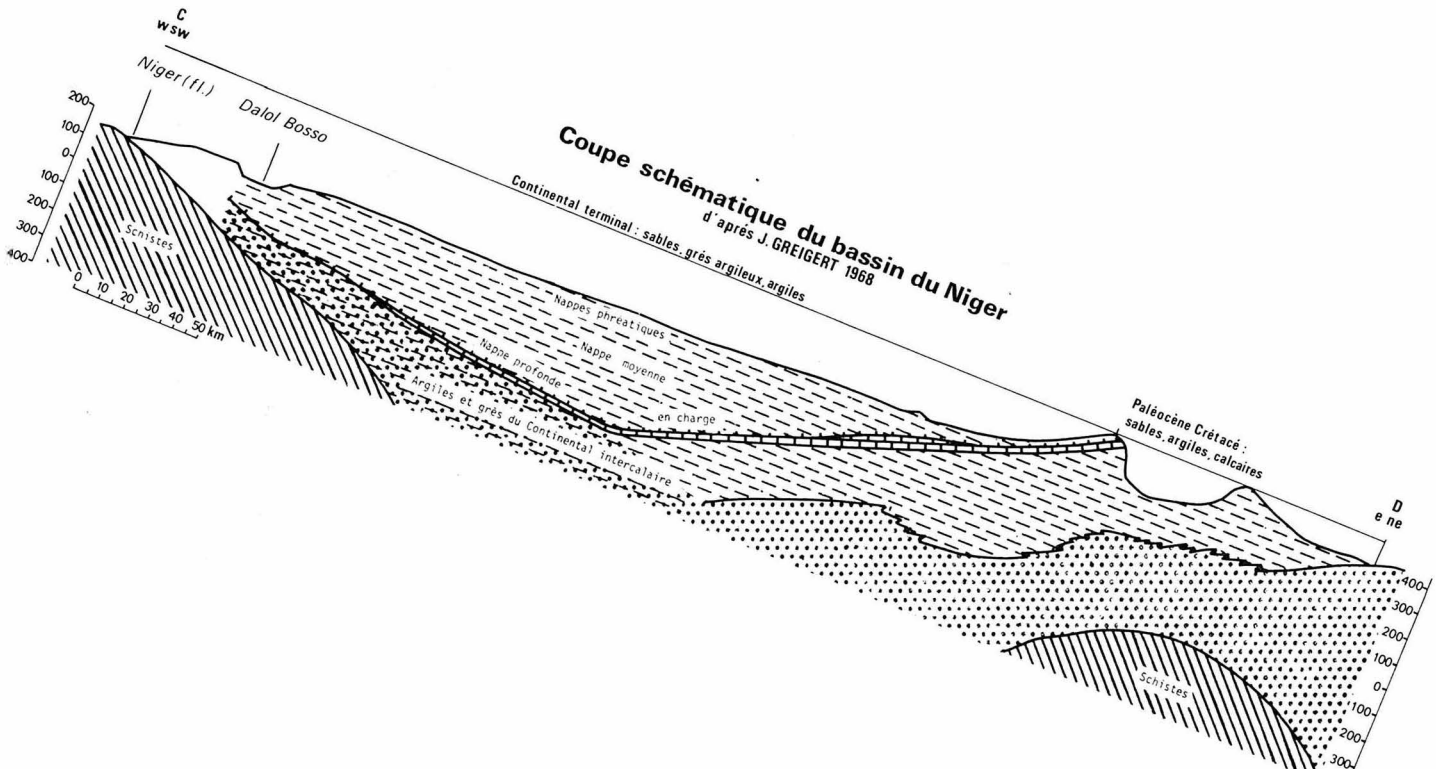
Nappes crétacées

Un fossé de subsidence du détroit soudanais situé entre les schistes primaires du Gourma et les massifs cristallins de l'Adrar des Iforas est constitué à la base par le crétacé moyen et supérieur aquifère, surmonté par des formations éocènes et par le continental terminal. De très nombreux forages ont pénétré dans les formations sableuses du crétacé. Ces forages peuvent être pour la plupart exploités par des puits.

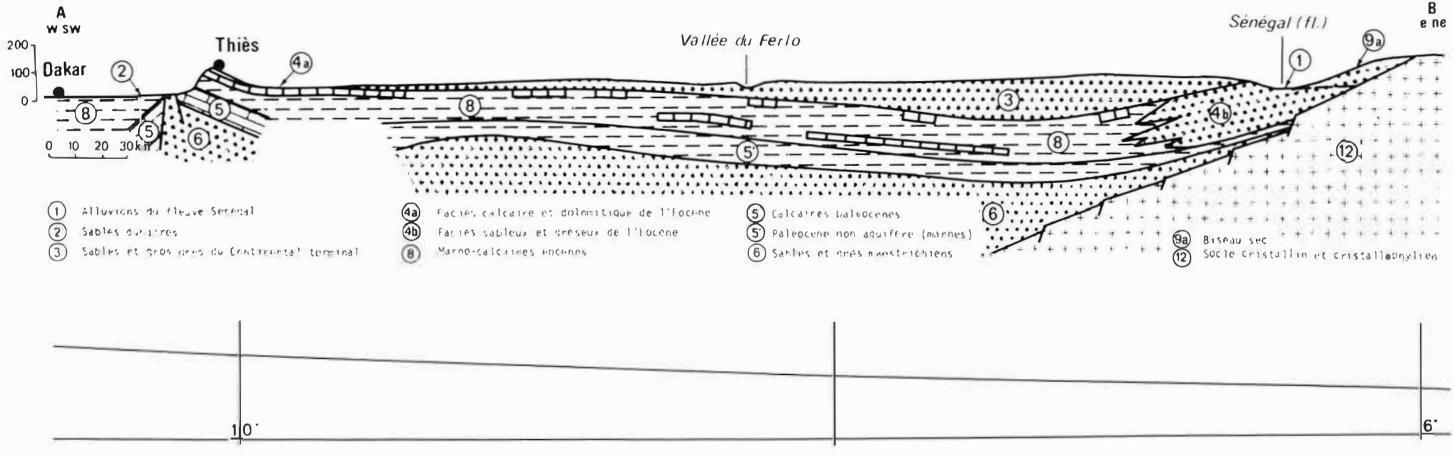
Le continental intercalaire sableux en bordure de l'Adrar, aquifère, est beaucoup moins développé qu'au Niger.

Calcaires dolomitiques de la plaine du Gondo

Sous une épaisseur de 30 à 70 mètres de continental terminal, les calcaires dolomitiques du Gondo contiennent des nappes souvent perchées, de très faible débit.


C
wsw
Niger (fl.)
Dalol Bosso
Coupe schématique du bassin du Niger
d'après J. GREIGERT 1968
Continental terminal : sables, grès argileux, argiles
Nappes phréatiques
Nappe moyenne
Nappe profonde
en charge
Argiles et grès du Continental intercalaire
Paléocène Crétacé :
sables, argiles, calcaires
Schistes
Schistes
0 10 20 30 40 50 km
200
100
0
100
200
300
400
D
e ne

Coupe schématique du bassin Sénégalais



- **Les bassins sédimentaires du Sénégal**

Nappe du continental terminal

De très nombreux puits profonds de 60 à 80 mètres exploitent la nappe du continental terminal au sud du fleuve Sénégal, entre Dagana, Linguère et Matam.

Ces puits peuvent fournir 30 m³/jour d'eau de bonne qualité. La nappe mise en charge par le fleuve repose à l'est sur le substratum précambrien. A l'ouest et au nord, la nappe imprègne des niveaux calcaires et marneux de l'éocène.

Nappes éocènes

Les formations lithologiques de calcaires marins éocènes et de marnes non fissurées ne sont pas favorables à la rétention des nappes importantes. Les puits, de faible débit, restent souvent secs et doivent être approfondis par des forages. Les nappes dans ces calcaires sont ascendantes.

Nappes du Maëstrichtien

La nappe maëstrichtienne, au Sénégal, occupe la totalité de la surface ouest du Sénégal, de St-Louis à Barthurst, du nord au sud, et de Dakar à Tambacounda, d'ouest en est.

La nappe parfaitement connue est exploitée par plus de cinquante forages qui traversent le continental terminal et l'éocène avant de pénétrer dans des sables, des argiles ou des intercalations d'argiles et sables maëstrichtiens. Les débits des forages varient de 50 à 100 m³/h, mais peuvent atteindre 200 à 300 m³/h sous de faibles rabattements.

L'épaisseur du Maëstrichtien est supérieure à 300 mètres, le toit de la nappe s'établissant vers la cote — 200 mètres. Le niveau d'équilibre constant s'établit à la cote + 5 mètres.

C'est la nappe la plus importante de l'Afrique de l'Ouest.

- **Les bassins sédimentaires de la Mauritanie**

Nappe phréatique du continental terminal

Cette nappe, qui couvre une surface importante au sud de la Mauritanie de Mderdra à Boutilimit (nappe du Trarza), est activement exploitée par des puits pastoraux.

Elle n'est autre que l'extension vers le nord de la nappe du continental terminal du Sénégal. Les puits profonds d'une cinquantaine de mètres fournissent un débit de l'ordre de 1,5 à 4 m³/h. La nappe de bonne qualité est mise en charge par le Sénégal.

Les forages d'Idini alimentant Nouakchott fournissent 15 m³/h sous 8 mètres de rabattement à 30 ou 40 mètres de profondeur.

Nappes éocènes

Les sables éocènes au nord de Kaédi, situés au-dessus des calcaires, dolomies ou marnes, ne fournissent qu'un débit médiocre d'une eau très minéralisée, exploitée par des puits de 40 à 50 mètres. Ainsi, au ranch de quarantaine de Kaédi, à 25 km au nord de cette ville, pour un forage infructueux, trois ont donné un débit de l'ordre de 30 m³/h ; les pH sont de 5,4 à 6 ; l'eau de l'un d'eux a une teneur de 17 mg/l de fer.

Nappe maëstrichtienne profonde

Extension à la région d'Aleg, Boghé et Kaédi, de la nappe maëstrichtienne du Sénégal, elle est encore mal reconnue.

A Idini, à 60 km à l'est de Nouakchott, la nappe maëstrichtienne est saumâtre.

Nappes du Hodh et de l'Aouker

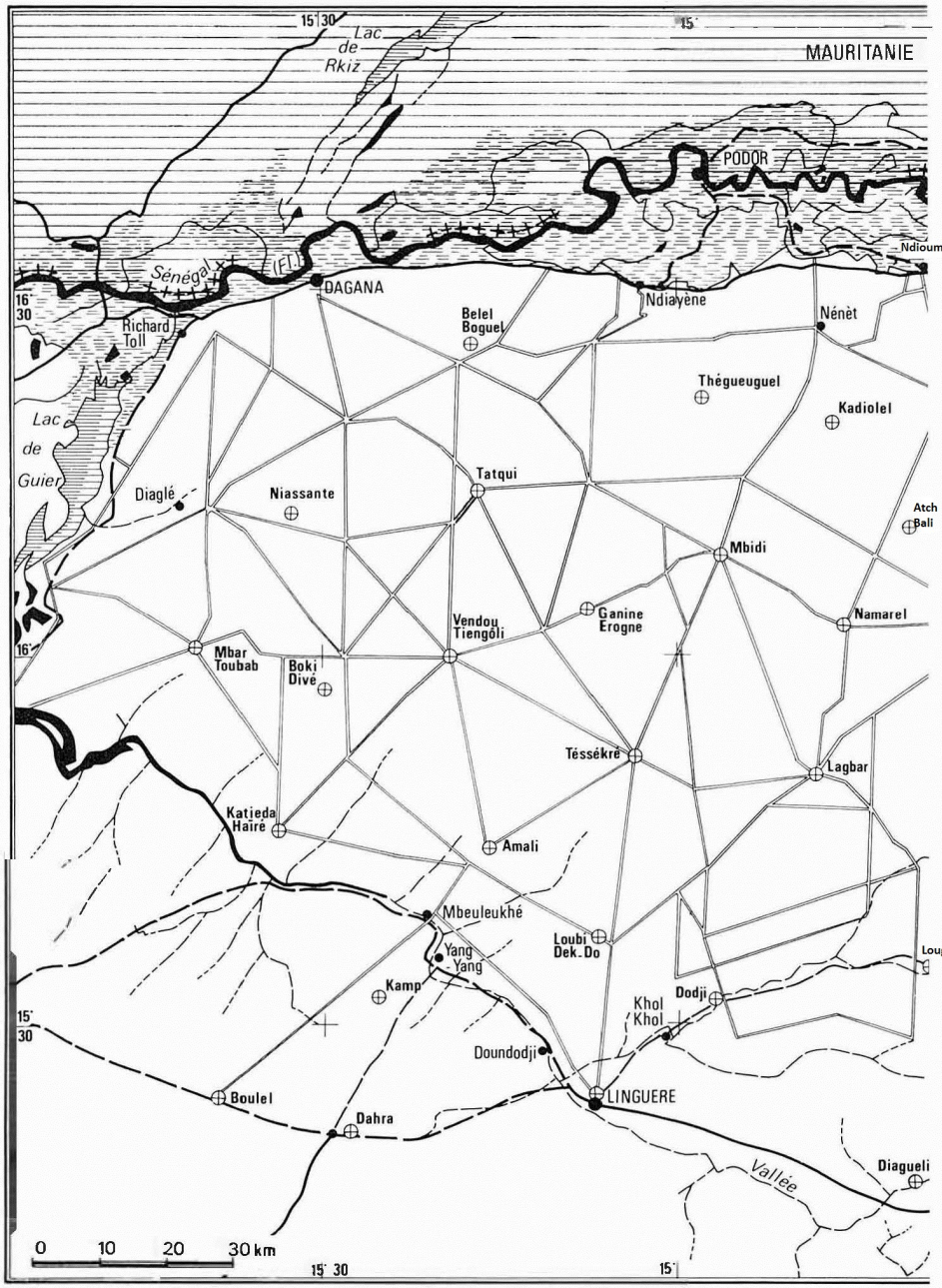
Les schistes fissurés précambriens de la région de Nioro-Nara, au Mali s'étendent au nord dans le Hodh et l'Aouker. La nappe stratifiée semble plus généralisée dans le Hodh que plus au sud. Les schistes s'inclinent de 250/270 mètres sur l'axe Nioro-Nara à une altitude inférieure à 175 mètres dans l'Aouker où l'ensablement atteint 100 mètres. Dans les schistes, les puits ont une profondeur inférieure à 20 mètres, et dans les sables de l'Aouker de 20 à 30 mètres.

- **Régions sans bassins aquifères**

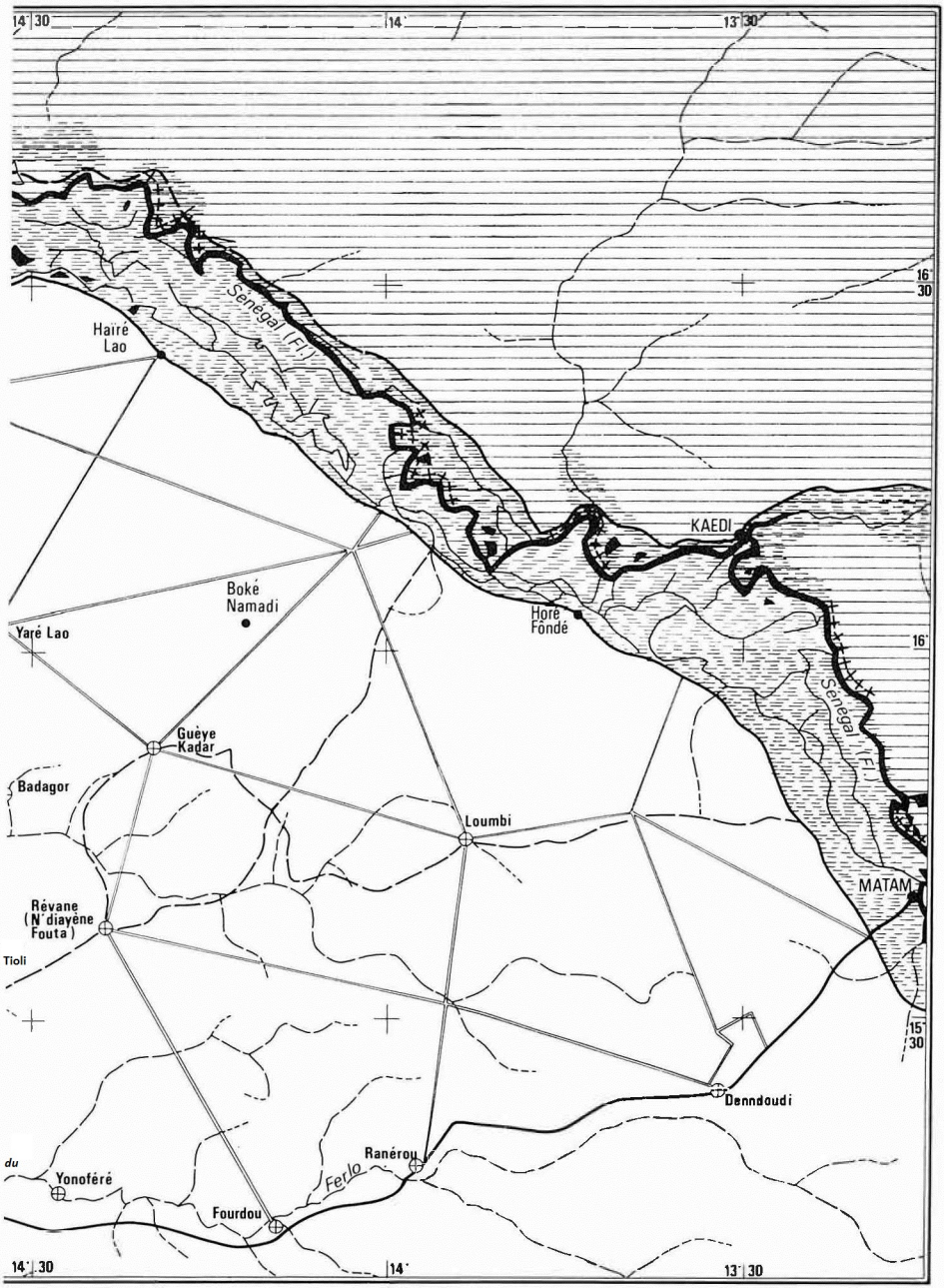
Dans la liste précédente nous ne décrivons pas de bassins aquifères de Haute-Volta. Ce pays, malheureusement, ne dispose d'aucune nappe profonde continue exploitable. Les problèmes d'obtention de l'eau y sont particulièrement aigus.

Mais la Haute-Volta n'est pas la seule région de la zone sahélo-soudanienne à se trouver dans cette situation délicate. Les formations du Gourma, qui s'étendent au Mali à l'intérieur de la boucle du Niger, au nord-est de la Haute-Volta et sur la rive droite du fleuve au Niger, ne contiennent pratiquement pas d'eaux souterraines. Une prospection poussée au Gourma malien a mis en œuvre 41 forages sur des emplacements présumés favorables. 75 p. 100 d'entre eux sont restés inutilisables, la moitié étant totalement secs. Sur les 10 meilleurs ouvrages, des puits ont été

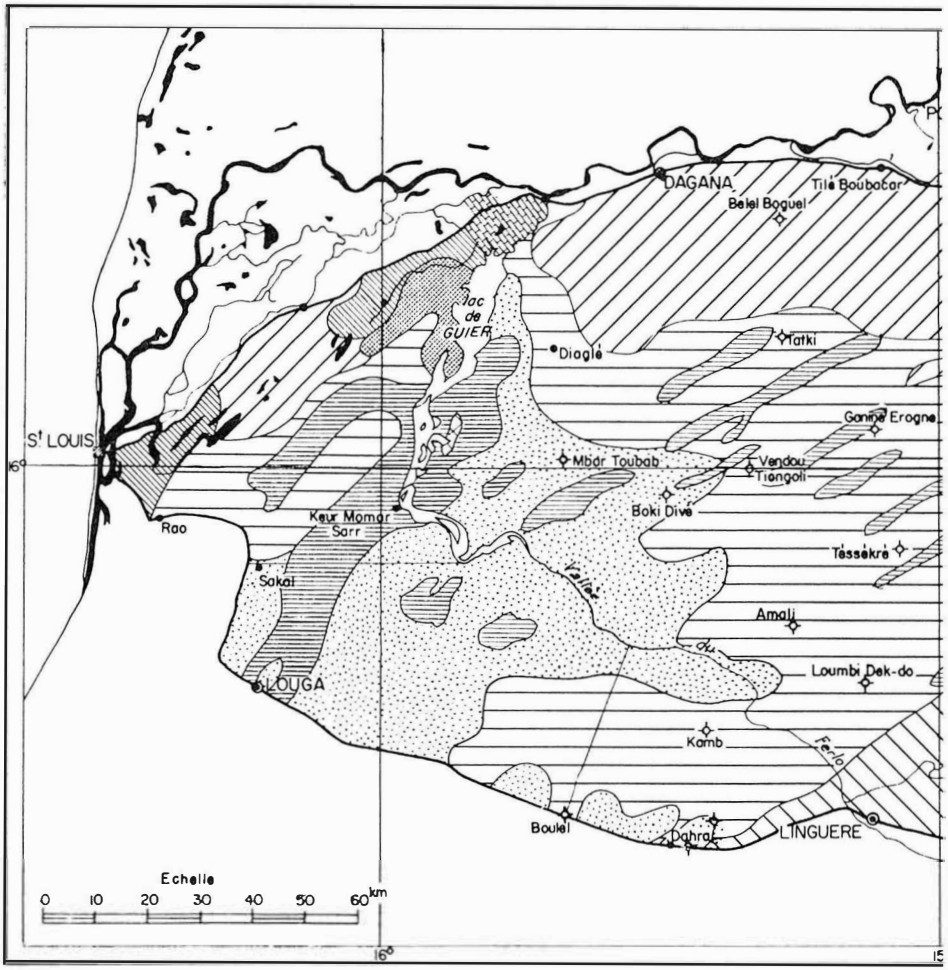
FORAGES


15° 30
Lac de Rkiz
15°
MAURITANIE
PODOR
Ndioum
Sénégal
DAGANA
16° 30
Richard Toll
Ndiayène
Nénèt
Belel Boguel
Thégueuguel
Kadiolel
Lac de Guier
Diaglé
Niassante
Tatqui
Atch Bali
Mbidi
Vendou Tiengôli
Ganine Erogne
Namarel
16°
Mbar Toubab
Boki Divé
Téssékré
Lagbar
Katieda Haire
Amali
Mbeuleukhé
Loubi Dek-Do
Yang Yang
Lougre
Kamp
Dodji
Khol Khol
15° 30
Doundodji
Boulel
Dahra
LINGUERE
Vallée
Diagueli
0 10 20 30 km
15° 30
15°

DU SENEGAL


14° 30
14°
13° 30
16° 30
16°
15° 30
Sénégal (F.)
Hairé Lao
Boké Namadi
Yaré Lao
Horé Fondé
KAEDI
Sénégal (F.)
Guèye Kadar
Badagor
Loumbi
MATAM
Révane (N'diayène Fouta)
Tioli
Denndoudi
Ranérou
Ferlo
Yonoféré
Fourdou
du
14° 30
14°
13° 30

ESQUISSE PÉDOLOGIQUE DU NORD SÉNÉGAL



Cuirasse ferrugineuse sur grès argileux

Sol régolique sur grès argileux

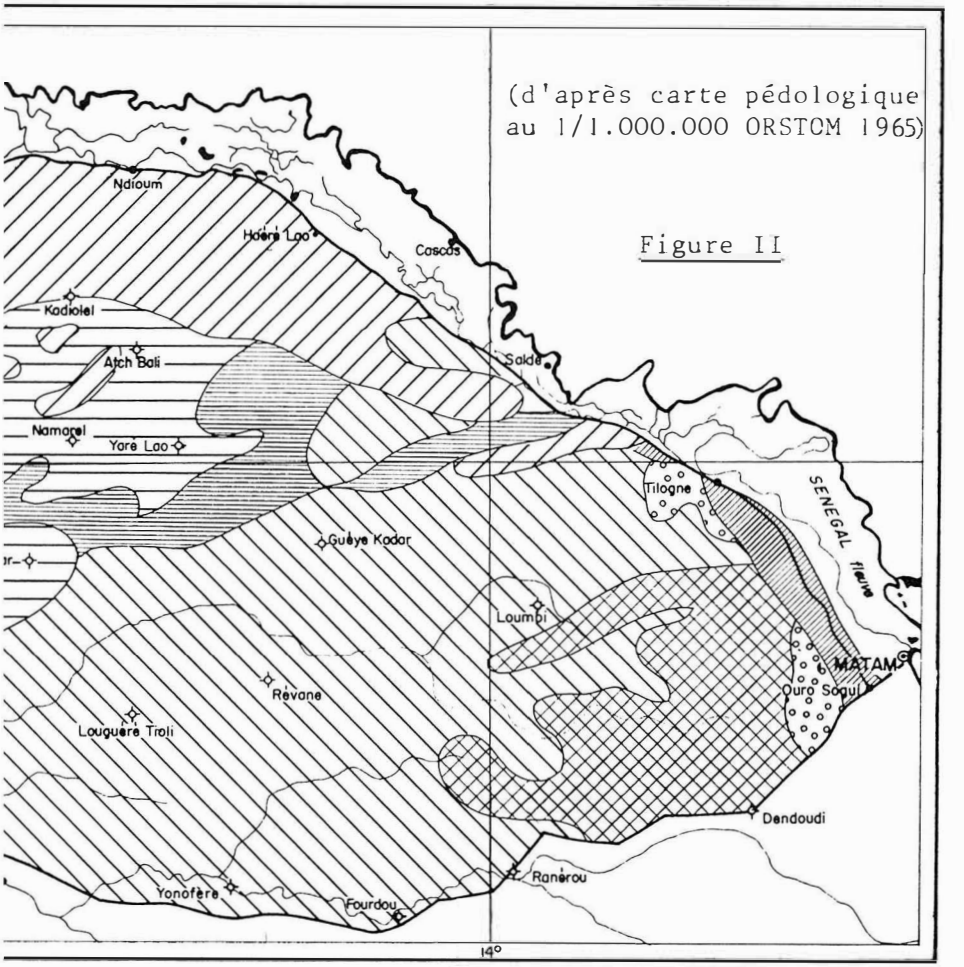
Sol brun subaride intergrade hydromorph sur sables colluviaux

Sol brun subaride modal sur marnes

Sol brun subaride intergrade, sol hydromorphe sur alluvions sableuses

Sol brun rouge intergrade, sol ferrugin sur sables siliceux

A L'EXCEPTION DES SOLS HYDROMORPHES

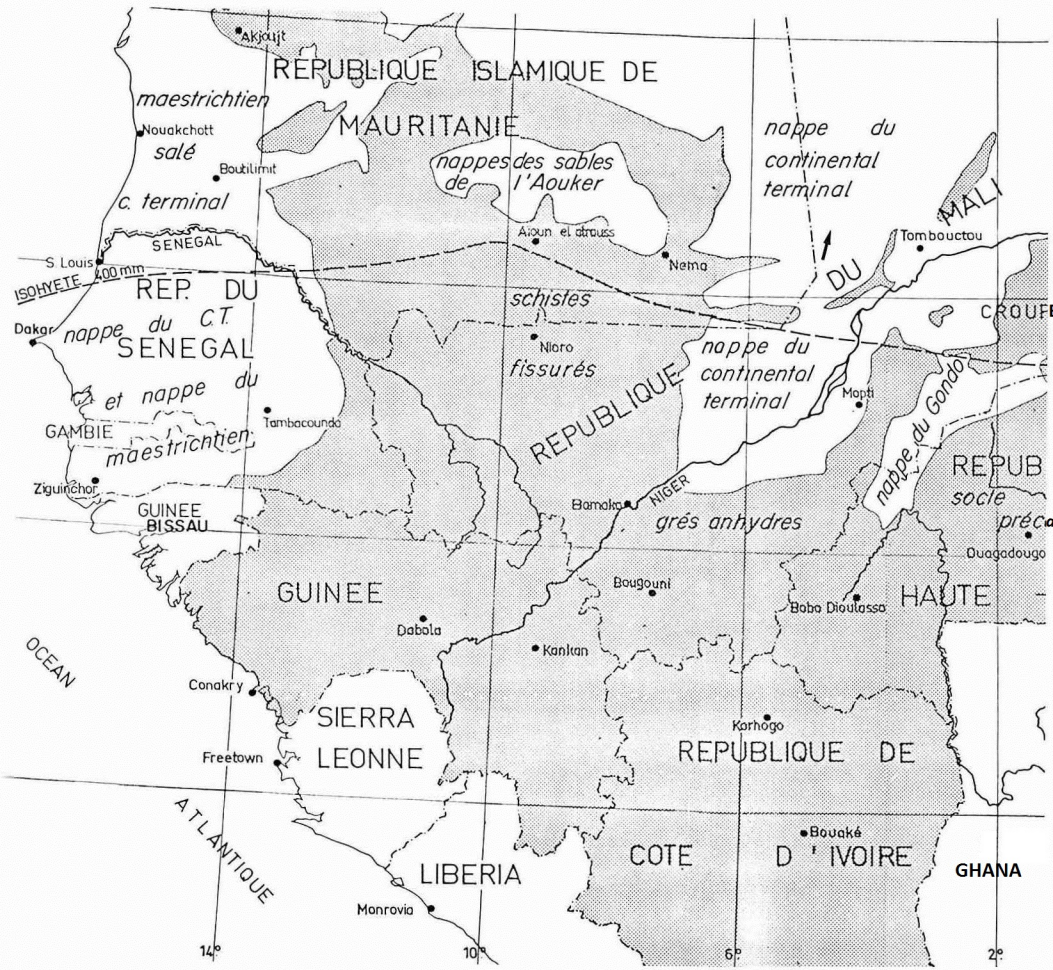


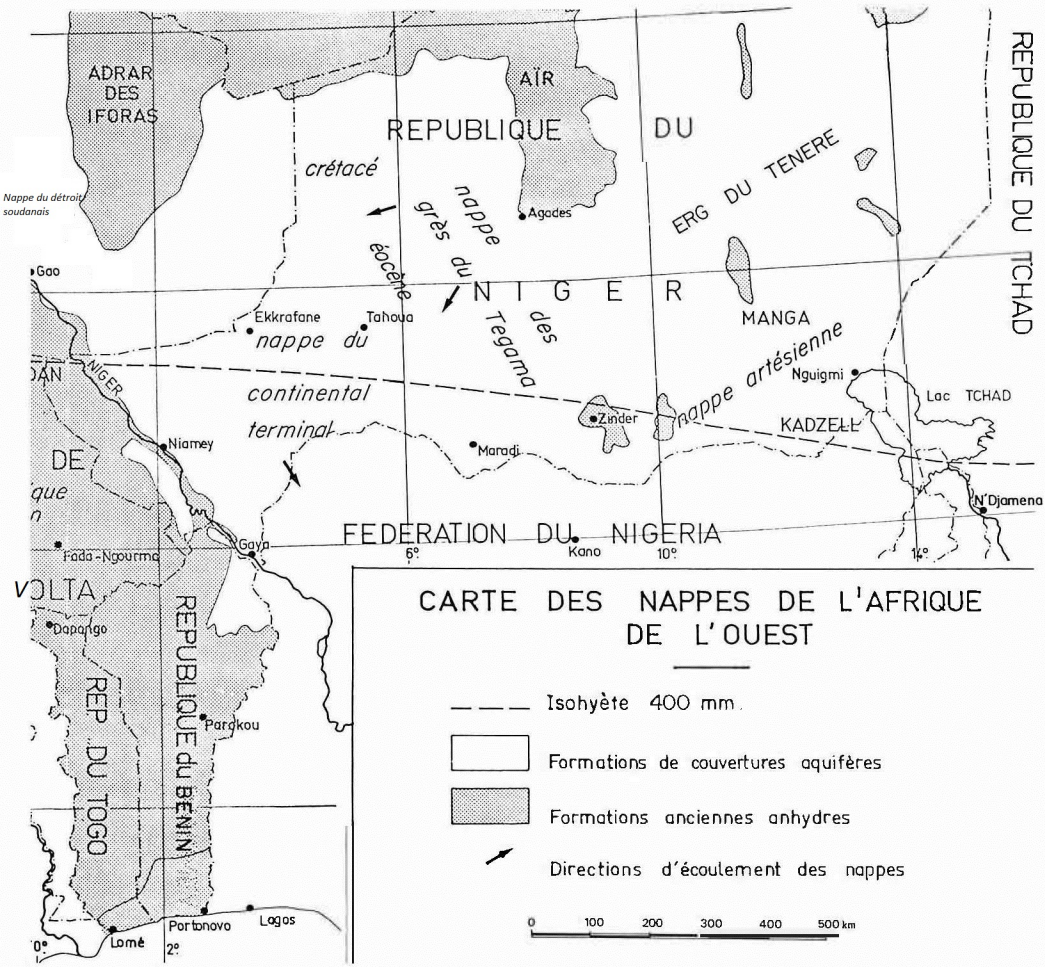
Sol brun rouge faiblement évolué sur sables siliceux

Sol ferrugineux faiblement lessivé, lessivé en fer sur grès sablo-argileux souvent concrétionnés et cuirassés en profondeur

Sol ferrugineux, faiblement lessivé, lessivé en fer sur sables siliceux

Sol halomorphe


Akjoujt
REPUBLIQUE ISLAMIQUE DE
maestrichtien
MAURITANIE
Nouakchott
salé
Boutilimit
nappes des sables de l'Aouker
nappe du continental terminal
c. terminal
MALI
SENEGAL
Aioun el atrouss
Tombouctou
S Louis
Nema
ISOHYETE 400 mm
REP. DU
schistes
DU
CROUPE
Dakar
nappe du C.T.
SENEGAL
Nioro
fissurés
nappe du continental terminal
et nappe du
REPUBLIQUE
Mopti
GAMBIE
Tambacounda
maestrichtien
nappe du Gondo
REPUB
Ziguinchor
Bamako
NIGER
socle
GUINEE BISSAU
grés anhydres
précam
Ouagadougou
GUINEE
Bougouni
HAUTE
Baba Dioulasso
Dabola
Kankan
OCEAN
Conakry
Korhogo
SIERRA LEONNE
REPUBLIQUE DE
Freetown
ATLANTIQUE
Bouaké
COTE D'IVOIRE
GHANA
LIBERIA
Monrovia
14°
10°
6°
2°


ADRAR DES IFORAS
AÏR
REPUBLIQUE DU NIGER
ERG DU TENERE
REPUBLIQUE DU TCHAD
Nappe du détroit soudanais
crétacé
nappe grès du Tegama
éocène
Agades
Goo
Ekkrafane
Tahoua
nappe du continental terminal
MANGA
nappe artésienne
Nguigmi
Lac TCHAD
Zinder
KADZELL
Niamey
Maradi
N'Djamena
Gaya
Fada-Ngourma
FEDERATION DU NIGERIA
Kano
6°
10°
14°
Dapango
Parakou
REPUBLIQUE du BENIN
REP DU TOGO
Porto-Novo
Lagos
Lomé
0°
2°
CARTE DES NAPPES DE L'AFRIQUE DE L'OUEST
Isohyète 400 mm
Formations de couvertures aquifères
Formations anciennes anhydres
Directions d'écoulement des nappes
0
100
200
300
400
500 km

construits pour des débits inférieurs à 5 m³/h. Encore peut-on redouter qu'ils exploitent des poches qui ne se réalimentent pas et vont rapidement s'épuiser.

La situation est la même dans tout le sud et l'ouest du Mali ainsi que l'extrême est du Sénégal. La carte, page précédente, donne une localisation des régions disposant d'aquifères profonds et des zones n'en disposant pas.

CHAPITRE II

L'ACCÈS A L'EAU

Ayant, dans le chapitre précédent, fait le tour des disponibilités en eau, nous étudierons les modes d'exploitation dont elle peut être l'objet.

1. Les eaux de surface

• Les cours d'eau permanents

Les cours d'eau permanents permettent toute l'année l'abreuvement des troupeaux. De ce point de vue cela peut paraître parfait. Néanmoins, cette possibilité a souvent entraîné la prolifération de troupeaux auprès des berges et les pâturages des environs ont subi une dégradation par surcharge. Finalement, il s'établit un équilibre par suite du facteur limitant qu'introduit le pâturage, équilibre qui, cependant, n'est pas optimal.

Une menace se dessine à l'horizon, avec les projets de réalisation de grands périmètres irrigués, à mettre en valeur par la production agricole.

Dès que les cultures occupent la place le long des fleuves, les troupeaux ne peuvent plus y être conduits en raison des dégâts qu'ils peuvent provoquer. Outre la privation des pâturages de décrue, l'abreuvement du bétail devient difficile. On a déjà l'exemple du delta du Sénégal d'où les aménagements ont chassé les éleveurs et leurs troupeaux.

Il faut bien voir que dans tous les projets de développement de périmètres irrigués le problème posé par l'élevage est gênant et souvent escamoté. C'est une attitude contre laquelle il faut réagir

car l'élevage, dans les régions sahéliennes, peut seul valoriser l'arrière-pays, à condition qu'il ait accès à l'eau.

L'organisation des périmètres irrigués doit prévoir la possibilité pour les troupeaux d'accéder aux berges du fleuve et aux zones d'inondation qui produisent le bourgou.

• **Les cours d'eau non permanents** peuvent être améliorés comme points d'abreuvement par la construction de barrages, échelonnés sur leurs cours, qui retiendront de façon durable suffisamment d'eau pour abreuver les troupeaux.

• **Les mares naturelles** sont, pour leur plus grand nombre, de durée temporaire, s'asséchant plus ou moins tôt. Les animaux s'y abreuvent directement. Lorsque le niveau de l'eau s'abaisse, les excréments du bétail s'accumulent au bord de l'eau qui devient putride. C'est pourquoi les pasteurs creusent alors des puisards où ils prélèvent de l'eau qui a subi la filtration naturelle et qui présente de meilleures qualités sanitaires, bien qu'elles ne soient pas parfaites.

L'amélioration des mares peut porter avant tout sur l'allongement de leur durée. On peut penser à accroître leur volume en les recreusant. Cette opération a été mise en pratique dans plusieurs cas, avec des résultats inégaux. En effet, le fond de la mare est souvent étanche en raison d'un colmatage qui s'est fait progressivement. L'enlèvement de la couche colmatée peut mettre le fond de la mare en communication avec une couche perméable dans laquelle elle se vide. On obtient un résultat inverse à celui recherché, ce qui est loin de satisfaire les éleveurs, bien au contraire.

En revanche, si la mare repose sur une nappe phréatique, le creusement peut sans risque accroître sa durée. Mais dans ce cas, il est préférable de laisser se généraliser l'exploitation par des puisards qui fournissent de l'eau plus propre et limitent l'évaporation.

L'accroissement de la durée de la mare peut être obtenue en diminuant ses pertes soit par infiltration, soit par évaporation. L'augmentation de l'étanchéité du fond de la mare peut être obtenue à peu de frais par épandage d'argiles sur son fond, pendant qu'elle est sèche, s'il en existe au voisinage. Un empierrage peut avoir aussi un effet très favorable si des pierres existent à proximité.

Dans les pays développés on a déjà utilisé les films plastiques. Ils doivent être protégés par un recouvrement de terre. Mais en Afrique sèche, leur emploi n'a pas encore été vulgarisé. Ces films se présentent en bandes roulées qu'il faut souder sur place, ce qui requiert un petit matériel et un peu de technicité.

On peut aussi penser à limiter l'évaporation de l'eau dont nous avons vu qu'elle se fait au rythme de 2 m à 2,5 m par an. On a essayé l'épandage, en surface des eaux de la mare, de films monomoléculaires de liquides apolaires comme les alcools saturés à longue chaîne. Mais de tels films sont déchirés et détruits par le vent et cela d'autant plus que la température est plus élevée, car elle diminue la cohésion du film. Le renouvellement dès lors doit être fréquent et le coût devient élevé. Dans les meilleures conditions, on réduit de 20 p. 100 l'évaporation. On doit donc considérer que le procédé n'est pas encore au point.

On a encore utilisé des perles de polystyrène, mais elles sont aussi poussées par le vent. Elles permettraient sur de petits plans d'eau de diminuer de 50 p. 100 l'évaporation. Mais elles ne donnent pas satisfaction sur de grandes surfaces.

Des mises au point restent à faire pour progresser dans cette direction.

L'amélioration des mares peut aussi se concevoir quant à la qualité de l'abreuvement. La fréquentation directe des abords boueux de la mare par les troupeaux est une source considérable de pollutions et de contaminations. Il convient d'empêcher l'accès direct des animaux à la mare en l'entourant de haies d'épineux. L'abreuvement peut se faire très proprement dans un puits creusé en zone sèche, ce puits étant mis en communication avec le fond de la mare par un tubage (voir schéma). L'inconvénient du système est l'obligation de puiser l'eau, que les pasteurs peuvent plus ou moins bien accepter. Ce n'est cependant qu'une généralisation de l'utilisation des puisards.

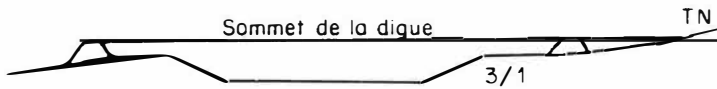
- **Les mares artificielles**

Si pendant les pluies et les semaines qui suivent les animaux n'ont pas de difficultés à trouver de l'eau, il n'en est plus de même dès que le mois de novembre survient. Les pâturages, à cette époque de l'année, sont loin d'être épuisés. D'ailleurs, les graines étant tombées au sol, il ne peut plus y avoir de surpâturage. On a intérêt à utiliser le stock de pailles fraîches le plus longtemps pos-

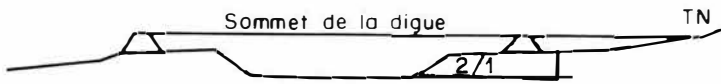
CROQUIS TYPE DE MARE

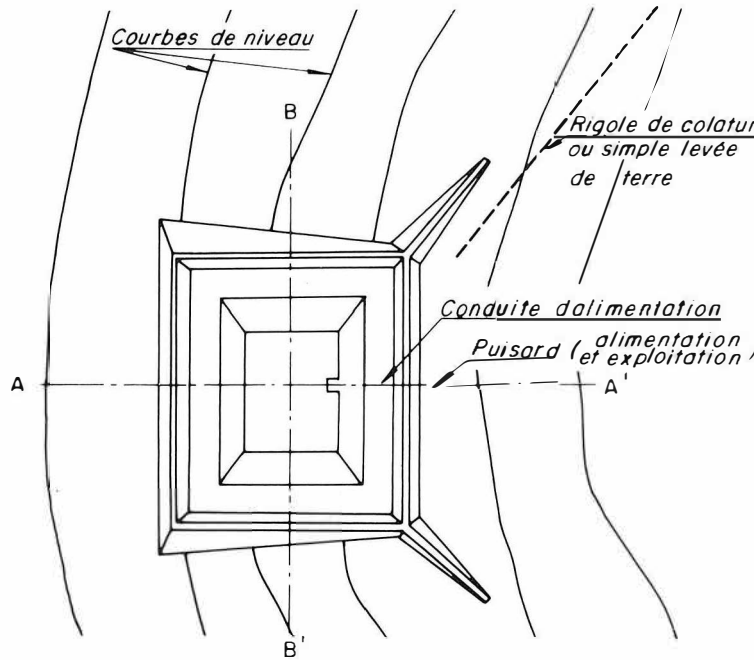
ALIMENTATION PAR BASSIN DE REPRISE ET PUISARD

COUPE B_B'



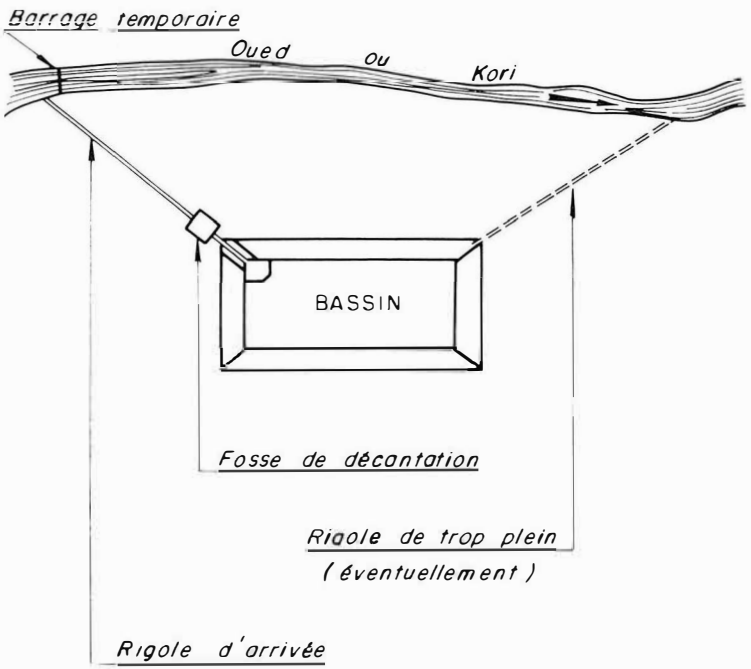
COUPE A_A'





CROQUIS TYPE DE MARE

ALIMENTATION PAR DETOURNEMENT DES EAUX D'UN COURS D'EAU



sible. Il faut pouvoir disposer d'eau pour tenir au moins pendant la saison fraîche, c'est-à-dire jusqu'en fin février ou début mars. Pour un troupeau de 500 têtes, il faut pouvoir disposer de 10 m^3 par jour, soit 1 200 m^3. Compte tenu des pertes évaporatives (20 cm/mois) par infiltration, il faut pouvoir retenir 2 000 m^3.

Le site de la mare artificielle doit être judicieusement choisi. Il est nécessaire de trouver un emplacement où le sol et le sous-sol soient suffisamment imperméables pour retenir l'eau. L'imperméabilisation par des argiles recueillies aux environs est la seule opération envisageable. Des sondages à la tarière permettront seuls de se rendre compte de la nature du terrain.

Une bonne connaissance de la pluviométrie annuelle avec les maxima et les minima possibles est nécessaire. Avec une évaluation de la surface du bassin versant on peut estimer la quantité d'eau que l'on peut accumuler. Il faut éviter à la fois de créer une mare qui ne tiendra pas assez longtemps faute d'un remplissage complet et une mare alimentée de façon trop importante qui risque d'être détériorée par les gros orages.

Si le bassin versant est peu étendu, la mare artificielle peut être envisagée dans un thalweg. Si le bassin versant est vaste, il faut éviter une telle solution et rechercher un emplacement tel que l'eau du ruisseau intermittent puisse y être dirigé à l'aide d'un petit barrage temporaire qui sera emporté lors des grosses tornades, mais pourra être facilement rétabli par une modeste levée de terre.

Forme de la mare

Pour limiter les pertes par évaporation et par infiltration, on doit rechercher une profondeur la plus grande possible pour améliorer le rapport du volume à la surface.

La terre issue du creusement de la mare sera poussée à sa périphérie de manière à former une digue qui augmentera les possibilités de stockage. Les bords de la mare auront une pente suffisamment forte (30°) avec une forme rectangulaire. Une surface de 1 000 m^2 avec 2 mètres d'eau, lorsque la mare est pleine, satisfont au but recherché.

L'utilisation de l'eau de la mare pourra se faire par un puisard mis en communication avec elle par un busage.

Si l'on réalise les travaux de terrassement au bulldozer, pour 1 500 m^3 de creusement à 1 000 CFA le m^3, le coût d'une mare

artificielle, y compris les aménagements du puisard, se situera aux environs de 2 000 000 F CFA.

Périodiquement, la mare devra être recreusée pour compenser l'inévitable comblement par décantation des éléments entraînés par l'eau.

- **Les petits barrages collinaires**

Lorsque le relief est un peu accusé, on peut le mettre à profit en créant de petits barrages en terre pour retenir l'eau de ruissellement.

Au Sahel, le relief est rarement propice à l'établissement d'un barrage en raison de sa platitude, mais dès que l'on se rapproche de la zone soudanienne, les pluies plus abondantes ont creusé les surfaces où se dessine un réseau hydrographique très net, qui converge vers les cours d'eau permanents ou subpermanents.

Si, à des fins agricoles d'irrigation, on a besoin de grandes quantités d'eau et de forts débits, il n'en est pas de même lorsqu'on vise seulement à abreuver le bétail où des retenues d'eau de l'ordre de 5 000 à 10 000 m^3 sont tout à fait suffisantes.

Les barrages collinaires en terre peuvent être réalisés par un bulldozer en quelques journées de travail.

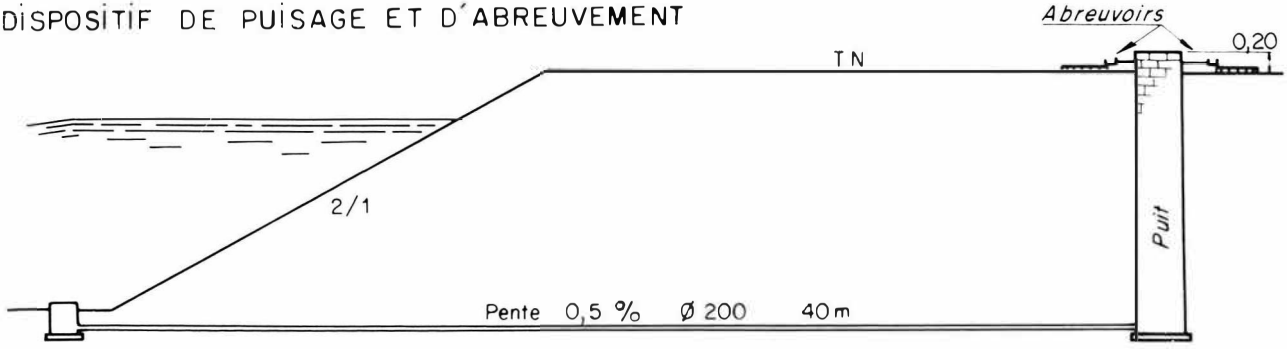
La première préoccupation doit concerner le choix du site. Il doit permettre la réalisation d'une retenue d'eau la plus volumineuse possible avec un terrassement peu coûteux. Le rapport retenue-terrassement doit être aussi élevé que possible.

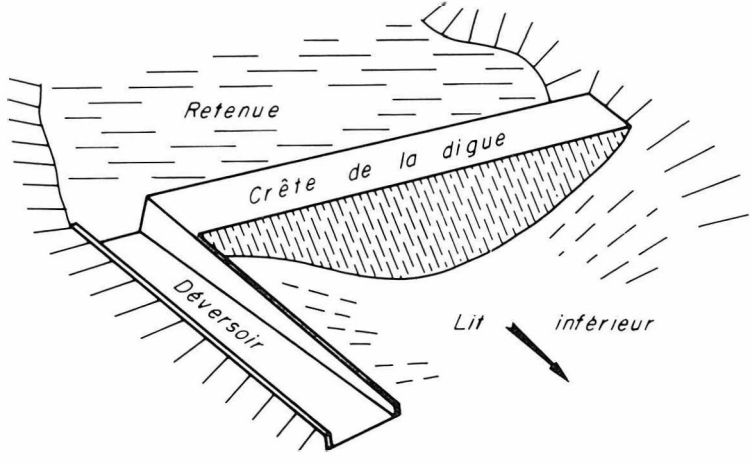
Pour que le terrassement coûte peu, il faut que les volumes de terre à pousser soient limités par suite d'un rétrécissement du thalweg et que les terres à pousser puissent être trouvées au voisinage immédiat du barrage. Plus le relief sera accusé et plus ces deux conditions pourront facilement se trouver satisfaites.

En second lieu, les sols doivent être imperméables afin que l'eau retenue ne puisse pas être perdue par infiltration. On ne peut, évidemment, construire de barrages collinaires dans les zones de sables. Mais on évitera aussi les lits formés d'alluvions comprenant des graviers, les cuirasses latéritiques qui sont toujours plus ou moins perméables et les argiles à circulation interne.

On préférera les matières argilo-sableuses qui se colmatent bien aux argiles à fort retrait, surtout si les fentes affectent la couche imperméable sur toute l'épaisseur.

DISPOSITIF DE PUISAGE ET D'ABREUVEMENT





BARRAGE COLLINAIRE

Au plan hydrologique, il n'est pas nécessaire de disposer d'un trop vaste bassin versant. Sur 1 km², dans une zone sous 500 mm de pluie, il tombe un demi-million de mètres cubes d'eau. Malgré l'infiltration, cela paraît suffisant pour remplir un petit barrage tel que nous l'envisageons et qui, par conséquent, se contentera d'une tête de vallée.

Les petits barrages pourront être ainsi multipliés.

Le barrage lui-même sera établi après que l'on aura décapé son emplacement pour s'assurer de la solidité et de l'imperméabilité de son assise. Puis la digue sera élevée pendant la période sèche, en poussant la terre qui, de chaque côté du lit, surplombe l'emplacement choisi.

Le barrage doit être assez lourd et pour cela doit mesurer au moins 3 mètres de large à son sommet. Les pentes avant et arrière devront se rapprocher de 45°. La hauteur de la digue est le plus souvent de 4 à 5 mètres en son milieu, ce qui donne à la base du barrage une largeur de 10 à 13 mètres. Il faut prévoir, après la première saison des pluies, un tassement du barrage, notamment en son centre, et la nécessité de le recharger après la première année de mise en fonction. L'ennoyage d'une feuille plastique sur la face amont contribuera à l'étanchéité de l'ouvrage et pourra éviter la formation de renards.

Enfin, il sera nécessaire de prévoir à l'une des extrêmités un déversoir largement dimensionné de façon à ce que l'eau ne puisse jamais passer sur le barrage, malgré les plus fortes pluies. L'évacuateur sera donc creusé en terrain dur avec une section de 1,5 m² par km² de bassin versant. Il se poursuivra sur la pente avec une section progressivement décroissante qui libérera l'eau par débordement en aval du barrage. Dans la mesure du possible, le déversoir et l'évacuateur qui lui fait suite gagneront à être cimentés.

Les petits barrages en terre ont été peu souvent mis en œuvre en Afrique sèche, car certains, mal conçus, ont été emportés par les orages.

Dans la région de Ouagadougou une centaine de barrages collinaires plus importants sont destinés à permettre des cultures irriguées. Mais, en 1973, ils ont permis la survie de nombreux troupeaux. Au Gourma malien, le petit barrage d'In Alata a donné pendant de nombreuses années toute satisfaction.

Dans le nord-est du Brésil, région sèche, et notamment dans l'Etat de Ceara, les barrages collinaires, dénommés *açudes,* très

nombreux, sont les seules sources d'abreuvement du bétail. En Afrique du Sud, ils connaissent aussi une grande vogue.

Afin d'éviter que le bétail n'aille directement boire dans le plan d'eau et ainsi le contaminer, on peut installer en dessous du barrage un abreuvoir en ciment. Il sera alimenté par un siphon qui saute la digue et se termine par un robinet. Ce système est très couramment utilisé au Brésil.

2. Les eaux souterraines

Les eaux souterraines ne peuvent être atteintes que par le creusement d'ouvrages dans les terrains qui les contiennent.

a) Exploitation par des puits

- **Les puits traditionnels**

Les pasteurs ont, de longue date, su exploiter les eaux souterraines en creusant des puits. Ces derniers sont creusés à la main. De section circulaire, leur diamètre ne dépasse pratiquement jamais un mètre. Ces puits ont toujours un faible débit car ils ne pénètrent pas profondément dans la couche aquifère. Les moyens d'exhaure de l'eau dont disposent les pasteurs ne leur permettent pas de l'évacuer assez vite pour que les puisatiers, au fond de l'ouvrage, poursuivent le creusement dans l'aquifère.

Les puits traditionnels n'ont pas de margelle et s'ouvrent directement à la surface du sol. Leur profondeur a atteint dans certains cas 90 mètres, mais c'est là une profondeur record. La plupart des puits traditionnels ne dépassent pas 60 mètres, ce qui est déjà considérable. La profondeur possible du creusement est étroitement fonction de la tenue des terrains traversés. S'ils sont durs, la solidité des parois est bien meilleure. Dans les sables, les puits traditionnels sont toujours peu profonds. Le puits est souvent maintenu par une charpente en branchages qui, elle-même, peut soutenir une paroi de pailles. Les dispositions de ces charpentes sont variables suivant les régions et suivant les équipes qui creusent. Parfois, les puisatiers appartiennent à certaines ethnies seulement (Haddad au Kanem).

Les puits traditionnels ont une durée de vie limitée, variable avec les terrains qu'ils traversent. Des éboulements se produisent soit au fond, avec comblement partiel, soit avec effondrement de l'orifice.

- **Les puits modernes**

Les puits modernes mettent en œuvre des matériels mécaniques pour le creusement, des pompes puissantes pour permettre de foncer dans la nappe, des cuvelages en matériaux durs : béton ou métal.

Seuls les terrains très durs, tels que les schistes ou certains calcaires, peuvent permettre des puits sans cuvelage, étant donné la solidité de leurs parois. Toutefois, ces roches peuvent être surmontées de terrains plus friables qui doivent être cuvelés jusqu'au niveau dur.

Pour les puits peu profonds, dans les grès argileux consistants, le puits peut être foncé entièrement et le cuvelage fait par la suite.

La solidité des parois du puits diminue quand le diamètre augmente. Si certains, d'un diamètre de 1 m à 1,40 m, peuvent se contenter d'un cuvelage en béton banché léger, les puits plus larges gagnent à être cuvelés en buses de béton armé emboîtables. On a pu déplorer des éclatements de cuvelage en béton banché dans des puits de 2,50 m de diamètre.

Dans les terrains alluvionnaires et sableux, le seul procédé possible est le creusement par havage et cuvelage progressif par des buses de béton, au bas desquelles on a placé une trousse coupante pour favoriser la descente du cuvelage. Les premières buses, qui se trouveront en bas, sont perforées pour permettre la pénétration de l'eau. On a parfois aussi utilisé les buses en métal ondulé de type ARMCO, qui sont clavetées de l'intérieur et ancrées en surface à un massif de béton. Mais ces buses, conçues pour être posées horizontalement, si elles sont commodes tout en fournissant un cuvelage peu onéreux, ne conviennent que pour des puits de faible profondeur (20 mètres). En sus, les pasteurs ne les aiment pas car les délous se déchirent lorsqu'à la remontée ils s'accrochent aux boulons.

A l'heure actuelle, les puits les plus fréquemment construits ont un diamètre de 1,80 m ; ils constituent le meilleur compromis entre la dimension et le coût. Si l'on compare deux puits, l'un de 1,40 m, l'autre de 1,80 m, on constate que les contenus en eau sont dans le rapport $0{,}9^2/0{,}7^2 = 1{,}65$ et les possibilités d'utilisation de six fourches avec poulies de puisage en 1,80 m se réduisent à quatre en 1,40 m (rapport 1,5).

Au fond des puits, on installe un dispositif de captage qui permet la pénétration de l'eau mais évite au maximum la pénétration de sable. C'est l'une des parties les plus délicates de la construction. Le dispositif de captage est formé de buses d'un diamètre plus faible que le cuvelage : 1,60 m de diamètre extérieur, par exemple, dans un cuvelage de 1,80 m intérieur. Ce busage est toujours perforé ou crépiné (plaques perforées de 15 × 15 cm).

Le massif filtrant de graviers peut être placé à l'extérieur de ce busage, mais aussi à l'intérieur, à condition que l'on y réserve un espace annulaire où placer le gravier. Cela peut être réalisé par des viroles métalliques cylindriques, en tôle épaisse perforée, laissant un espace de 15 à 20 cm entre elles-mêmes et la buse. Au Tchad, on a utilisé des buses à double paroi laissant un espace vide de 5 cm pour le gravier, suffisant si les puits sont destinés à l'exhaure attelée qui n'entraîne pas un débit élevé et par conséquent de forts risques d'ensablement.

Le fond du puits est garni de graviers au-dessus desquels on place une dalle circulaire de béton, perforée de trous, ce qui contribue à donner de la stabilité au fond de l'ouvrage en facilitant l'entrée de l'eau.

Les buses de captage qui se situent dans l'aquifère fluent ont des chances de bouger. Pour limiter ces risques on les rend solidaires entre elles par un ferraillage longitudinal qui utilise des trous prévus à cet effet lors de leur fabrication. L'ensemble de captage est indépendant du cuvelage afin que ses mouvement éventuels n'endommagent pas ce dernier.

Le débit d'un puits dépend de la profondeur de pénétration dans la couche aquifère. Les puits creusés à l'aide d'engins mécaniques (bennes preneuses hémisphériques) permettent de foncer dans la nappe même sans pompage (ce qui limite les venues de sable) et de pénétrer assez profondément, généralement sur au moins 5 mètres, ce que ne peuvent faire les puits traditionnels.

Le débit dépend aussi de la perméabilité de la couche aquifère, qui définit la vitesse d'écoulement dans le puits.

Un puits qui fournit 1,5 l/s, soit 5 m^3/h, est excellent. Les débits de 0,5 à 1 l/s, soit 1,8 à 3,6 m^3/h, sont moyens. Au-dessous : 0,3 l/s, soit 1 m^3/h, il s'agit de débits très faibles. Mais il faut parfois s'en contenter.

• **Les aménagements de surface**

Les aménagements de surface ont pour but de faciliter l'exhaure, d'éviter les pertes de temps de manutention, de réduire les pertes d'eau, de régulariser l'accès des animaux aux abreuvoirs.

Beaucoup d'imagination a été déployée pour répondre à ces impératifs. Malheureusement, les solutions proposées n'ont pas toujours correspondu aux traditions des pasteurs et elles sont restées souvent inutilisées, quand elles n'ont pas été démolies.

Pour les puits peu profonds (jusqu'à 15 m) où l'exhaure se fait à la main, une margelle d'une cinquantaine de centimètres de haut servira d'appui et elle sera entourée d'un anneau bétonné d'environ 2 mètres de large en pente vers l'extérieur avec une rigole périphérique conduisant l'eau de ruissellement vers quatre abreuvoirs.

Lorsque le puits est plus profond et que l'exhaure se fait par traction animale, il est nécessaire de réserver autour de la margelle les emplacements où vont être implantées les fourches en forts branchages, qui doivent supporter les poulies. La tradition veut en effet que chaque éleveur soit propriétaire de sa poulie, de sa corde et de son délou. Les tentatives pour modifier ce système ont échoué.

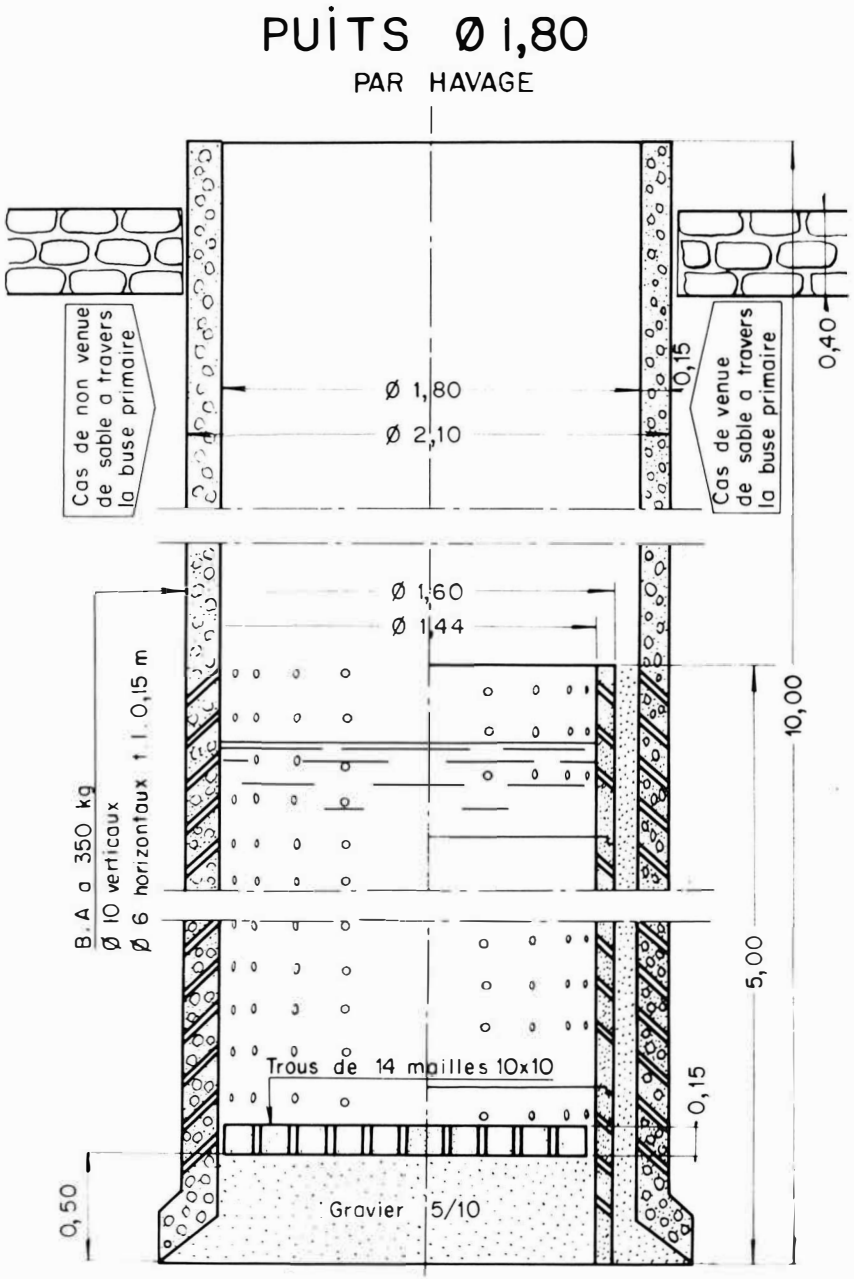
Autour d'un puits de 180 cm de diamètre intérieur, il faut prévoir l'emplacement de six fourches. En outre, la margelle devra être haute et entourée d'une levée de terre, ce qui permet à l'animal qui tire de prendre de l'élan au début de son parcours de traction.

L'eau sera acheminée par des rigoles bétonnées vers les abreuvoirs disposés entre les parcours de traction.

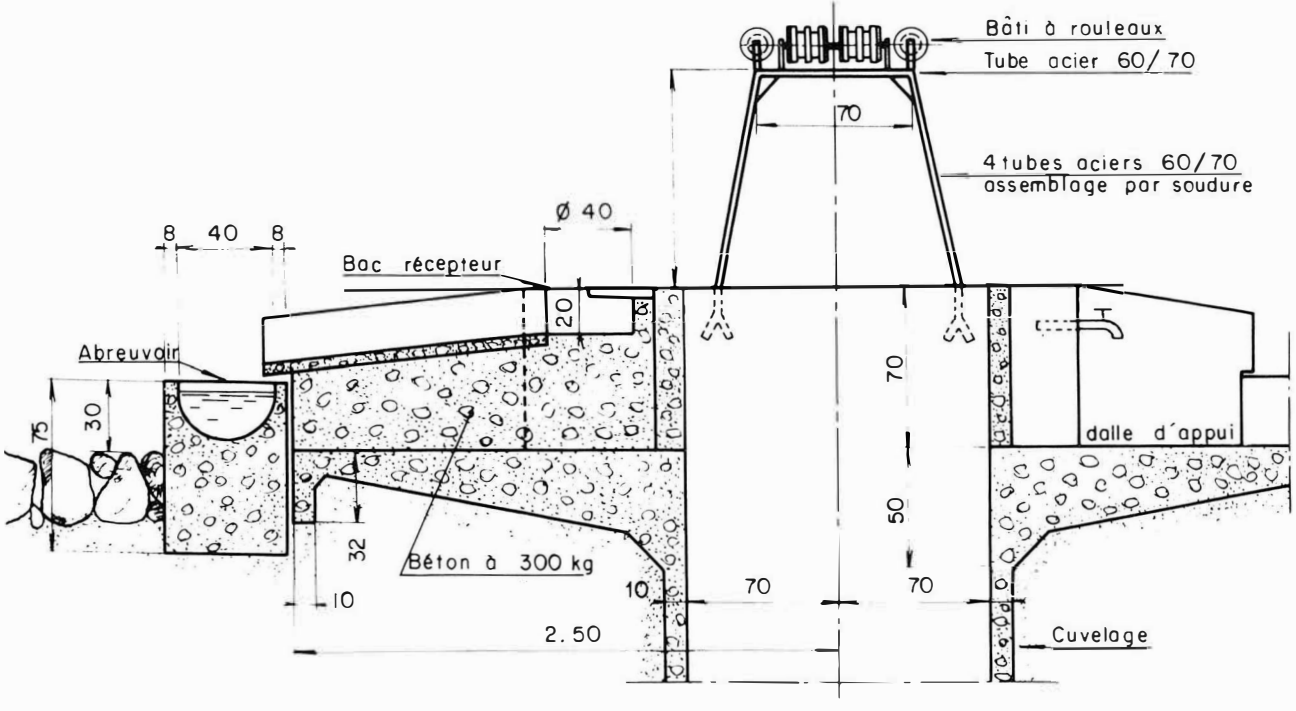
Quels que soient les aménagements de surface, ils ne devront pas être solidaires du cuvelage du puits car, si par suite d'infiltrations ils viennent à s'affaisser, ils ne doivent pas pouvoir causer de dommages par des tractions sur le haut du cuvelage.

En 1976, un puits bétonné de 1,80 m de diamètre revenait, approximativement, à 100 000 F CFA le mètre linéaire.

Les aménagements extérieurs sont fixes, quelle que soit la profondeur du puits, et ils interviennent plus sur un puits peu profond (1/4 pour 20 mètres, 1/8 pour 40 mètres). Mais le coût du mètre linéaire est de plus en plus élevé lorsqu'on fonce plus bas. L'association de ces deux considérations fait que l'on peut donner


PUITS Ø 1,80
PAR HAVAGE
Cas de non venue de sable a travers la buse primaire
Ø 1,80
Ø 2,10
0,15
Cas de venue de sable a travers la buse primaire
0,40
Ø 1,60
Ø 1,44
B.A a 350 kg
Ø 10 verticaux
Ø 6 horizontaux ↑ ↓ 0,15 m
10,00
5,00
Trous de 14 mailles 10x10
0,15
0,50
Gravier 5/10

AMENAGEMENT DE SURFACE



un prix moyen au mètre linéaire pour définir approximativement le coût d'un puits.

b) Les forages

Le forage est le percement d'un trou de faible diamètre sur une grande profondeur. Il peut pénétrer les terrains sur plusieurs centaines de mètres. Le débit du forage peut être important parce qu'il peut pénétrer les couches aquifères sur une grande longueur limitée seulement par l'épaisseur de ces couches. La réalisation de tels ouvrages demande du matériel et du personnel spécialisé. On ne peut les déplacer et les mettre en œuvre que dans le cadre d'un programme d'équipement régional par une série de forages, lorsque les conditions hydrogéologiques le permettent.

Le choix des matériels et des techniques de forages, en fonction des roches à traverser, est une question de spécialistes.

- **Structure**

Le forage comporte d'abord une chambre de pompage dont le diamètre doit être suffisant pour loger le corps de pompe avec 5 cm d'espace annulaire, soit un diamètre supérieur de 10 cm à celui du corps de pompe. Ce dernier, suivant les modèles, mesure de 150 à 200 mm.

Les tubages doivent pénétrer dans les couches aquifères afin que la crépine soit immergée en permanence. La tête du forage est cimentée sur 10 ou 20 mètres pour le préserver des infiltrations superficielles ou plus profondément pour éviter les remontées à l'extérieur du tubage lorsque l'eau est sous pression.

Dans la couche aquifère, on descend les crépines en tubes d'acier inoxydable perforés de fins trous (1/4 de mm) pour interdire la pénétration du sable dans le forage. Autour de la crépine, on descend des graviers de quartz de 1 à 3 mm sur une épaisseur de 5 cm et ils doivent remonter de 5 à 10 mètres au-dessus du niveau supérieur de la crépine. Ces graviers fins constituent l'élément filtrant. Plus leur épaisseur sera grande, plus le colmatage du forage sera retardé. La granulométrie la plus favorable dépend de la nature de la couche aquifère, ce qui est déterminé au moment du forage.

- **Niveau statique et débits**

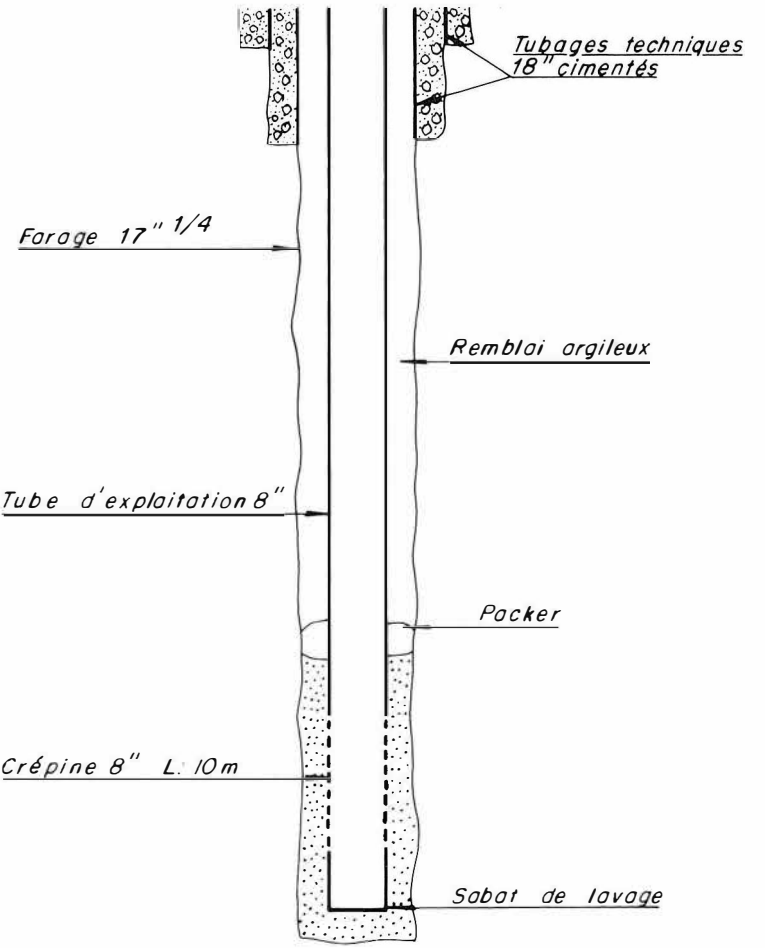
L'eau se trouvant sous pression dans la couche aquifère, elle remonte dans le forage plus ou moins près de la surface. Le niveau

FORAGE 30 m³ / h

Nappe phréatique

du continental terminal

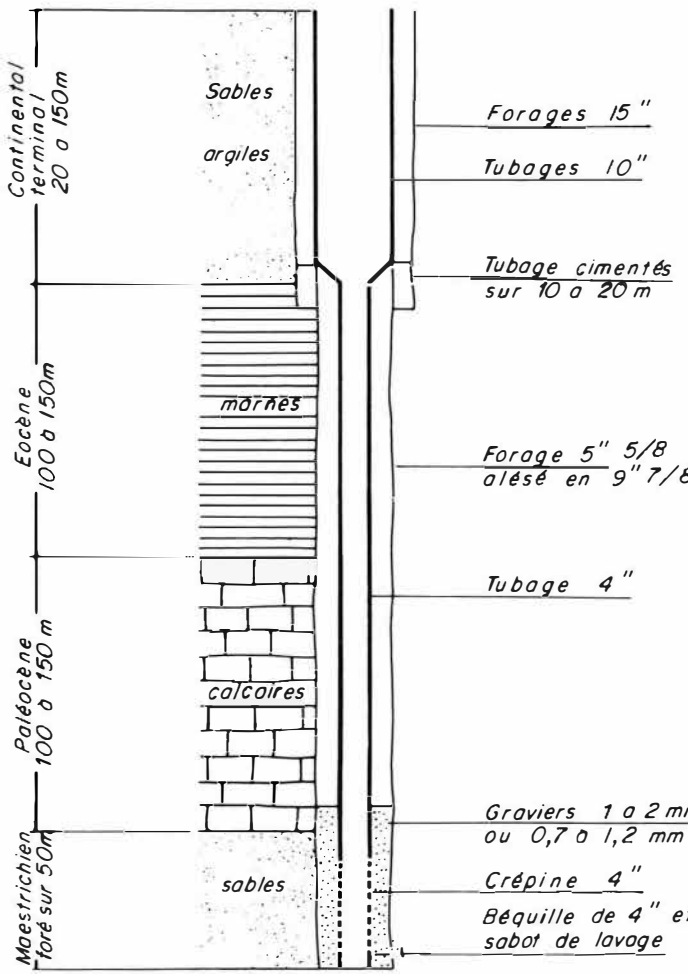
SCHEMA



FORAGE D'EXPLOITATION DU MAESTRICHTIEN

Débits d'essai 50 m³ / h
Débits d'exploitation 20 m³ / h

SCHEMA



statique peut être positif et dans ce cas le forage est artésien. Les principaux forages artésiens sont rencontrés au Niger.

A l'ouest, ils exploitent la nappe du continental hamadien et l'on obtient des débits considérables.

Nous citerons, par exemple, dans le Dallol Maouri :

	Profondeur (m)	**Niveau statique**	**Débit** (m^3/h)
Yelou	129	+ 10	145
Dioundiou II	187	+ 16,2	180
Kizamou	251	+ 14,7	170
Koutoumbou	152	+ 16,7	200

Au sud-est du Niger, dans la région de Diffa, 24 forages de 250 à 380 mètres de profondeur exploitent la nappe du pliocène et les niveaux statiques sont compris entre + 19 m et + 2 m. Ils donnent des débits qui varient entre 16 et 2 m^3/h. Mais tous ces forages situés dans les régions méridionales du Niger ne sont pas exclusivement pastoraux.

Les forages dans le continental terminal ont un niveau statique compris entre 40 et 90 m.

Au Niger, 38 forages strictement pastoraux équipés d'une station de pompage se caractérisent comme suit :

Profondeur : Quatre puits à 400, 500, 700, 800 mètres.
Quatorze entre 200 et 280 mètres.
Douze à 150 mètres.
Huit à 100 mètres.
Un à 50 mètres.

Niveau statique : dans tous les cas, il est compris entre 10 et 100 mètres et pour 80 p. 100 d'entre eux entre 40 et 80 mètres.

Les débits maximaux aux essais de pompage ont été les suivants :

Huit forages entre 50 et 70 m^3/h.
Quatorze entre 30 et 45 m^3/h.
Dix à environ 20 m^3/h.
Cinq à environ 10 m^3/h.
Deux à environ 5 m^3/h.

Les débits d'exploitation sont compris entre 1/3 et 2/3 du débit maximal.

FORAGES ZONE SYLVO-PASTORALE DU « FERLO »
(Carte agrostologique Nord-Sénégal)

Nom des forages	Année de mise en service	Profondeur (m)	Débit à la réception (m^3/h)
Amali	1956	209	30
Atch Bali	1963	240	80
Belel Boguel	1969	82,5	20
Boki Tekoum	1961	200	10
Boki Divé 1	1969	130	20
Boki Divé 2	1971	130	20
Barkedji	1951	255	50
Boulel	1951	240	67
Bowde Doudel (Mbar Toubeb)	1956	137	30
Dahra village	1950	262	80
Dahra élevage	1961	240	10
Diaguel	1967	124	21
Diagueli	1953	300	45
Dendoudi	1954	284	90
Dodji	1953	237	52
Fourdou	1954	314	80
Gelayel	1975	270	40
Ganine Erogne	1969	170	20
Gueye Kadar	1956	280	30
Kamp	1964	220	60
Kavel Kougal	1975	118	40
Kadiolel	1969	154	20
Kotiedia Haïré	1956	171	30
Labgar	1953	290	50
Linguere	1950	300	119
Lian	1961	300	10
Loumbi	1957	247	30
Loumbi Dek Do	1969	226	20
Loumbol	1954	316	70
Longuere Tioli	1956	268	30
Lour Ouolof	1962	270	20
Loumbol Amar	1961	238	10
Mbidi	1953	230	44
Mboula	1970	125	28
Niassante	1969	128	20
Namarel (Pelel Doba)	1969	198	20
Ngouloum	1975	172	45
Peti	1968	120	20
Ranerou	1954	322	55
Revane	1957	288	30
Sinobovel	1964	159	13
Tatki	1955	200	66
Tessekré	1956	229	30
Tiegueuguel	1969	130	20
Tieouel	1975	124	?
Vendou Tiengoli	1955	253	65
Vendou Kotar (Loumbi Sadio)	1961	260	10
Yare Lao	1953	232	100
Yonofere	1953	311	52

Au Sénégal, l'équipement de la région de Ferlo a été réalisé par un quadrillage de forages situés à environ 25 km les uns des autres. Ils exploitent la nappe du Maëstrichtien et leurs caractéristiques sont données au tableau en page 40.

• **L'équipement**

Les forages peuvent fournir des quantités importantes d'eau, presque toujours supérieures à 100 m³ par jour. Leur distribution au bétail exige une installation. Celles qui sont mises en place au Niger donnent satisfaction.

Elles comportent une station de pompage avec deux moteurs pouvant actionner la pompe, une cuve de fuel de 3 000 litres, un réservoir de 300 m³ en tôle sur soubassement en béton, d'où part une conduite de distribution qui alimente six abreuvoirs métalliques de 12 mètres de long, accessibles au bétail sur leurs deux côtés. Ils sont supportés par des socles en béton de 7 m sur 17 m qui évitent la formation de boue. A l'extrémité de la conduite est placée une rampe de robinets pour la distribution d'eau à usage domestique.

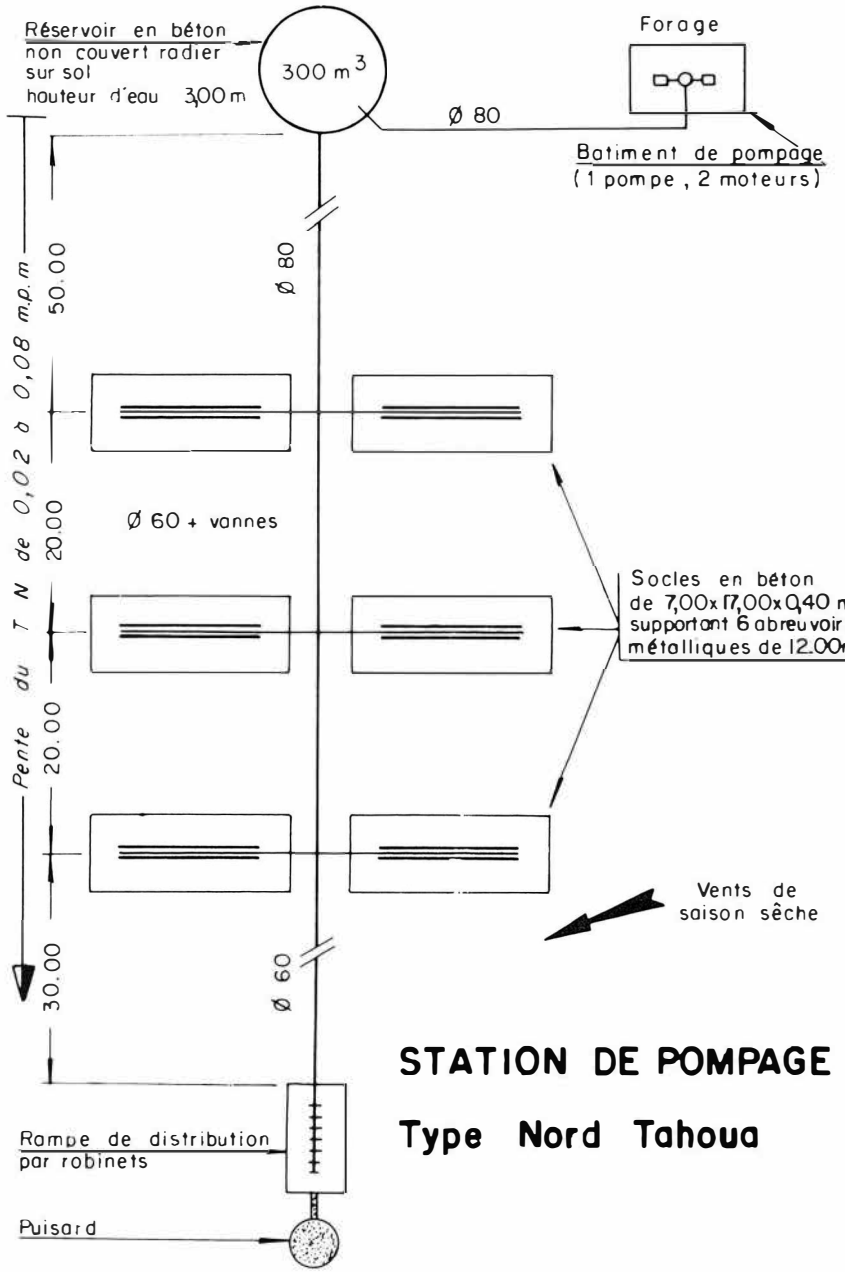
En 1976, suivant la profondeur, la dimension du tubage et la puissance des moteurs, le coût d'un forage s'établissait entre 30 millions et 40 millions CFA.

• **Les forages-puits**

Lorsqu'une nappe profonde sous pression présente un niveau statique assez peu éloigné (moins de 50 mètres), on peut éviter le pompage mécanique dans le forage en mettant ce dernier en communication avec un puits faisant office de citerne. Ce puits est en effet construit de façon étanche car son rôle n'est pas de recueillir l'eau dans la couche aquifère qu'il n'atteint pas.

Le forage peut être entrepris à côté du puits-citerne avec lequel il sera mis en communication par un busage horizontal au-dessus du fond de la citerne. Une autre solution consiste à forer au fond du puits, ce qui économise plusieurs dizaines de mètres de forage. Si le niveau statique de la nappe est bien connu, on commence par creuser le puits citerne avec son cuvelage jusqu'à cinq mètres environ au-dessous du niveau statique puis on creuse le forage et, lorsque la nappe est atteinte, l'eau remonte spontanément dans le puits-citerne.

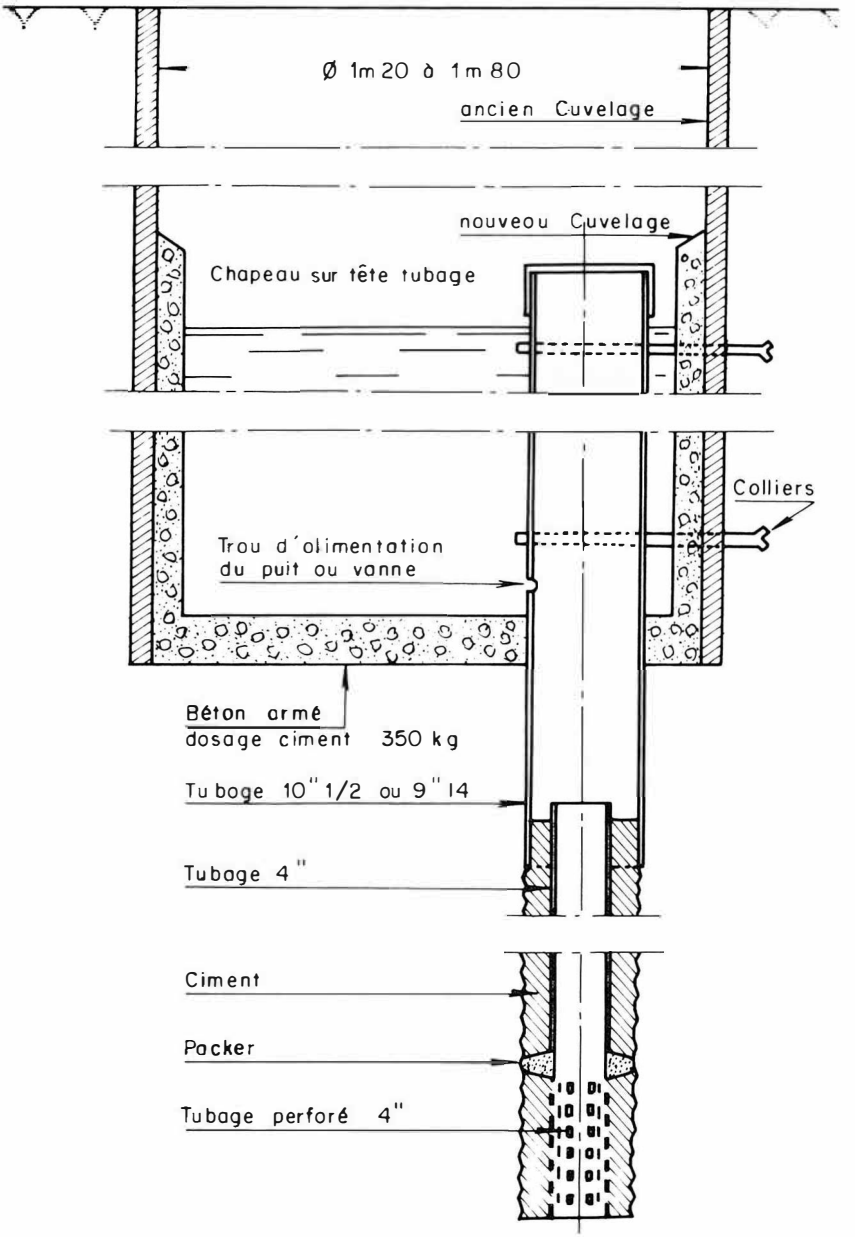
On peut alors équiper ce dernier comme un puits ordinaire, avec des fourches traditionnelles. Les pasteurs vont y tirer l'eau à



STATION DE POMPAGE

Type Nord Tahoua

FORAGE DANS PUITS EXISTANT (Schéma)



l'aide de la traction animale comme ils ont l'habitude de le faire. Le débit d'exhaure, comme pour un puits, ne sera jamais supérieur à 4 m^3/heure.

L'inconvénient apparent du système est d'obliger à la fois à creuser un puits et un forage. Toutefois, on fait l'économie des lourdes installations de surface du forage qui coûtent toujours au moins une dizaine de millions CFA. En outre, comme les débits d'exhaure sont limités, on peut se permettre de forer en 4 ou 5 pouces au lieu de 8 ou 10 et ainsi on peut économiser à peu près 30 p. 100 sur le coût du forage. Avec 20 millions CFA, on peut réaliser une installation très correcte qui, en raison de son mode d'exploitation, n'entraînera qu'un entretien minime.

Cette politique de forage-puits a été mise en pratique au Mali dans les régions de Gao et de Ménaka, dans les sables maëstrichtiens du Sénégal et dans les grès du Tégama.

La méthode du forage-puits a pu être utilisée pour la récupération de puits foncés jusqu'à des profondeurs de l'ordre de 60 mètres et qui se révélaient secs ou très insuffisants. Le forage atteignant la nappe profonde sous pression permet de les transformer en puits-citernes, utilisables normalement pour l'abreuvement du bétail.

CHAPITRE III

L'EXHAURE DE L'EAU

1. L'exhaure traditionnelle

• Exhaure manuelle

L'exhaure manuelle est une pratique courante partout où l'eau n'est pas trop profonde. Il est rare de l'observer lorsque l'on doit puiser à 15 mètres ou plus. Mais à moins de 10 mètres, elle est très générale.

Elle est pratiquée à l'aide d'un délou, poche de cuir attachée à un cercle de bois par un lacet de cuir. Le délou pour puisage à la main mesure de 30 à 40 cm de diamètre et peut contenir de 10 à 20 litres d'eau. Il est descendu et remonté à l'aide d'une corde le plus souvent faite de lanières de cuir, fixée en trois points du cercle. Le délou peut être remonté à la surface par une seule personne, c'est souvent le cas lorsqu'il s'agit d'un adulte. Parfois, les adolescents se mettent à deux, face à face de chaque côté de l'ouverture d'un puits traditionnel étroit, en pratiquant à deux mains des tractions alternatives.

Le contenu du délou est versé dans l'abreuvoir proche, fait de terre battue. Pour éviter de le détériorer, on dispose des branchages sur lesquels l'eau est versée de manière à ce que son action érosive soit limitée. Dans de nombreux cas, l'abreuvoir est métallique : fût de pétrole coupé, grande bassine, etc.

Le travail d'exhaure manuelle est pénible et le débit d'eau tirée dépend de l'activité des tireurs. En se relayant, sur un puits où l'eau est à 10 mètres, des puiseurs, à raison de trois opérant simultanément, parviennent à extraire 2 m^3 à l'heure.

L'utilisation de poulies ne permet pas un travail plus rapide et c'est pour cela qu'elle n'est en général pas pratiquée.

• **Exhaure avec traction attelée**

Dès que l'eau est à plus de 15 mètres, on voit apparaître la traction attelée. Les animaux les plus fréquemment employés sont des boeufs, en général en bon état. Au Sahel, on utilise aussi des chameaux et plus rarement des ânes. Les chevaux ne sont pas employés partout.

Le puisage se fait par un délou de grandes dimensions qui ramène approximativement 40 litres par élévation.

Pour la traction du délou, on utilise une corde en lanières qui passe dans la gorge d'une poulie en bois, laquelle roule autour d'un axe enfilé dans les trous des branches de la fourche. Cette fourche est faite à l'aide d'un tronc ou d'une forte branche qui se divise. La fourche est plantée dans le sol et inclinée vers le centre du puits afin que la poulie soit au-dessus de l'eau. Sur les puits traditionnels, on utilise deux ou trois fourches, sur les puits cimentés de 140 cm, quatre fourches et sur ceux de 180 cm, quatre ou même six fourches.

Les animaux tirent les uns après les autres en succession circulaire. Ils sont souvent montés par un enfant qui les met en route au moment voulu et les ramène vers le puits pour la redescente du délou. Un homme auprès du puits vide le délou dans l'abreuvoir.

Le temps de traction des autres animaux est mis à profit pour les opérations de vidage du délou, de retour de l'animal et de redescente dans le puits :

Pour un puits de 40 mètres, on observe :

– Temps de remontée	50 secondes
– Temps de manutention en surface ..	3 minutes
– Temps de descente du délou	30 secondes
– Temps de remplissage	1 minute
	5 minutes 20 secondes,

soit près de 6 minutes.

Pour un puits de 70 mètres, le temps de remontée et de descente du délou augmente considérablement (1 minute 35 secondes, dans chaque sens) et le temps total approche 8 minutes.

Si quatre attelages tirent chacun 10 fois quarante litres (400 litres) par heure, le débit du puits doit être de 1 600 litres à l'heure.

Avec six attelages, il faut 2 500 litres à l'heure. Si le puits ne peut les fournir, le puisage doit être interrompu de temps à autre pour laisser l'eau remonter dans le cuvelage.

Moyennant 8 heures de puisage, on peut extraire 20 m³/jour. Les puits moins profonds (20 mètres) peuvent permettre un rythme un peu plus rapide et un débit de plus de 3 m³/h, soit près de 30 m³ par jour.

2. L'exhaure modernisée

• Les pompes éoliennes

Les pompes éoliennes utilisent l'énergie du vent pour élever l'eau. Elles sont largement employées dans les pays développés : Etats-Unis, Australie et même dans le Midi de la France. Des éoliennes ont été installées au Mali, dans la région de Gao, de 1956 à 1961, sur des forages de 100 à 150 mètres avec un niveau statique de 40 à 60 mètres. Tant qu'elles ont été régulièrement entretenues, elles ont fonctionné de façon parfaite. A titre d'exemple, nous donnerons ci-après les résultats du pompage par l'une d'entre elles sur un forage de niveau statique à 43 m avec 4 m de rabattement, et refoulant dans un réservoir à 5 m au-dessus du sol, (hauteur manométrique 52 m).

6 janvier	31 m³/jour
15 mars	23,5 m³/jour
31 mars	13 m³/jour
1er avril	30 m³/jour
28 juin	15 m³/jour
30 décembre 25 janvier	19,3 m³/jour

En saison sèche, les éoliennes démarraient par vent de 3 m/s et tournaient de 7 à 11 heures puis de 16 à 20 heures, soit 8 heures en pompant 3,5 m³/h. En décembre-janvier, elles tournaient aussi la nuit. Par la suite, elles n'ont pas été entretenues et sont tombées progressivement en panne.

A Madagascar, nous avons utilisé une douzaine d'éoliennes qui, entretenues deux fois par an, fonctionnaient encore parfaitement après vingt ans d'usage.

Pour obtenir de bons résultats avec une pompe éolienne, il est nécessaire :

— de choisir un matériel robuste et éprouvé ;

– d'éviter les modèles à débit trop élevé (corps de pompe trop fort). En effet, le démarrage exige alors un vent plus puissant et ce que l'on gagne en débit, on le perd en temps de pompage. Cela peut être grave pendant les périodes de vents faibles ;
– de bien connaître la nappe, son niveau et ses variations, de manière à bien placer le corps de pompe ;
– de vérifier le bon fonctionnement permanent de la mise en drapeau en cas de tornade ;
– de ne pas vouloir pomper à de très grandes profondeurs car l'inertie du train de tiges consomme alors beaucoup d'énergie ;
– de prévoir un réservoir contenant au moins trois jours d'abreuvement en cas de période de temps calme ;
– de ne pas placer le pylone à la verticale du puits (dans le cas d'un puits-forage) afin de permettre le puisage direct au délou en cas de nécessité ;
– de désigner un responsable qui doit protéger la pompe du vol de boulons, de pièces, etc., et donner l'alerte en cas de panne.

• **Les pompes solaires**

Dans les régions sahélo-soudaniennes, l'ensoleillement annuel dépasse 3 000 heures. Pendant une heure d'ensoleillement la surface du sol reçoit une énergie de 700 Kcal par m^2. Cette énergie peut être utilisée, mais comme elle est discontinue, il convient de lui trouver des applications qui s'adaptent à cette discontinuité.

Le pompage de l'eau qui peut être accumulée dans un réservoir est une des applications possibles.

L'énergie solaire est reçue sur des capteurs plans inclinés dont la paroi ensoleillée est en verre et la paroi opposée en matériau isolant noir. Entre les deux, de l'eau s'échauffe et circule par thermosiphon, pour aller vaporiser un fluide dans un échangeur. La source froide est constituée par l'eau puisée. Le fluide vaporisé va se détendre dans un moteur puis il va se condenser à basse pression et à température réduite par l'eau pompée. Il y a donc un cycle de l'eau chauffée par le soleil et un cycle du fluide intermédiaire.

Ces pompes solaires, à la mise au point desquelles les universités de Dakar et de Niamey ont contribué, sont en essai. On trouvera, ci-après, leur schéma et les caractéristiques des installations actuelles qui peuvent fournir 10 à 20 m^3 par jour. Ce sont des débits compatibles avec l'exploitation de puits de qualité moyenne.

• **L'exhaure motorisée**

L'exhaure motorisée est obligatoire dans les forages. On choisit la plupart du temps des pompes à axe vertical de type multicellulaire, agissant de façon centrifuge, l'efficacité de la pompe étant proportionnelle au nombre de ses étages.

Par exemple, pour une pompe qui doit donner un débit de 50 m³/h sous une hauteur de refoulement de 100 m, il faudra, si la hauteur d'élévation par étage pour ce débit est de 12,50 m, $\frac{100}{12,5} = 8$ étages.

Et si le rendement des turbines est de 0,8 et celui de la transmission de 0,9, on peut calculer la puissance utile, puis la puissance au moteur :

Puissance utile ..... $\frac{50 \times 100}{270} = 18,5$ CV

Puissance au moteur ..... $\frac{18,5}{0,8 \times 0,9} = 25,7$ CV

D'où une puissance nominale au moteur :

$25,7 \times 1,3 = 33,4$ CV, arrondi à 35 CV.

On a aussi installé des pompes électriques immergées, le pompage électrique ayant pu paraître moins sujet aux pannes et permettant la suppression de la longue transmission mécanique. Cependant, ce système ne s'est pas imposé car il nécessite que le groupe moteur soit électrique, ce qui pose des petits problèmes particuliers pour un bon accouplement moteur-alternateur et exige l'installation d'une armoire électrique. On ne dispose pas fréquemment du personnel compétent pour un entretien à la fois mécanique et électrique.

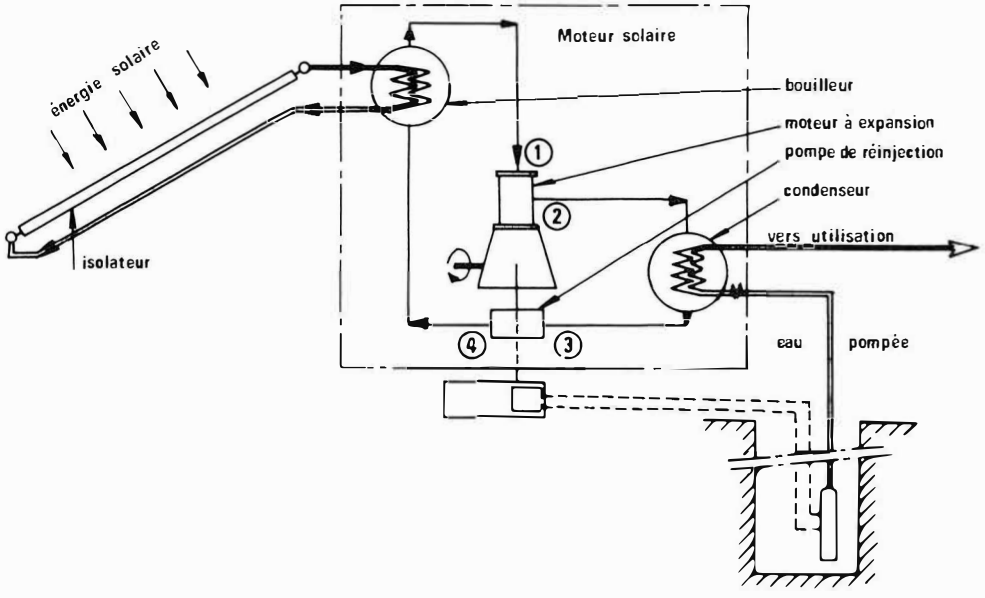
Les moteurs sont toujours des diesels à refroidissement par air. Pour les puissances de 20 à 30 CV on emploie surtout des bicylindres et de 30 à 50 CV des tricylindres qui ont la réputation d'être bien équilibrés.

Les moteurs de quatre ou six cylindres ne sont mis en place que lorsqu'il est nécessaire de disposer de très forts débits, ce qui n'est pas le cas des forages pastoraux. Plus le nombre de cylindres d'un moteur est élevé, plus son entretien est coûteux.

RÉFÉRENCES D'INSTALLATIONS À ÉNERGIE SOLAIRE

Localisation	Année d'installation	Surface du collecteur (m^2)	Débit (m^3/h)	Hauteur manométrique (m)	Durée de fonctionnement (h)
SÉNÉGAL - DAKAR Institut de physique météorologique	1968	88	6	25	5 à 6
HAUTE-VOLTA OUAGADOUGOU Ecole Inter-Etats d'ingénieurs de l'Equipement rural KOUPELA	1971 1975 1975	30 75 75	2 3-5 5	20 45 20	5 à 6 5 à 6 5 à 6
MAURITANIE - CHINGUETTI	1973	72	5	23	5 à 7
NIGER - BOSSEY-BANGOU (Niamey) Onersol (Office de l'énergie solaire)	1973	60	6-7	12	5 à 6
MALI - DIOILA	1975	80	3	30	6

LE POMPAGE DE L'EAU PAR L'ENERGIE SOLAIRE



CHAPITRE IV

LE COÛT DE L'EAU

Nous n'avons pas pu trouver de données suffisamment précises pour permettre l'évaluation du prix de l'eau obtenue dans les puits traditionnels. Le nombre de jours de travail nécessaire pour creuser ces puits est variable suivant les équipes, les terrains, et les profondeurs. Les chantiers sont souvent interrompus. Les débits obtenus sont très variables et la durée de vie des puits bien loin d'être constante. Aussi, n'évaluerons-nous pas le coût de l'eau dans ce cas.

1. Les puits modernes

- **L'investissement**

Nous nous fonderons sur un marché de 44 puits d'une profondeur moyenne de 70 m, réalisé au Niger en 1974. Le devis type s'établit ainsi :

	F CFA
Installation et repli de l'atelier	230 000
Fonçage et cuvelage de 0 à 30 m	1 480 000
de 30 à 50 m	1 220 000
de 50 à 70 m	1 530 000
Superstructure et abreuvoirs	400 000
Travail en régie	40 000
	4 900 000

Ces puits étant alimentés par un forage, il convient d'ajouter pour un puits normal un massif filtrant évalué à 500 000 F CFA. Ce qui donne un prix de 5 400 000 F CFA pour 70 m, soit 77 000 F

CFA le mètre linéaire. Actualisé à 1977 le coût du mètre linéaire est approximativement de 100 000 F CFA.

L'amortissement d'un puits doit se faire sur une période assez longue car, moyennant un entretien régulier, un puits peut durer plusieurs décennies. Une durée de trente ans nous paraît devoir normalement être retenue.

• **L'entretien**

L'entretien d'un puits peut nécessiter, après quelques années, un recreusement pour évacuer les sables qui ont pu se déposer et combler partiellement le fond du massif filtrant. Ensuite, il faut réparer les dégradations des installations de surface avant qu'elles ne soient trop graves. En pratique, une équipe d'entretien doit passer tous les trois ans. Les travaux sont en général modiques. Le coût de l'entretien est largement fonction des parcours que l'équipe doit faire avec son matériel pour se rendre à pied d'œuvre et en revenir.

L'OFEDES*, au Niger, enregistre des coûts d'entretien de 50 000 F CFA par an pour la zone agricole très accessible et de 150 000 F CFA pour la zone pastorale.

• **La production d'eau** d'un puits est rarement supérieure à 20 m³ par jour, pendant 200 jours de l'année, soit 4 000 m³/an.

On peut approcher le coût de l'eau suivant la région où se trouve le puits et selon sa profondeur :

Région	Agricole		Pastorale	
Profondeur (m)	30	60	30	60
Amortissement/an Entretien/an	100 000 50 000	200 000 50 000	100 000 150 000	200 000 150 000
Total coûts (FCFA) coût du m³ (FCFA)	150 000 37,5	250 000 62,5	250 000 62,5	350 000 87,5

L'exhaure étant faite par traction attelée, elle n'est pas comptée ici, car elle n'entraîne pas de coûts monétaires. Il ne faut pas oublier qu'elle représente néanmoins une charge supplémentaire.

* OFEDES : Office des eaux du sous-sol

2. Les forages

Nous écarterons de notre optique les forages puissants qui peuvent être utiles pour l'approvisionnement d'une agglomération, mais qui ne sont pas utiles dans l'hydraulique pastorale. Nous prendrons l'exemple du coût d'un forage de 250 mètres, tubé en 6 pouces 5/8 au Niger.

Forage	**F CFA**
Amené et repli de l'atelier	3 400 000
Forage de 0 à 200 m en terrain tendre	4 800 000
Forage de 200 à 250 m	1 400 000
Carottage mécanique et électrique	950 000
Approvisionnement en eau	250 000
Tubage en 6" 5/8	3 300 000
Crépine 6" 5/8 (50 m)	5 000 000
Cimentage du pied du tubage	300 000
Développement avec pompe	500 000
Heures de travail	50 000
	19 950 000
Equipement du forage	
Pompe 20 m³/h	2 000 000
Moteurs 25 CV	4 000 000
Vannes et compteur	500 000
	6 500 000
Superstructures	
Cabine de pompage en tôle	1 000 000
Cuve de fuel 3 000 l	500 000
Réservoir 300 m³	4 000 000
Six abreuvoirs à 150 000	900 000
Tuyauteries	100 000
	6 500 000

Si l'on amortit le forage et les superstructures sur 20 ans et l'équipement du forage sur 5 ans, l'amortissement annuel s'établit ainsi :

	F CFA
Forage	997 500
Superstructures	325 000
Equipements	1 300 000
	2 622 500

• **Fonctionnement**

Le moteur consomme 180 g de carburant par CV et par heure, soit un peu plus de 36 litres par jour si l'on pompe 8 heures avec 25 CV. A 70 F CFA le litre, le coût journalier est de 2 520 F CFA/jour pour 240 m³ de pompage (30 m³/h).

Si l'on pompe pendant 180 jours, le coût annuel du

carburant est de 2 520 × 180 =	453 600 F CFA
arrondi pour tenir compte de l'huile à	500 000 F CFA
salaire du responsable	250 000 F CFA
Total.....	750 000 F CFA

• **Entretien**

L'entretien des forages doit être très suivi. Il consiste à réviser les moteurs et la pompe, les vannes, les transmissions. Il faut aussi assurer l'entretien des superstructures : stockage de l'eau, distribution, abreuvoirs, robinetterie, etc.

Il nécessite une équipe avec camion, comportant un mécanicien et un aide-mécanicien ainsi qu'un chauffeur. Les pièces détachées, le coût du personnel, les déplacements et le véhicule coûtent en moyenne 3 000 000 F CFA par an. (Observations OFEDES au Niger.)

Si le pompage dure 180 jours par an, on tire annuellement 43 200 m³. Cela permet d'évaluer le coût de l'eau :

	F CFA
Amortissements annuels	2 622 500
Carburant et responsable du forage	750 000
Entretien	3 000 000
Total	6 372 500

$$\text{Coût du m}^3 \frac{6\,372\,500}{43\,200} = 147{,}50 \text{ F CFA}$$

Ce résultat correspond à un forage pastoral moyen. Pour un forage plus profond, on pourrait parvenir aux environs de 200 F CFA le m³. Mais si le forage est moins profond et si la hauteur manométrique de refoulement n'est que de 50 ou 60 mètres, on peut se rapprocher de 100 F CFA le m³.

Le coût de l'eau, pour l'abreuvement du bétail, obtenue par forage pastoral avec station de pompage, se révèle assez élevé. Cela est dû à plusieurs raisons :

– le débit du forage ne peut pas être trop élevé, car il ne pourrait pas être utilisé. Or le coût d'un forage augmente moins vite que son diamètre et que son débit. Un forage qui débite par an plusieurs centaines de milliers de mètres cubes d'eau peut la fournir à bien meilleur compte, cela d'autant plus que les charges d'entretien ne sont guère plus élevées pour un forage puissant que pour un forage moyen ;

– le forage ne fonctionne qu'une moitié de l'année et, pendant sa période d'activité, seulement quelques heures par jour. Cela concourt à diminuer le nombre de mètres cubes sur lesquels répartir les charges fixes.

3. Forage-puits

Dans le cas d'un forage-puits, on doit cumuler les coûts d 'un forage tubé et crépiné en 4 pouces et d'un puits de 60 m (en moyenne), soit approximativement :

	F CFA
Forage	20 000 000
Puits-citerne	6 000 000
	26 000 000

Cet investissement s'amortit sur 30 ans, soit, par an, 867 000 F CFA. L'entretien est le même que celui d'un puits de la zone sahélienne, soit 150 000 F CFA par an. A l'aide d'une exhaure attelée très active, on peut tirer 30 m³ par jour pendant 200 jours, soit 6 000 m³. Le coût de l'eau s'établit comme suit :

	F CFA
Amortissement des installations	867 000
Entretien annuel	150 000
Total	1 017 000

Soit par m³ $\frac{1\,017\,000}{6\,000} = 170$ F CFA

Ici encore, il faut tenir compte du travail d'exhaure qui n'a pas de coût monétaire. Le coût monétaire de l'eau fournie par un forage-puits est du même ordre de grandeur que celui de l'eau d'un forage avec station de pompage.

4. Conclusion

Lorsque la nappe n'est pas trop profonde, le puits est la solution la plus économique puisqu'elle fournit l'eau entre 35 et 100 F CFA suivant que l'on puise entre 20 et 70 mètres et suivant l'éloignement du puits.

L'exhaure attelée, traditionnelle chez les pasteurs est parfaitement adaptée à l'abreuvement des troupeaux. Elle ne connaît pas les pannes et n'engendre pas de coûts monétaires.

Lorsque la nappe est profonde, il est nécessaire de forer pour y remédier. Si le niveau statique se rapproche à 60 m de la surface (ou moins), on peut exploiter l'eau par un puits-citerne relié au forage. Compte tenu du débit limité, on peut se contenter d'un forage de faible diamètre et ainsi réduire le coût. Néanmoins, malgré l'exhaure attelée comme dans un simple puits, le coût de l'eau y est au moins deux fois plus élevé. Le forage-puits demeure cependant une solution qui demande peu d'entretien et répond à la tradition des pasteurs.

Le forage avec station de pompage mécanique conduit à un coût de l'eau comparable à celui du puits-forage. Mais les charges d'investissement par tête de bovin abreuvé y sont beaucoup plus légères (environ cinq fois moindres). En revanche, les coûts de carburant, de personnel, d'entretien sont beaucoup plus élevés et le risque de panne est toujours présent.

CHAPITRE V

LA QUALITÉ DE L'EAU

Les eaux que l'on fournit au bétail pour son abreuvement ne sont pas de qualité égale. Elles peuvent se montrer déficientes pour des raisons de composition chimique, lorsqu'elles sont chargées en sels minéraux. Mais plus fréquemment les eaux sont responsables de la transmission de maladies parasitaires qui provoquent des pertes économiques. Les grands rassemblements autour des points d'eau sont des facteurs de contagion des maladies épizootiques.

1. Minéralisation de l'eau

- **Généralités**

Pour l'abreuvement du bétail, toute eau qui contient moins de 0,5 g/l de minéraux peut être considérée comme peu minéralisée et parfaitement utilisable. Entre 0,5 et 2 g par litre, les eaux sont salines et le troupeau doit y être habitué. Des problèmes peuvent se poser lors des transhumances lorsque des animaux abreuvés précédemment à une eau pure vont devoir consommer une eau saline. Des désordres digestifs surviennent fréquemment.

Au plan de la composition chimique, les eaux bicarbonatées sodiques, douces, sont parfaitement bues par le bétail. Les eaux carbonatées sodiques (natronées) peuvent provoquer des diarrhées au-dessus d'une concentration de 2 g/litre. Il en est de même des eaux sulfatées sodiques qui, en plus, ont une mauvaise odeur sulfureuse capable d'éloigner le bétail au-dessus de 4 g par litre. Les eaux carbonatées calciques sont plus dangereuses pour les installations que pour le bétail.

Le carbonate de calcium se dissout en présence de gaz carbonique, ce qui est souvent le cas dans les nappes sous pression. Au pompage, le gaz carbonique se dégage dans l'atmosphère ; le carbonate s'insolubilise et se dépose sur les parois des crépines, du tubage, des tuyaux en provoquant l'entartrage des installations, ce qui contribue largement à diminuer leur durée de vie.

- **Le bassin sénégalo-mauritanien**

Les nappes phréatiques

La nappe du continental terminal, au Sénégal, est en général peu minéralisée. En Casamance, elle peut contenir 0,5 g/l de minéraux, mais en bordure du Sine Saloum, elle devient salée ou même carrément saumâtre pour atteindre jusqu'à 40 g/l.

La nappe phréatique des terrains tertiaires est très irrégulière. Parfois bonne, elle peut contenir jusqu'à 5 g/l ou plus. Vers le fleuve, les nappes phréatiques sont en général salées, notamment dans la région du Ferlo.

En Mauritanie, les nappes phréatiques des recouvrements sableux sont de bonne qualité.

Les nappes des deltas du Sénégal, du Saloum, de la Casamance, subissent l'influence de la mer et l'on peut y trouver jusqu'à plus de 50 g/l de minéraux.

Il en est de même de la nappe phréatique qui, en Mauritanie, longe l'Océan.

La nappe profonde du Maëstrichtien

Au Sénégal, la nappe est pratiquement partout très peu minéralisée, à moins de 0,5 g/l. C'est pourquoi elle est très exploitée pour le bétail et pour l'urbanisation.

En se rapprochant du fleuve, on enregistre des salures croissantes (près de 20 g/l à Richard Toll).

La connaissance du Maëstrichtien, en Mauritanie, s'est limitée à quelques points qui ont montré une irrégularité assez grande.

- **Au Mali**

La nappe phréatique de la région de Ségou est très peu minéralisée puisqu'elle contient moins de 0,1 g/l.

La nappe du Gondo est aussi très peu minéralisée et d'excellente qualité.

Les nappes de l'Azaouad sont en général bonnes sauf dans le nord où elles peuvent atteindre 5 g/l. Elles se poursuivent dans le détroit soudanais (région de Gao) avec une excellente qualité.

• **Les nappes du Niger**

La nappe phréatique du Niger occidental est en général excellente, avec moins de 0,3 g/l sauf dans les Dallols où elle est cependant acceptable (0,5 à 0,8 g/l).

La nappe moyenne profonde peut contenir jusqu'à près de 1 g/l près du fleuve (région de Dosso) alors que plus au nord vers Dogondoutchi, elle est bonne (moins de 0,2 g/l).

Le continental intercalaire donne des eaux chargées (1,8 g/l) à Dosso et acceptables (0,5 g/l) ailleurs.

La nappe des grès d'Agadès est acceptable au pied de l'Aïr (moins de 1 g/l) mais elle devient très salée vers l'ouest (jusqu'à 32 g/l à Tidekelt).

La nappe profonde du pliocène inférieur, artésienne dans la région de Diffa, est assez fortement minéralisée au sud au voisinage du Nigeria (1,2 g/l) mais sa salinité diminue régulièrement vers le nord (0,2 g/l aux approches du Manga).

• **Au Tchad**

La nappe phréatique du Kanem est faiblement bicarbonatée sodique, dans sa plus grande étendue, et excellente. Au voisinage du lac Tchad, elle devient carbonatée sodique (natron) et capable de provoquer des troubles digestifs chez les animaux du centre Kanem qui s'approchent du lac.

Aux confins du Kanem et du Batha, elle est sulfatée et, en certains points, elle atteint 6 g/l. Elle est alors pratiquement imbuvable.

La nappe du continental terminal est alimentée par les eaux douces du Chari et du Logone. Très légèrement bicarbonatée calcique, et d'excellente qualité. Cette situation se poursuit au Batha. Mais on a peu de renseignements sur les eaux profondes au Ouaddaï.

2. La maladie des forages

A partir de 1959, le botulisme, maladie bactérienne mortelle en raison de la très puissante toxine de *Clostridium botulinum,* se mit à faire des ravages dans les élevages du Ferlo, où l'équipement d'hydraulique pastorale avait été réalisé dès 1948 par un réseau de forages. Les mortalités atteignaient 13 p. 100 de l'effectif, ce qui est tout à fait exceptionnel pour le botulisme qui, normalement, n'intervient que sous la forme de petits foyers. Mais là, très régulièrement, on voyait dans les troupeaux un animal « traîner la patte », suivre de

loin le troupeau, cesser de manger, puis se coucher, atteint par une paralysie du pharynx et de la langue empêchant la déglutition. La mort survenait régulièrement.

Il fut démontré que l'origine de l'épizootie se trouvait dans de petits rongeurs. Mais cela n'expliquait pas l'extension de la maladie sous forme épizootique. On s'aperçut que les animaux présentaient des signes de carence minérale : dépravation du goût, pica et qu'ils se mettaient à consommer les squelettes de leurs congénères morts (on n'enterre pas les cadavres). Comme le bacille du botulisme est sporulé, il résiste longtemps ; c'est ainsi que par la consommation de débris cadavériques, l'épizootie botulinique put prendre une telle extension.

Mais pourquoi cette altération du comportement alimentaire ? On sait que les pâturages sahéliens, en fin de saison sèche, sont insuffisants en phosphore. Mais, normalement, il ne s'ensuit pas une carence grave. La consommation d'eau des forages intervenait alors comme facteur aggravant.

Si l'eau de surface contient de petites quantités de phosphore, celle de la nappe profonde de Maëstrichtien en est quasiment dépourvue. Et les animaux se trouvaient dès lors dans un état de carence tel qu'il entraînait la nécrophagie qui, secondairement, généralisait le botulisme.

Les distributions de phosphates, au moins pendant la période critique de l'année, ont permis de maîtriser la situation et d'améliorer le niveau général de l'état de santé des troupeaux.

3. Les maladies parasitaires

Le milieu humide favorise les parasitismes car il permet la prolifération d'hôtes intermédiaires, tels que les mollusques et les insectes piqueurs. Il permet aussi la survie et l'évolution des œufs de parasites qui, moyennant une certaine chaleur, peuvent y évoluer jusqu'au stade infestant et ainsi atteindre un grand nombre d'animaux.

- **Les nématodoses** (provoquées par les vers ronds)

Les plus importantes sont les *strongyloses* causées par plusieurs espèces de strongles. Ces parasites, de petites dimensions, sont aussi caractérisés par un cycle biologique court, sans hôte intermédiaire.

Les animaux parasités émettent, dans la nature, par leurs fécès, des œufs en grand nombre. S'ils sont émis en terrain sec, ils vont

subir l'action du soleil et, sous une température au sol qui peut facilement atteindre 50 °C, ils vont rapidement se dessécher et mourir. En revanche, en milieu humide, en bordure d'une mare pérenne ou temporaire, sur la berge d'un fleuve ou auprès d'un puits mal entretenu, ils vont pouvoir s'incorporer à la boue et y évoluer dans les meilleures condtions. Les animaux se contamineront facilement en buvant l'eau des flaques.

Les strongyloses provoquent de l'entérite et par conséquent des désordres digestifs : constipation et diarrhée. Ils diminuent l'appétit, gênent la digestion et entraînent un amaigrissement. L'infestation est d'autant plus grave que l'animal est déjà affaibli par la malnutrition.

Au Sahel, les strongyloses sont des maladies de saison des pluies, car toutes les mares, même les plus petites, deviennent des points de multiplication de l'infestation. Dès que la saison sèche vient, ces mares s'assèchent, les animaux vont être abreuvés aux puits et l'incidence des strongyloses diminue de façon spectaculaire. Au contraire, dans les régions plus arrosées où des mares pérennes et des cours d'eau persistent, les strongyloses se maintiennent à un niveau élevé toute l'année.

L'*ascaridose* du veau est aussi une helminthiase grave pendant les trois premiers mois de la vie. Les œufs d'ascaride demandent une maturation d'au moins 18 jours dans un milieu humide, après quoi ils deviennent infestants. L'ascaridose est une parasitose fréquente autour des points d'eau. Elle contribue à affaiblir les veaux et participe, avec d'autres causes, à leur mortalité qui est toujours trop élevée (30 p. 100).

Lutte contre les nématodes

Les moyens de lutte contre les nématodes ont fait au cours des dernières années des progrès considérables, grâce à l'efficacité des produits que la pharmacopée a mis à la disposition des vétérinaires.

Les sels de pipérazine : adipate, hydrate, citrate, etc. sont très actifs contre l'ascaridose et trouvent leur application sur le jeune veau âgé d'un mois, fréquemment infesté par les ascarides. Ce sont des vermifuges bon marché et peu toxiques, malheureusement peu actifs contre les strongles. Ils s'administrent par la bouche.

Le tétramisole, dérivé de l'imidazole, est très actif contre les strongles et, à dose suffisante, il atteint aussi les ascarides. Sui-

vant les spécialités dans lesquelles il est présenté, le tétramisole est administré per os ou en injections. Il est bien toléré.

Le thiabendazole, autre dérivé de l'imidazole, possède une activité très comparable à celle du tétramisole, mais il est actif contre les bronchites vermineuses des petits ruminants. Il s'élimine très vite de l'organisme et son coefficient thérapeutique élevé permet de l'utiliser sans problèmes.

Le pyrantel est un dérivé de la pyrimidine et se révèle actif également contre les strongles et les ascarides. Peu toxique, il s'administre per os.

La lutte contre les nématodes, en région sahélienne, peut être efficace à l'aide d'une vermifugation annuelle en saison des pluies. En région plus humide, plusieurs interventions seront nécessaires, ce qui augmente le coût de l'opération.

- **Les trématodoses**

Les trématodes sont des vers plats non segmentés qui ont un cycle biologique comportant un hôte intermédiaire, gastéropode pulmoné. Ces gastéropodes sont le plus souvent aquicoles.

Au premier plan des trématodes pathogènes, il faut placer la *douve géante (Fasciola gigantica),* parasite des canaux biliaires. Viennent ensuite les parasites de la panse, qui se fixent en plages serrées autour du cardia et qui prélèvent du sang. Parmi eux, les paramphistomes *(Paramphistomum microbothrium)* et les Carmyerius *(Carmyerius dollfusi).*

Les relations hôte intermédiaire-parasite s'établissent comme suit :

Hôte	Parasite
Limnea natalensis	*Fasciola gigantica*
Bulinus jousseaumi	*Paramphistomum microbothrium*
Bulinus truncatus rohlfsi	*Paramphistomum microbothrium*
Bulinus forskalii	*Paramphistomum microbothrium*
	Carmyerius dollfusi

Les mollusques sont très abondants dans les mares pérennes. Ils trouvent à la périphérie de la mare un biotope qui leur convient, là où sous 50 cm d'eau une végétation aquatique et une accumulation de matière organique permettent leur multiplication.

La mise au sec pendant un mois entraîne leur mort. Aussi, les mares temporaires n'hébergent-elles pas de mollusques et ne peuvent-elles pas jouer un rôle dans la transmission des trématodoses. Cependant, dans les mares subpérennes qui s'appuient sur une nappe proche de la surface, les mollusques peuvent s'enfoncer dans le sol jusqu'à ce qu'ils trouvent l'humidité qui leur permettra de subsister.

Dans les fleuves, le nombre des mollusques est plus faible, car les variations du niveau de l'eau, très grandes, ne permettent pas aussi facilement la constitution du biotope favorable.

Ils sont une source d'infestation importante par ses dimensions, mais moins dense.

Les études de populations de mollusques montrent qu'apparemment absents pendant toutes les pluies et les mois qui leur succèdent, ils commencent à reparaître en octobre-novembre. Leur nombre est maximal en janvier et février.

A partir de la mi-avril, il décroît rapidement avec la baisse des plans d'eau et la disparition de la végétation aquatique.

La fasciolose est la plus grave de toutes les trématodoses.

Les limnées émettent dans l'eau des larves de douves appelées cercaires qui ne tardent pas à se fixer sur les brins d'herbe aquatique et à s'enkyster. C'est là que les bovins et ovins viendront les ingérer et s'infester. Dans le tube digestif, les kystes évoluent, traversent la paroi intestinale, la cavité péritonéale, le foie et vont finalement se loger dans un canal biliaire où elles vont donner les formes adultes.

Ces adultes vont pondre des œufs éliminés avec la bile puis les fécès. Dans l'eau, ils s'embryonnent et donnent un animalcule, le miracidium, qui va infester une limnée et s'y multiplier pour donner des centaines de cercaires. Le cycle est bouclé.

La fasciolose provoque de graves troubles hépatiques et cholécystiques. Ils sont proportionnels à l'intensité de l'infestation. Quelques douves n'ont de conséquence pathologique que sur les animaux affaiblis par une nourriture insuffisante (ce qui est malheureusement le cas après les infestations de février-mars). Les infestations massives entraînent sur tous les animaux un amaigrissement et peuvent incontestablement provoquer des mortalités.

Les trématodoses de la panse sont moins bruyantes au plan de la symptomatologie et n'entraînent pas la mort des animaux para-

sités. Cependant, la masse parasitaire peut être si importante qu'elle provoque une prédation alimentaire non négligeable, compliquée d'une prédation sanguine par les espèces hématophages.

Lutte contre les trématodoses

Traitement des malades. Le traitement des animaux atteints de fasciolose permet de couper le cycle parasitaire au niveau de l'hôte définitif qui est débarrassé de ses douves adultes et, par conséquent, n'émet plus d'œufs à l'extérieur. Parmi les médicaments efficaces nous pouvons citer :

— *le Bitin S* organochloré, très efficace sur les douves qui ont atteint le foie, se montre également actif sur les œsophagostomes et les moniezia. Il s'administre par la bouche ;

— *le rafoxanide,* dérivé de la salicylanilide, est également très actif contre les douves hépatiques. Il s'administre aussi par la bouche. Il est peu efficace contre d'autres espèces parasites ;

— *le Nitroxynil,* dérivé du benzo nitrile, actif contre les douves hépatiques, mais peu efficace contre les autres parasites, est utilisé en injection ; il demande un dosage assez précis, car il peut se révéler toxique si l'on dépasse trop nettement les doses thérapeutiques.

Les divers fasciolicides n'atteignent pas les larves migrantes et les traitements doivent être répétés pour arriver à débarrasser les animaux de leurs parasites et les ramener à la santé.

La destruction des mollusques

— *Destruction du biotope.* Nous avons dit que les mollusques vecteurs, et notamment les limnées, vivent et se multiplient en bordure des plans d'eau permanents, où une flore aquatique se développe. On peut limiter la formation de ce biotope, au moins dans les plans d'eau de petites dimensions, par ratissage des herbes proches des berges. Dans les plans d'eau nouveaux (barrages collinaires), cette flore met deux ou trois ans à s'installer. On peut gêner son installation si l'on fait varier le niveau de l'eau de 1 mètre environ, à plusieurs reprises en saison des pluies.

Le biotope sera aussi détruit si le plan d'eau peut être totalement asséché un mois durant, ce qui a pour effet d'entraîner la mort des mollusques. Mais ce n'est pas toujours possible.

—*Lutte biologique.* On peut utiliser des animaux jouant un rôle prédateur des vecteurs. Sur de petits bassins, on peut utiliser les canards qui mangent beaucoup de mollusques. Mais sur les

grands plans d'eau, il faut seulement faire confiance aux oiseaux sauvages.

Certains poissons peuvent se montrer malacophages. C'est le cas de certains tilapia qui mangent les petites limnées, les petits bulins, etc.

On a recherché des mollusques concurrents, non vecteurs de maladies. Mais on n'a pas mis au point de méthode de lutte biologique qui soit généralement efficace.

– *Destruction par les molluscicides.* Des produits chimiques divers peuvent détruire les mollusques. Certains sont à toxicité dite générale, atteignant les invertébrés et les poissons mais non l'homme et les mammifères. Le Pentachorophenol et le Baylucide sont dans ce cas. D'autres produits sont exclusivement molluscicides : les sels de cuivre, le tributylétain, le Frescon.

Les molluscicides sont actifs dans les eaux stagnantes (mares, retenues de barrage) où la concentration en produit actif se maintient assez longtemps. En revanche, dans les cours d'eau, même de courant faible, le molluscicide est rapidement dilué et entraîné.

Il n'existe donc pas de moyen de lutte infaillible. Mais l'association de traitements et de la destruction des mollusques parvient à abaisser le niveau de la fasciolose à un niveau où elle ne constitue plus un problème grave.

On doit souligner qu'en régions sahéliennes, les trématodoses ne sont possibles qu'auprès des fleuves, des lacs ou des mares permanentes.

En revanche, elles sont plus courantes en régions soudaniennes où les eaux permanentes sont plus fréquentes.

4. Maladies contagieuses

Les rassemblements de bétail, d'autant plus importants que le point d'eau est plus puissant, sont l'occasion de contacts étroits, au cours desquels les micro-organismes pathogènes peuvent contaminer de nombreux animaux.

Les maladies les plus redoutables sont la péripneumonie et la peste bovine, la pasteurellose, les charbons.

Contre toutes ces maladies, il est facile de lutter par les vaccinations annuelles. D'ailleurs la peste bovine a déjà disparu de la plupart des Etats sahéliens.

CHAPITRE VI

LE BÉTAIL ET L'EAU

Le bétail a besoin d'eau pour se maintenir en vie, car elle est le composant majeur de l'organisme animal puisqu'il en contient en proportion de 65 à 70 p. 100 de son poids.

1. Les formes de l'eau dans l'organisme

• L'eau de dissolution

Toute la biochimie, dans l'organisme, se fait en milieu aqueux. Au niveau digestif, les enzymes attaquent les aliments dans un milieu riche en eau et les produits de leur dégradation doivent être dissous ou très finement émulsionnés pour être assimilés par la paroi intestinale.

Le sang ne transporte les nutriments que sous forme soluble, même les grosses molécules protéiques telles que les globulines.

L'élimination au niveau du rein met en œuvre des mécanismes de filtration, de résorption de substances toujours en solution.

A l'échelle intracellulaire, les réactions enzymatiques du métabolisme ne se font aussi qu'en milieu aqueux.

• L'eau liée

La matière vivante est composée de macromolécules auxquelles l'eau est intimement liée : si intimement qu'elle est inextractible par l'alcool. A titre d'exemple, une molécule de lipoprotéine est liée à 44 000 molécules d'eau.

Si l'eau de dissolution se mobilise facilement, l'eau liée, au contraire, reste constante.

On peut encore distinguer l'eau suivant sa localisation qu'on définit en compartiments :

– le compartiment intracellulaire (60 p. 100 de l'eau de l'organisme),
– le compartiment extracellulaire qui se divise en un secteur plasmatique (8 p. 100 de l'eau) et un secteur intersticiel (32 p. 100 de l'eau).

2. L'eau et la thermolyse

Dans une ambiance chaude, ce qui est le cas en régions tropicales, l'animal doit lutter contre la chaleur et dissiper des calories ; il le fait très partiellement en émettant des radiations au niveau de sa peau. Le mécanisme thermorégulateur principal emprunte la voie de l'évaporation de l'eau. Cette dernière peut se faire au niveau de la peau et au niveau de l'appareil respiratoire.

La thermolyse cutanée est d'autant plus active que l'animal a plus de glandes sudoripares. La thermolyse respiratoire est plus active si l'animal peut accroître le rythme de sa respiration par un mécanisme de polypnée thermique. Le tableau ci-après montre que le mouton et le zébu n'empruntent pas les mêmes mécanismes. Le zébu utilise prioritairement la voie cutanée, le mouton la voie respiratoire.

	Mouton	Bovin
Densité de glandes sudoripares (n/m²)	280	800-1 500
Volume d'une glande $\frac{(nm^3)}{1\,000}$	1-8	6-15
Sécrétion sudoripare max. (g/m²/h)	32	230
Evaporation par polypnée max. (g/m²/h)	95	41
Fréquence max. de polypnée	300-400	90-150
Evaporation par sudation Evaporation par polypnée	0,2	4
Refroidissement maximal total par évaporation (Kcal/m²/h)	74	155

L'eau vaporisée doit être renouvelée dans l'organisme par un abreuvement supplémentaire

3. Résistance des animaux à la privation d'eau

• Pertes de poids en privation d'eau

La privation d'eau à une température diurne de 40 °C et nocturne de 25 °C a été suivie expérimentalement avec des zébus, des moutons mérinos et des chameaux (dromadaires).

Après 24 heures, les zébus perdent 10 p. 100 de leur poids, les moutons 8 p. 100, les chameaux 4 p. 100. Les jours suivants, les pertes sont moins fortes : 6 p. 100 chez les zébus, 4 p. 100 chez les moutons, 2 p. 100 chez les chameaux.

La privation d'eau s'accompagne d'une perte d'appétit, même lorsque l'animal dispose de nourriture. Le bovin cesse de manger le deuxième ou troisième jour sans eau. Le mouton, généralement, le troisième jour, le chameau le quatrième ou le cinquième.

- **Résistance à la privation d'eau**

Au cours d'une période de privation d'eau, la mort va survenir lorsque l'animal a perdu 25 p. 100 de son poids environ (parfois jusqu'à 30 p. 100) :

- pour le bovin, cela se situe entre 3 et 5 jours
- pour le mouton, entre 6 et 10 jours
- pour le chameau, après 15 jours

} à températures diurnes de 40 °C

- **Mécanismes d'économie de l'eau**

Rétention tissulaire de l'eau

Tous les ruminants utilisent leur rumen comme réservoir d'eau. Cette réserve peut atteindre 15 p. 100 du poids vif aussi bien chez les bovins que chez les moutons et les chameaux.

En revanche, des différences importantes apparaissent quant aux possibilités de mise en réserve dans les tissus conjonctifs.

L'abreuvement d'animaux ayant été privés d'eau de façon extrême permet d'observer que, en quelques minutes :

- un mouton boit de 6 à 8 litres et récupère ainsi 70 p. 100 de ses pertes,
- un zébu boit 40 litres et récupère ainsi 84 p. 100 de ses pertes,
- un chameau boit 80 litres et récupère ainsi 60 p. 100 de ses pertes.

Puis l'animal se met au repos et après quelques heures, il s'abreuvera pour achever sa remise en équilibre.

Au niveau des équilibres plasmatiques, c'est le bovin qui arrive le premier, après 4 heures, tandis que le chameau et le mouton n'atteignent ce stade qu'en 18 à 24 heures. Une conséquence : le zébu urine 3 à 4 heures après avoir bu et reperd rapidement une partie de l'eau.

Le mouton et le chameau, au contraire, n'urineront pas avant le lendemain, ou avant la nuit si l'abreuvement a été fait tôt le

matin. L'eau est retenue dans les tissus conjonctifs et relâchée dans la circulation de façon progressive.

Economie des pertes d'eau

— *Economie des pertes urinaires.* L'animal privé d'eau peut l'économiser en la réabsorbant au niveau des reins. L'eau ayant filtré dans les glomérules de Malpighi est reprise au niveau des anses de Henlé. Les bovins ont des anses de Henlé courtes tandis que chez le chameau et le mouton elles sont longues, ce qui donne une médulla plus épaisse par rapport au cortex rénal.

La sécrétion urinaire peut être réduite à moins de 1 p. 100 de poids, par jour, par le chameau (3 litres pour un chameau de 400 kg), à 1,5 p. 100 du poids, par jour, par le mouton (0,4 l pour un mouton de 30 kg). En revanche, un zébu de 300 kg ne peut diminuer sa sécrétion urinaire au-dessous de 7,5 l par jour, soit au moins 2,5 p. 100 du poids vif.

Les débits urinaires sont les suivants selon que l'animal est abreuvé ou privé d'eau :

	Chameau (400 kg)	Mouton (30 kg)	Zébu (300 kg)
• Abreuvé (ml/mn)	8	2	30
• Privé d'eau (ml/mn)	2	0,3	5

Cela entraîne une concentration de l'urine qui, en osmoles par litre, est de :

Chameau 3,8
Mouton 3,1
Bovin 2,6

— *Economie de pertes fécales.* Les fécès d'un animal abreuvé sont très humides. Lorsqu'il est privé de boisson, la réabsorption de l'eau dans le colon est plus forte et les fécès sont plus sèches. Mais cette capacité n'est pas égale avec les espèces :

	Humidité (p. 100)
Chameau	38
Mouton	45
Zébu	60

— *« Water Turn over »* (Renouvellement métabolique de l'eau). Le renouvellement de l'eau de l'organisme reflète ces mécanismes d'économie. Le tableau ci-après résume quelques résultats.

Espèces	Latitude	Température maximale	Water Turn over	
			ml/kg/ 24 h	0,82 (1) ml/kg 24 h
Mouton Mérinos	21°	43 °C	125	235
Mouton Mérinos	2°	35 °C	95	182
Chameau	3°	37 °C	61	188
Zébu Boran	3°	37 °C	135	347
Shorthorn	24°	40 °C	220	612

(1) Par kilo de poids métabolique

4. Comportement des bovins selon le rythme d'abreuvement

Des observations faites au Niger ont permis de préciser le comportement des animaux selon qu'ils sont abreuvés une fois par jour ou tous les deux jours. Les observations ont été faites sur deux troupeaux comparables, les campements de leurs éleveurs étant installés à environ 10 km du point d'eau.

- **Abreuvement quotidien**

Le pâturage a lieu à la fois de jour comme de nuit. Une partie importante de la journée est consacrée au déplacement. Par conséquent, le temps de pâturage diurne est limité et le pâturage nocturne tendrait à être plus long.

Le troupeau parcourt de 20 à 24 km par jour pour aller et revenir du point d'eau au campement, 6 km pour aller du campement au pâturage (et retour). Il faut y ajouter les déplacements en cours de pâture, importants car les pailles sont rares. Au total, les animaux parcourent de 35 à 40 km par jour, ce qui représente une dépense d'énergie considérable.

Les temps de rumination sont insuffisants.

L'emploi du temps quotidien s'établit comme suit :

Pâturage ..... 6 h 30
Marche ..... 8 h 30
Rumination ..... 3 h 30
Repos ..... 5 h 20
Abreuvement ..... 0 h 10

- **Abreuvement tous les deux jours**

Le pâturage diurne devient, au total, plus important que le pâtu-

rage nocturne et le temps de pâture est nettement supérieur à celui du troupeau qui s'abreuve tous les jours.

Le temps de rumination est nettement allongé, ce qui facilite la digestion des pailles.

N'allant au point d'eau que tous les deux jours, le parcours n'est que de 45 km, soit 22,5 km par jour, nettement plus faible que pour l'abreuvement quotidien. Les animaux, moins fatigués, marchant un peu plus vite, le temps de marche est pratiquement réduit de moitié.

L'abreuvement se fait en deux fois. Après une première prise d'eau les animaux vont se coucher quelques instants pendant lesquels l'eau va diffuser de leur tube digestif vers les divers « compartiments » de l'organisme. Puis ils viennent boire une seconde fois avant de repartir vers le pâturage.

L'emploi du temps s'établit comme suit :

	Premier jour	Deuxième jour	Moyenne
Pâturage	6 h 40	9 h	7 h 50
Marche	7 h	2 h	4 h 30
Rumination	4 h 50	5 h 40	5 h 15
Repos	5 h 20	7 h 20	6 h 20
Abreuvement	0 h 10	0	0 h 5

- **Comparaison**

L'observation des deux troupeaux permet de constater, en fin de saison sèche, que celui qui s'abreuve tous les deux jours est en bien meilleur état que celui qui vient au point d'eau tous les jours. L'allongement des temps de pâturage et de rumination, l'économie d'énergie de déplacement sont des facteurs dont le rôle positif dépasse l'action négative de la privation d'eau un jour sur deux. Les mécanismes d'économie de l'eau sont mis en jeu par l'animal et permettent, au niveau d'un abreuvement tous les deux jours, une physiologie à peu près normale.

Afin de mieux utiliser les pâturages éloignés du point d'eau, l'abreuvement tous les deux jours est une pratique recommandable.

5. Les besoins en eau

Les besoins en eau du bétail varient en fonction des conditions de température et d'humidité de l'environnement. Plus il fait

chaud et sec, plus ils sont élevés. Ils dépendent aussi de l'apport hydrique alimentaire. L'herbe, pendant sa période de croissance, contient jusqu'à 80 p. 100 d'eau. Puis, progressivement, ce taux s'abaisse. Les pailles ne contiennent plus que de 10 à 15 p. 100 d'eau.

On peut considérer les trois saisons principales de l'année sahélo-soudanienne.

	Température	Humidité atmosphérique	Humidité des aliments	Besoins en eau
Saison des pluies (juil. oct.)	élevée	élevée	élevée	faibles
Saison fraîche (nov.-février)	modérée	sèche	faible	modérés
Saison chaude (mars-juin)	très élevée	très sèche	très faible	très importants

- **Besoins quotidiens en eau des diverses espèces**

	Saison des pluies	Saison fraîche	Saison chaude
Bovin moyen (250 kg)	10 l	20 l	30 l
Chameau (400 kg	15 l	25 l	40 l
Petit ruminant (30 kg)	2 l	3 l	5 l

Il faut majorer de 10 à 20 p. 100 ces chiffres pour les femelles laitières et selon leur niveau de lactation.

- **Abreuvement non quotidien**

Le bovin abreuvé tous les deux jours consomme, à chaque abreuvement, environ 40 litres d'eau (toujours pour un zébu moyen de 250 kg) et le petit ruminant 7 litres.

Le chameau, abreuvé tous les trois jours, boit de 60 à 70 litres. La consommation la plus élevée, enregistrée sur un chameau privé d'eau depuis 8 jours, est de 102 litres. Mais dans ces conditions, la moyenne est de 85 litres.

CHAPITRE VII

ÉVALUATION DES PÂTURAGES

La création d'un point d'eau n'a de sens que s'il permet l'exploitation par le bétail de pâturages environnants, pendant une importante partie de l'année. C'est pourquoi l'évaluation des pâturages fait partie intégrante de toute étude d'hydraulique pastorale.

1. Etude qualitative des pâturages

Pour définir la qualité d'un pâturage, il faut en donner une description la plus complète possible.

• Physionomie de la végétation

La steppe subdésertique qui se situe au nord de l'isohyète 300 mm est formée de plantes basses herbacées, parmi lesquelles les graminées vivaces s'installent en touffes espacées les unes des autres ; entre elles, les graminées annuelles, petites, à cycle court, forment un tapis de durée extrêmement brève, qui laisse le sol nu presque toute l'année. Les arbustes sont petits et très disséminés.

La steppe herbeuse à fourrés se rencontre dans la zone qui borde la précédente au sud. La végétation y est constituée d'un tapis graminéen où dominent nettement des annuelles à développement plus important (60 cm) et à cycle plus long, qui laissent un tapis de pailles fines en saison sèche. Les arbustes sont fréquents et développés, formant dans les dépressions des groupements serrés.

Ces arbustes à feuilles décidues se recouvrent de feuilles dès le mois d'avril, alors que le tapis graminéen est défaillant.

La savane arbustive se situe aux confins du Sahel et du Soudan. Elle se caractérise par un tapis graminéen continu, d'au moins 80 cm de haut, où les pérennes deviennent prédominantes. Leurs pailles dressées résistent à la saison sèche et on entre dans la zone où les feux sont fréquemment allumés pour s'en débarrasser à l'approche des pluies.

La savane boisée est composée de graminées pérennes de grande taille en touffes érigées, parmi lesquelles de grands arbres forment un couvert très clair. Elle se situe vers l'isohyète 800 mm, à la limite de la zone que nous envisageons. On entre dans les régions de culture du sorgho.

- **Phytosociologie des pâturages**

La définition des pâturages exige la connaissance précise des groupements végétaux et particulièrement du tapis graminéen. Cette connaissance ne peut être acquise que par le travail de pastoralistes sur le terrain.

Identification des espèces

Il convient tout d'abord d'identifier les espèces qui composent le pâturage, pour plusieurs raisons :

– d'abord elles ne sont pas également consommées par le bétail. Les graminées dures sont moins appréciées que les graminées tendres, les plantes sucrées sont préférées à celles qui sont amères. Certaines plantes non consommées pendant les pluies le sont une fois sèches. Enfin, les chameaux consomment des espèces non mangées par les autres ruminants et les chèvres sont particulièrement friandes d'arbustes ;

– ensuite, les diverses espèces n'ont pas la même valeur alimentaire et cette valeur se conserve plus ou moins bien avec les saisons. Les petites annuelles disparaissent très tôt, les grandes annuelles laissent des pailles jusqu'en saison chaude tandis que celles des pérennes, lignifiées, subsistent, mais deviennent assez rapidement inconsommables après la maturité des graines ;

– enfin, la densité des arbustes fourragers est un élément fondamental de la qualité du pâturage en fin de saison sèche.

Abondance et recouvrement

Il faut ensuite évaluer l'abondance de chaque espèce et l'espace qu'elle recouvre. C'est le but du relevé qui n'est autre qu'un dénombrement sur une surface déterminée. Il conduit à classer les espèces selon la notation suivante :

+) espèce à l'état d'individus isolés (abondance et recouvrement très faibles) ;
1) espèce comportant des individus abondants mais à faible recouvrement ;
2) espèce comportant des individus abondants dont le recouvrement est voisin de 5 p. 100 ;
3) espèce dont le recouvrement peut atteindre le tiers du relevé ;
4) espèce dont le recouvrement occupe entre 1/3 et 2/3 du relevé ;
5) espèce qui recouvre plus des 2/3 du relevé.

Des notations complémentaires peuvent donner des indications sur la sociabilité ou sur des affinités pour des stations particulières, mais cela est secondaire.

Les observations sur le terrain permettent d'établir un *tableau phytosociologique*. Pour l'évaluation, à un instant donné, d'un pâturage, seules les espèces classées 3, 4, 5 sont utiles. En revanche, les espèces moins abondantes (classées +, 1, 2) sont intéressantes losqu'on étudie le dynamisme d'un pâturage, car des facteurs tels que la sécheresse, une série d'années humides, le surpâturage, la mise au repos peuvent faire notablement évoluer sa composition.

Quelques types principaux de pâturages peuvent être caractérisés par leurs espèces herbacées et leurs arbustes dominants, en fonction de la pluviosité et des sols (Voir p. 80).

Mais ces types de base connaissent de nombreux intermédiaires. Ils sont étroitement imbriqués, leurs importances respectives étant éminemment variables. D'où la nécessité d'un pastoraliste de terrain pour la détermination des types de pâturages.

- **Valeur alimentaire des espèces fourragères**

La valeur alimentaire des pâturages devrait être appréciée par la croissance des animaux, rapportée à la quantité d'herbe consommée. Si cela est possible sur un pâturage monospécifique avec un troupeau expérimental et une méthodologie assez sophistiquée, il ne saurait être question d'aborder directement ce problème dans les pâturages naturels tropicaux.

On utilise donc les méthodes indirectes que sont l'analyse bromatologique et la mesure de la digestibilité.

Analyse bromatologique

L'analyse se fait au laboratoire sur un échantillon desséché, le poids du prélèvement frais devant être déterminé au pâturage. On

PRINCIPAUX TYPES DE PATURAGES

	Espèces herbacées	Arbustes
Zone sahélo-saharienne		
Reliefs dunaires	*Panicum turgidum* *Cyperus jeminicus* *Tribulus terrestris*	*Acacia raddiana* *Leptadenia pyrotechnica*
Sables interdunaires	*Aristida funiculata* *Schœnefeldia gracilis*	*Commiphora africana*
Sols squelettiques	dénudés	
Zone sahélienne		
Reliefs dunaires	*Aristida mutabilis* *Cenchrus biflorus* *Cymbopogon proximus*	*Acacia raddiana*
Dépressions limono-argileuses	*Aristida funiculata* *Schœnefeldia gracilis* *Zornia glochidiata*	*Acacia sénégal* *Balanites aegyptiaca* *Guiera senegalensis*
Epandages argileux	*Echinochloa colonum* *Panicum lætum*	*Acacia seyal*
Sols de décrue	*Echinochloa stagnina* *Brachiaria mutica*	
Sols squelettiques	*Aristida adscensionis* *Dactyloctenium ægyptium*	*Combretum* sp.
Zone sahélo-soudanienne		
Sols ferrugineux	*Andropogon gayanus* *Hyparrhenia dissoluta* *Diheteropogon hagerupii*	*Acacia albida* *Acacia nilotica* *Acacia seyal*
Sols temporairement inondés	*Echinochloa pyramidalis* *Oryza longistaminata* *Vossia cuspidata*	
Sols squelettiques	*Loudetia togoensis* *Andropogon pseudapricus*	*Combretum micracanthum* *Pterocarpus lucens*

déduit facilement le taux de matière sèche qu'il contient, après pesée du résidu sortant de l'étuve à dessiccation.

L'analyse permet de déterminer avec précision le taux d'azote (méthode de Kjeldahl), de matières grasses (presque nulles par extraction), de cendres (au four à moufle).

L'ensemble des autres constituants est obtenu par différence sous le vocable d'« extractif non azoté ». Il s'agit d'un groupe de matières glucidiques très diverses, les unes très hautement digestibles comme les sucres simples et l'amidon, facilement digestibles par les ruminants comme la cellulose, ou franchement peu digestes comme la lignine. Les hemicelluloses, les pentosanes se placent dans des situations intermédiaires.

Plusieurs méthodes ont été proposées pour différencier ces divers constituants. Aucune ne donne entière satisfaction, aussi, de nombreux laboratoires se contentent-ils de doser la cellulose selon la méthode de Weende, compromis entre la validité du résultat et la simplicité de l'analyse. Mais si cette méthode peut donner une approximation suffisante avec les fourrages de pays tempérés, elle est moins capable de rendre compte de la vraie valeur fourragère des fourrages tropicaux, beaucoup plus chargés en éléments fibreux.

Les chiffres pour l'azote, le phosphore, le calcium et les autres minéraux demeurent cependant valables dans leur précision.

La mesure de la digestibilité permet d'évaluer la proportion des nutriments consommés qui sont utilisés par le tube digestif. Le rapport

$$\frac{\text{ingesta} - \text{excreta} \times 100}{\text{ingesta}}$$

définit le coefficient d'utilisation digestive. Il est en général mesuré sur des moutons pour des facilités de technique.

On calcule généralement un C.U.D. des matières azotées et un C.U.D. des matières organiques.

La combinaison de l'analyse bromatologique et des coefficients de digestibilité permet d'approcher dans de bonnes conditions la valeur alimentaire des fourrages, car le passage de l'énergie digestible à l'énergie nette se fait avec des coefficients assez bien connus.

Malheureusement, si les analyses bromatologiques ne manquent pas, les essais de digestibilité des pâturages tropicaux et

notamment sahéliens sont fort peu nombreux. Aussi est-on dans l'obligation d'utiliser des tables qui représentent des approximations grossières, et doivent être corrigées.

En pratique, on constate que les graminées tropicales n'ont une teneur en matières azotées élevée que pendant une courte période ; elle diminue vite après les pluies.

En revanche, la teneur en cellulose est très élevée d'emblée. A titre d'exemple, nous donnerons la série d'analyses d'*Aristida mutabilis,* (voir p. 83).

2. Productivité des pâturages

• Croissance de l'herbe

Il faut distinguer très nettement entre les espèces annuelles et les espèces pérennes. Les premières sont adaptées aux climats à longue saison sèche par un cycle biologique court qui met à profit les deux ou trois mois humides pour aller de la germination à la production de nouvelles graines. La croissance se fait de façon très rapide, en quelques semaines, puis s'arrête définitivement lorsque les graines sont mûres et il ne reste que des pailles.

Les pérennes restent vivantes pendant plusieurs années, au niveau de leur souche et de leurs racines. La croissance est plus lente, la maturité des graines a lieu assez longtemps après la fin des pluies, parfois deux ou trois mois.

Si au cours de sa croissance la touffe d'herbe est coupée ou pâturée, on observe une repousse qui peut conduire à un nouveau cycle raccourci jusqu'à l'épiaison. Après quoi, la touffe donne des pailles grossières et ligneuses.

• Mesure de la productivité primaire

Elle consiste, sur une surface déterminée, en général un carré de 5 m $\times$ 5 m, à couper l'herbe et à la peser.

Pour un type de pâturage donné, plusieurs carrés prélevés au hasard permettent d'obtenir une moyenne valable. Pour les graminées annuelles, on peut se contenter de faire une seule coupe en fin des pluies, au moment de l'épiaison. On enregistre à ce moment la totalité de la matière sèche produite.

Si le pâturage est composé de pérennes, on pratique plusieurs coupes lorsque l'herbe est exploitable, c'est-à-dire lorsqu'elle

Valeur fourragère d'*ARISTIDA MUTABILIS*

Espèces	Localisation	M.S. p.100 fourrage	Composition en p. 100 de M.S.			Valeur fourragère			
			Mat. azot.	Mat. Cel.	Cendres	par kg de fourrage		par kg de M.S.	
						U.F.	M.A.D. (g)	U.F.	M.A.D.(g)
Aristida mutabilis	Sah. (s.l.)								
jeunes pousses (juil)		32	7,9	35,2	8,1	0,18	12	0,55	38
montaison (août-sept.)		33	12,6	33,7	14,1	0,17	27	0,50	82
floraison (sept.)		33	7,7	34,5	8,9	0,18	12	0,56	36
fructification (sept.)		60	4,9	38,3	8	0,28	6	0,46	10
pailles (oct. à fév.)		95	3,9	39,1	7,9	0,42	1	0,44	1
pailles (mars à juin)		95	2,1	41	9	0,34	tr	0,36	tr

atteint 40 cm de haut environ. L'addition des quantités d'herbe obtenues par les diverses coupes (deux ou trois) fournit la productivité primaire du pâturage.

• **Evaluation du pâturage disponible pour le bétail**

La productivité primaire est une donnée fondamentale pour apprécier la quantité d'herbe. Mais les animaux ne peuvent utiliser l'intégralité de cette masse végétale car ils pâturent toute l'année et l'herbe se dégrade au cours de la saison sèche, à la fois qualitativement et quantitativement.

Les pailles des graminées annuelles, fragiles, se brisent lorsqu'elles sont très sèches, sous l'action conjuguée du piétinement, du vent et du sable qu'il transporte. Au cours des mois de mars à juin, plus de la moitié de ces pailles disparaissent sans avoir été consommées par le bétail. On est donc conduit à une approximation.

Les graminées pérennes donnent des pailles à tiges dures, inconsommables. Seules les feuilles sèches sont mangées, mais le pourcentage des parties consommées varie avec les espèces et l'état de famine du troupeau. Ici encore, une approximation s'impose. Enfin, l'utilisation des arbres fourragers (feuilles vertes ou sèches, gousses) pose de difficiles problèmes d'évaluation quantitative.

• **Approche régionale d'un potentiel fourrager**

Les pastoralistes ayant, avec leur expérience et l'appui du laboratoire, déterminé le potentiel exploitable par type de pâturage, il convient de généraliser à l'échelle de la région. Il n'est pas possible pour eux de parcourir kilomètre par kilomètre les immensités sahéliennes et sahélo-soudaniennes. On recourt alors à la photo-interprétation.

Le document de base est la couverture photographique aérienne réalisée à l'échelle du 1/50 000 ou mieux, du 1/25 000. Le film noir et blanc panchromatique donne des clichés contrastés sur lesquels le photo-interprète peut identifier sans difficultés, par la stéréoscopie, les groupements arbustifs, le relief, éventuellement les points d'eau. Les diverses formes du tapis graminéen se traduisent par différents tons de gris. Leur interprétation requiert alors la collaboration étroite du pastoraliste et du photo-interprète. Le premier qui a, au sol, identifié les types de pâturages (et leur productivité) va guider le second dans leur identification sur les clichés.

L'expérience montre la validité de la méthode.

Le photo-interprète devra ensuite s'articuler avec le cartographe car il faut représenter les divers pâturages sur une carte. Les diverses formations peuvent s'interpénétrer d'une façon telle que leur représentation cartographique exacte peut se révéler impossible. Il est nécessaire alors de faire une certaine généralisation qui conserve à chaque formation son étendue. Un photo-interprète et un cartographe compétents, habitués à travailler ensemble, sont nécessaires.

Depuis quelques années sont apparues des émulsions sensibles aux infrarouges qui donnent des clichés colorés dits « en fausse couleur ». Par ces couleurs, on obtient des informations supplémentaires qui facilitent la photo-interprétation. Mais leur coût est élevé.

Quelles qualités doit présenter la carte ?

— Elle doit permettre l'identification et la planimétrie des divers types de pâturages et, par conséquent, les distinguer avec netteté. Cette séparation sera plus nette si la carte est établie en couleurs. Mais il faut réaliser autant de cartes que de couleurs. En noir et blanc, on peut distignuer les diverses formations par des trames variées. Le procédé est moins onéreux mais donne des résultats moins lisibles.

— La carte doit permettre de situer parfaitement les divers pâturages. Un fond de carte complet permet seul d'y parvenir : cours d'eau, routes, pistes, agglomérations, points d'eau doivent y figurer, même s'ils ne sont pas désignés. Le rapprochement avec la carte topographique permet leur identification.

— L'échelle de la carte doit être appropriée à l'usage que l'on veut en faire. S'il s'agit d'un aménagement régional et particulièrement de l'implantation d'un réseau de points d'eau, l'échelle au 1/200 000 s'impose. Les échelles plus petites ne permettent pas d'avoir une précision suffisante et obligent de trop grandes généralisations. Les cartes topographiques au 1/200 000 sont la base des documents cartographiques utilisables. Il sera toujours possible et fructueux de rapprocher la carte des pâturages au 1/200 000 de la carte topographique à la même échelle, dont elle est issue. S'il faut aménager une zone limitée (quelques dizaines de milliers d'hectares) à des fins plus précises, une échelle telle que le 1/50 000 sera retenue.

— Une fois la carte établie, la planimétrie donne les surfaces de

chaque type de pâturage et, connaissant les possibilités de chacun, on peut établir les charges possibles à l'échelle de la région, organiser le pâturage en distinguant les pâturages utilisables en saison des pluies et ceux utilisables en toutes saisons mais à réserver pour la saison sèche. Tous les aménagements, y compris la création de nouveaux points d'eau, nécessaires à l'utilisation optimale des parcours peuvent alors être étudiés avec des éléments valables pour la prise de décision.

- **Actualisation des données**

Une modification considérable et prolongée du climat, telle que la sécheresse de 1968 à 1973, peut apporter des changements dans certaines formations végétales : mort de certains arbres ou arbustes, diminution des espèces pérennes au profit d'annuelles, etc. Mais ces modifications ne sont pas courantes et leur ampleur est limitée. Le climat revenu à la normale, les formations végétales retrouvent leur équilibre.

En revanche, la productivité primaire varie d'une année à l'autre en fonction de la hauteur de pluie annuelle. Cela est particulièrement important au Sahel où la pluie est irrégulière.

Il faut donc établir un système de surveillance des pâturages afin d'ajuster annuellement le potentiel fourrager. Ce système peut être réalisé par l'installation d'un réseau de pluviomètres, complété par des mesures de productivité de l'herbe en des points caractéristiques, à chaque fin de saison des pluies.

Il est possible que la télédétection offre une solution plus élégante, par exploitation des clichés et bandes enregistrés par les satellites. Manquant de précision pour l'établissement des cartes, ils peuvent peut-être permettre de déterminer où est tombée la pluie et éventuellement, après les pluies, d'estimer la biomasse annuelle.

CHAPITRE VIII

LE POINT D'EAU ET LA VÉGÉTATION ENVIRONNANTE

1. Le problème

Les pâturages sahéliens et sahélo-soudaniens ont été, au cours des dernières décennies, équipés de points d'eau nouveaux et nombreux. Les puits ont été creusés dans tous les pays et les forages ont exploité les nappes profondes partout où la situation était favorable. Les deux pays qui ont le plus systématiquement installé des forages sont le Sénégal et le Niger. Le Tchad et le Mali, dans des situations moins favorables, ont réalisé des programmes plus limités.

Avec le recul du temps, des avis parfois autorisés mais d'autres plus superficiellement argumentés ont été émis.

S'il est reconnu que le puits, et le puits-forage, qui ne reçoivent quotidiennement, pendant une partie de l'année, que quelques centaines d'animaux (au maximum un millier), ne sont pas suffisamment fréquentés pour provoquer des modifications importantes de la végétation environnante, il n'en va pas de même des forages.

Lorsque plusieurs milliers d'animaux se rassemblent chaque jour autour d'un point d'eau, il est visible qu'ils provoquent une évolution de la végétation environnante, évolution à caractère durable.

On a souvent dit et écrit qu'il s'agissait d'une dégradation et parfois même d'une désertification. Si l'on exclut de notre analyse les forages de la zone agricole qui ont entraîné une urbanisation à leur voisinage pour ne retenir que les forages vraiment pastoraux, nous essaierons d'apprécier objectivement l'importance des varia-

tions de la végétation qui peuvent leur être imputées.

Les variations non évolutives, saisonnières ou annuelles, ont pour cause prédominante les variations de la pluviométrie, aussi bien dans le volume des précipitations que dans leur répartition. Elles se traduisent principalement par des variations de la productivité, accompagnées, parfois, par des modifications temporaires de la composition floristique du tapis herbacé.

Les variations évolutives se manifestent par une évolution, irréversible, de la composition floristique de la formation végétale qu'il s'agisse du tapis herbacé ou de la strate ligneuse ou des deux à la fois. Elles paraissent surtout liées à la présence de l'homme et aux modalités d'utilisation des pâturages par les animaux.

Boudet décrit ainsi cette dynamique :
« Un voyageur traversant le pays en pleine saison sèche est toujours frappé par la disparition des pailles dans un large cercle autour des points d'eau permanents, ainsi que par les traces d'intense piétinement et l'abondance des bouses aux environs des abreuvoirs. Pourtant, cette "désertification" n'est qu'apparente et ne correspond qu'à une récolte du stock de pailles si la pâture n'est intervenue qu'en saison sèche après fructification des graminées (après la récolte de céréales en août, la Beauce n'a jamais été comparée comme un désert). Dès les premières pluies, le paysage reverdit et le tapis herbacé se régénère avec de très légères modifications, comme l'abondance de plantes nitrophiles aux abords immédiats du point d'eau *(Tribulus terrestris)* et la multiplication du cram-cram *(Cenchrus biflorus)* sur les pâturages sablonneux. La productivité du pâturage n'est pas réduite pour autant et souvent même elle s'accroît. Lorsque les troupeaux consomment des gousses d'acacias, le rejet des graines non digérées facilite localement les germinations et des fourrés peuvent apparaître dans les creux interdunaires, fréquentés en saison sèche.

Par contre, le pâturage réagit très nettement au pacage de saison des pluies, près des mares temporaires. Les animaux séjournent à proximité immédiate des points d'eau et sur un rayon de 1 à 3 km, les espèces appétées sont tondues à un rythme accéléré qui épuise leurs réserves jusqu'à l'anéantissement de leurs possibilités de grenaison, donc de régénération. Ces plantes appétées climaciques sont alors progressivement remplacées par des espèces à cycle végétatif de courte durée dont la dissémination est

facilitée par les animaux (diaspores zoochores) et ces plantes de substitution offrent une moindre résistance aux agents de l'érosion ».

2. L'exemple d'Ekinaouane

Les points d'eau d'abreuvement constituent des pôles de vie extrêmement importants. Ils sont le lieu de rassemblement privilégié des hommes et des animaux : des hommes pour venir y chercher l'eau nécessaire à leurs besoins, des animaux pour s'y abreuver.

Doivent-ils être considérés comme des facteurs d'évolution de l'environnement ?

Si les travaux de B. Peyre de Fabrègues et Rossetti au Niger et de J.-C. Bille au Sénégal constituent une première approche, le nombre d'études menées jusqu'à présent est encore trop restreint pour permettre de donner une description générale du processus d'évolution de la végétation provoqué par la création de points d'eau de débit plus ou moins important.

L'étude réalisée par B. Peyre de Fabrègues sur « l'évolution des pâturages naturels sahéliens du Sud-Tamesna », au Niger, s'est déroulée de 1967 à 1971. Un de ses objectifs était de décrire les modalités et le sens de l'évolution de la végétation pastorale en fonction des variations de la charge en bétail.

Les principales observations ont été faites autour de la Station de pompage d'Ekinaouane, située à environ 120 km au nord-ouest de Tahoua. La charge en bétail et son évolution, mensuelle et annuelle, a été située à partir des cubages d'eau pompés et des quantités d'eau ingérées par les animaux.

Ces dernières avaient été évaluées, dans des conditions climatiques similaires, sur une station de pompage du ranch d'Ekrafane, voisin, où étaient connus à la fois les cubages d'eau pompés et le nombre de têtes de bétail abreuvées. Les quantités d'eau ingérées quotidiennement par U.B.T. pendant la saison sèche étaient les suivantes :

Octobre 1968 ..... 42 litres
Novembre 1968 ..... 35 litres
Décembre 1968 ..... 29 litres
Janvier 1969 ..... 24 litres
Février 1969 ..... 28 litres

Mars 1969 ..... 32 litres
Avril 1969 ..... 36 litres
Mai 1969 ..... 40 litres

Le nombre d'animaux qui se sont abreuvés à la Station d'Ekinaouane, au cours des campagnes 1967/1968, 1968/1969, 1969/1970, a varié de 7 000 à 17 500 U.B.T./jour, selon les années et les mois (cf. tableau p. 91, extrait de l'étude de B. Peyre de Fabrègues).

Au cours des trois campagnes, les nombres globaux d'U.B.T. abreuvées ont été les suivants :

1967/1968 1 650 000 entre le 1er décembre 1967 et le 18 juillet 1968
1968/1969 3 000 000 entre le 13 novembre 1968 et le 13 juillet 1969
1969/1970 2 250 000 entre le 2 décembre 1969 et le 29 juillet 1970

Chaque année, le fonctionnement de la Station a assez largement empiété sur la saison des pluies puisque la fermeture n'a jamais été définitive avant le 13 juillet.

Si on admet que chaque U.B.T. a pu disposer chaque jour de sa ration de 6,25 kg de matières sèches et si on retient une productivité moyenne de 800 kg de matières sèches à l'hectare, les surfaces nécessaires au pâturage des animaux ont été de :

1967/1968 : 25 000 ha, soit un cercle d'environ 9 km de rayon autour du point d'eau,
1968/1969 : 46 000 ha, soit un cercle d'environ 12 km de rayon autour du point d'eau,
1969/1970 : 35 000 ha, soit un cercle d'environ 10,5 km de rayon autour du point d'eau.

Il apparaît donc, d'après les chiffres cités par Peyre de Fabrègues, que malgré des concentrations d'animaux parfois très fortes, jusqu'à 17 500 U.B.T. venant s'abreuver chaque jour, la charge globale n'a jamais été excessive puisque le rayon d'influence théorique du forage d'Ekinaouane n'aurait jamais excédé 12 km.

Piétinement et pâturage du bétail ont abouti à la formation de faciès en auréole autour du point d'eau :

— une plaque centrale de 30 à 50 m de rayon, correspondant à la zone même des abreuvoirs, où aucune végétation, même éphémère, ne peut se développer ;
— une première auréole, large d'une dizaine de mètres, riche en matière organique d'origine fécale, supporte des plantes nitrophiles annuelles, bien adaptées à des variations du bilan hydrique.

STATION D'EKINAOUANE **Débit** de 20 à 40 m³/h
Mise en service le 25 mai 1964

Période	Nombre de jours	Vol. période m³	Volume jour	Nombre de têtes	Observations
Campagne 1967/1968					
01.12.67-10.01.68	41	7 826	199	6 860	
10.01.68-30.01.68	20	3 970	198	8 250	
30.01.68-29.02.68	30	7 863	262	9 360	
29.02.68-06.04.68	39	12 023	308	9 625	
06.04.68-04.05.68	28	9 149	326	9 055	
04.05.68-07.06.68	34	8 468	249	6 225	
07.06.68-05.07.68	28	741	29		pluies
05.07.68-18.07.68	13	1 322	101		fermeture détinitive
Total campagne	233	51 362			
Campagne 1968/1969					
13.11.68-07.12.68	25	9 078	363	10 380	
07.12.68-07.01.69	31	10 903	351	12 100	
07.01.69-07.02.69	31	10 145	327	12 620	
07.02.69-24.02.69	17	7 180	481	17 530	
24.02.69-01.04.69	30	14 320	477	16 900	
01.04.69-08.05.69	37	22 014	595	16 530	
08.05.69-02.06.69	25	14 043	561	14 020	fermeture définitive
02.06.69-13.07.69	41	5 867	143		pluies
Total campagne	237	93 550			
Campagne 1969/1970					
02.12.69-22.12.69	21	6 066	289	9 965	
22.12.69-04.02.70	44	14 586	331	13 790	
04.02.70-03.03.70	27	9 197	340	12 145	
03.03.70-06.04.70	34	13 147	386	12 060	
06.04.70-04.05.70	28	12 362	441	12 250	
04.05.70-01.06.70	28	8 715	311	7 775	
01.06.70-02.07.70	31	3 392	109		pluies
02.07.70-29.07.70	27	1 107	41		fermeture définitive
Total campagne	240	68 572			

Les deux principales espèces observées sont *Tribulus terrestris* et *Gynandropsis gynandra.* Dans l'ensemble, la végétation est clairsemée ;

— une deuxième auréole, très étroite, correspond à la frange extérieure de la première. La végétation y devient beaucoup plus dense. On y note la présence de *Citrullus lanatus ;*

— une troisième auréole, mesurant de 50 à 100 m de largeur, présente un sol encore ameubli par le piétinement et assez riche en humus. Les graminées annuelles apparaissent, l'espèce la plus fréquente étant *Brachiaria orthostachys,* souvent accompagnée de *Cenchrus biflorus ;*

— une quatrième auréole, caractérisée par l'abondance de *Cenchrus biflorus,* de largeur variable, quelquefois nulle, assure la transition avec la zone où la végétation naturelle n'a pas été influencée par le pâturage et dans laquelle on retrouve les différents faciès à *Aristida, Schoenefeldia, Cenchrus, Tragus,* etc., déterminés par la topographie et la nature des sols.

L'action sur la strate ligneuse se manifeste par une modification du port des arbustes et par une diminution de leur densité.

La modification du port est la conséquence du broutage par les animaux, soit directement, soit après émondage par les éleveurs. Les méthodes d'émondage utilisées sont très sommaires et aboutissent très souvent à la destruction des arbres ou des arbustes.

La disparition des arbres peut être le fait des animaux. Peyre de Fabrègues en donne l'explication suivante : « Afin d'en brouter les feuillages, ou simplement pour se mettre à l'ombre, les animaux se rassemblent nombreux au pied des arbustes, ils affouillent le sol par leur piétinement et ébranlent l'arbuste en se grattant contre le tronc. De sorte que l'arbuste ne tarde pas à tomber, surtout s'il s'agit d'animaux lourds ». Elle peut être également le fait de l'homme. Elle est particulièrement spectaculaire lorsqu'il y a sédentarisation de populations pour une cause quelconque : l'installation d'un poste administratif à Tillia, à 150 km au nord-ouest de Tahoua, a entraîné la totale disparition des arbres ; une destruction massive a accompagné l'implantation d'un camp militaire au forage d'Ekinaouane en 1970.

Les destructions du fait des éleveurs eux-mêmes paraissent beaucoup moins importantes, et diminuent sensiblement, au fur et à mesure que l'on s'éloigne du point d'eau.

Rossetti les a chiffrées par des comptages sur des surfaces de

12,5 ha (cercle de 200 m de rayon) à proximité des forages d'Ekinaouane, Digdiga et Ekrafane 2, tous situés dans le Sud-Tamesna nigérien.

Les diminutions de ligneux, constatées près des stations de pompage, sont respectivement de 15 p. 100 en 3 ans, 13 p. 100 en 1 an et 5 p. 100 en 2 ans. Le dernier forage est situé sur un ranch géré par une société d'Etat ; les éleveurs traditionnels n'y ont pas accès. Le pourcentage moindre de disparition des ligneux observé tendrait à confirmer le rôle important joué par l'homme dans ce domaine. A 4 km à l'est et à l'ouest du forage d'Ekinaouane, le nombre de ligneux a diminué respectivement de 3,8 p. 100 et 3 p. 100 en 3 ans. Les effets sur la strate ligneuse sont sensiblement moins rapides lorsqu'on s'éloigne du forage.

3. L'exemple de Feté Ole

J.-C. Bille, au Sénégal, dressant le bilan au niveau de la production primaire nette de l'écosystème sahélien de Feté Ole, analyse l'influence du pâturage par les animaux sur la végétation le long d'une séquence de 20 km reliant Feté Ole au point d'eau permanent de Tatki.

Il constate une évolution qualitative de la végétation : au fur et à mesure que l'on se rapproche de Tatki, le nombre d'individus par mètre carré du groupement végétal augmente, passant de 76 à 14 km de Tatki, à 79 à 7 km de Tatki et à 93 à 3 km de Tatki.

Les graminées fines appartenant aux genres *Aristida* et *Schoenefeldia* diminuent, au profit de graminées plus grossières comme *Cenchrus, Dactyloctenium, Chloris* et de légumineuses telles que *Zornia*. J.-C Bille conclut à propos de cette évolution qualitative : « On voit qu'on peut difficilement parler de dégradation du groupement puisqu'il y a à la fois enrichissement floristique et augmentation de la couverture au moment de la mise en place des formations : il y a bien modification du tapis végétal, mais pas obligatoirement évolution négative et regrettable ».

A partir de sondages de rendement effectués aux trois points d'observation précédents, à trois époques différentes, 30 octobre, 30 décembre et 30 mars, Bille calcule les consommations par le bétail à quatre points équidistants sur la séquence et situés respectivement à 17,5 km, 12,5 km, 7,5 km et 2,5 km de Tatki, et en déduit la productivité totale en chacun de ces quatre points :

17,5 km ..... 910 kg de matière sèche/ha
12,5 km ..... 850 kg de matière sèche/ha
7,5 km ..... 880 kg de matière sèche/ha
2,5 km ..... 1 300 kg de matière sèche/ha

L'auteur en conclut :

« Il est donc assez certain qu'il y a eu rendement plus faible au niveau du kilomètre 10 et plus élevé à proximité immédiate de Tatki. De hautes productivités ont par ailleurs souvent été observées aux abords des forages : Valenza constate qu'on peut (y) récolter entre 2 000 et 2 800 kg de foin alors que ces parcours sont très rapidement détruits par les animaux de plus en plus nombreux autour du forage dès la fin des pluies et l'assèchement des mares. Très vite les abords des forages et puits sont dénudés faisant croire que la végétation est dégradée.

Nous suivrons cet auteur qui s'insurge contre l'emploi malheureux du terme de dégradation, alors qu'il y a remplacement d'une formation végétale par une autre plus productive et de meilleure valeur alimentaire ».

4. Conclusion

La création ou l'aménagement de nouveaux points d'eau pour l'abreuvement du cheptel constitue sans conteste un facteur d'évolution des formations végétales qu'ils desservent, tant par l'action du broutage et du piétinement des animaux que par l'action prédatrice de l'homme. Leur rôle est d'autant plus grand que leurs débits sont forts et les concentrations d'animaux qu'ils provoquent importantes.

La « désertification » que l'on constate à leur proximité a fait qualifier de dégradation cette évolution. Les quelques observations systématiques réalisées semblent montrer que cette notion de dégradation est exagérée. Il conviendrait de pouvoir le préciser en essayant de répondre à un certain nombre de questions : Quelle est la dynamique de cette évolution ? Comment est-elle accentuée ou tempérée par l'action des autres facteurs écologiques ? Quelles mesures permettraient de la canaliser dans un sens favorable à un objectif recherché ?

CHAPITRE IX

LE POINT D'EAU ET LA VIE PASTORALE

L'élevage sahélien est étroitement dépendant des disponibilités en eau. Or, si cette dernière est abondante pendant quelques mois de l'année, elle maintient une contrainte très sévère pendant la saison sèche, si sévère que de vastes étendues de pâturages sont inutilisables.

C'est pourquoi des programmes d'hydraulique pastorale ont été entrepris pour les valoriser.

1. Le point d'eau dans le pastoralisme traditionnel

Les pasteurs ont d'eux-mêmes découvert, depuis longtemps, les grands principes qui permettent au bétail et aux hommes de vivre dans les milieux arides.

L'irrégularité des pluies tant dans leur hauteur annuelle que dans leur distribution spatiale font que la poussée de l'herbe est irrégulière et que les pasteurs doivent conduire leurs troupeaux là où elle s'est développée. Cette situation implique une vie nomade dans les régions septentrionales du Sahel. Ce nomadisme peut être permanent, avec déplacement des campements de temps à autre, s'il n'y a pas de difficulté à trouver de l'eau. En revanche, le plus souvent, les points d'eau permanents sont des lieux de rassemblement obligés pour les nomades et leurs troupeaux, en saison sèche. Au cours de cette halte nécessaire, le comportement nomade peut persister en limitant ses déplacements dans le périmètre exploitable à partir du point d'eau. C'est ce qui se passe chez les pasteurs qui exploitent les pâturages situés au nord de la limite de la culture du mil. On l'observe chez les Touareg du

Gourma malien (Kel Antassar, Kel Serere) qui fréquentent les mares pérennes de Gossi, de Doro et d'In Tillit, et chez quelques tribus peules comme les Kel Godji de N'Daki.

C'est aussi le cas des Warag Warag sur le Béli et des Oullimin-den qui vont fréquenter la mare d'Anderamboukane.

Lorsque le point d'eau permanent se situe dans la zone où l'on peut cultiver le mil, on assiste à la naissance de comportements semi-nomades, c'est-à-dire présentant une amorce de sédentarisation. Non seulement le point d'eau est fréquenté en saison sèche, mais à son voisinage est installé un champ de mil qui pousse pendant les pluies. On peut citer comme exemple celui des Peuls Gaobe du nord de l'Oudalan en Haute-Volta.

Pendant la saison sèche, le campement de tentes rondes est installé auprès de la grande mare de Yomboli, sur une dune où se rassemble le troupeau chaque nuit. Au fur et à mesure que le niveau de la mare s'abaisse, une couronne d'herbe pousse sur la terre exondée. Elle permet, avec les pailles et les arbustes des dunes, l'alimentation du bétail. Lorsqu'en mai la mare s'assèche, les Gaobe creusent des puisards pour l'abreuvement. La nourriture du bétail devient de plus en plus insuffisante et les premières pluies sont attendues avec anxiété. Lorsqu'elles se produisent, le campement dégage la dune et s'installe un peu plus loin. Sur l'emplacement laissé vacant et fumé par le troupeau, on sème le mil. On attend qu'il pousse un peu et que les pluies soient devenues régulières (août). La famille se scinde alors en deux. Les couples âgés et les enfants en bas âge vont rester sur place pour surveiller les champs de mil et assurer la récolte. Ils conservent, pour se nourrir, les vaches en lactation et leurs veaux. Les adolescents et les couples dans la force de l'âge partent avec le gros du troupeau. L'itinéraire emprunté les dirige grossièrement vers le nord, en faisant de nombreux crochets. Ils vont conduire le troupeau en cure salée auprès de la mare de Darkoy, puis poursuivre leur périple d'hivernage vers le nord, sans toutefois s'éloigner de plus de 50 km de la mare de Yomboli. En octobre, le parcours s'oriente vers le sud, toujours de façon irrégulière puisqu'on ne s'est pas trop éloigné au nord. En janvier, on retrouve la mare de Yomboli, la famille se reconstitue et se réinstalle sur une dune pour recommencer un cycle saisonnier.

Si l'on excepte les Touareg et les Bororo qui ne cultivent jamais, la plupart des pasteurs sahéliens et sahélo-soudaniens essaient de

produire au moins une partie du grain dont ils ont besoin de manière à être le plus indépendants possible au plan alimentaire.

A la limite, les points d'eau permanents conduisent à une vraie sédentarisation. C'est ce que l'on observe sur les rives des fleuves (Niger, Sénégal) où les populations ont des activités agricoles dominantes car elles peuvent irriguer en tous temps en tirant l'eau dans des puisards. L'élevage revêt alors des particularités, avec une transhumance annuelle qui ramène les troupeaux au bord du fleuve au moment de la décrue pour y consommer le bourgou.

Quels que soient les comportements, nomade, semi-nomade ou sédentaire, la tradition a permis à toutes les tribus, même si elles appartiennent à des ethnies différentes, d'exploiter des pâturages assez bien délimités.

Lorsque les points d'eau sont des puits traditionnels, la situation est tout à fait comparable. Au nord on rencontre des « nomades des puits » qui ne cultivent pas et, plus au sud, des nomades cultivateurs dont les champs sont situés au voisinage du puits de la tribu. On peut citer l'exemple des Kreda du Kanem (Tchad). Ils sont grands éleveurs de bovins et cultivent le mil. Leurs champs de culture sont situés au nord de leur parcours, dans les dunes qui s'étendent de part et d'autre de la piste qui file de Moussoro vers Ziguey, chaque tribu ayant son puits dans un creux intermédiaire.

Les Kreda se trouvent, avec leurs troupeaux, autour de leurs puits au début de la saison sèche pendant qu'il fait frais. Mais quand mars arrive, les pâturages dunaires sont épuisés. Les Kreda font alors mouvement vers le sud et vont conduire leurs troupeaux sur le plateau du Harr pendant la saison chaude. Progressivement, ils vont avancer vers le sud pour rencontrer au plus tôt les premières pluies. Cela les amène au début de juin à sortir du Kanem proprement dit pour se retrouver dans la plaine argileuse de l'Aka. Il s'y forme rapidement des mares, le troupeau consomme les premières pousses d'herbe et s'abreuve sans qu'on ait besoin de tirer l'eau. Cela dure un mois environ. Mais comme le front pluvial est remonté vers le nord, on retraverse le Harr et, arrivé au Bahr el Ghazal, la famille se sépare. Femmes, enfants et troupeau y restent car il y a du pâturage, de nombreuses mares, le troupeau se débrouille seul. Pendant ce temps, les hommes vont jusqu'à leur terroir où ils mettent en place les champs de mil. Lorsqu'en octobre ou novembre, le Bahr el Ghazal s'assèche, la

famille et le troupeau se regroupent autour du puits traditionnel.

Le bétail pâture sur les dunes, mange les cannes de mil, fume les futurs champs, mais il faut l'abreuver en tirant l'eau, souvent à 20 mètres. On utilise la traction attelée (chameau, cheval, bovin). Cette phase dure jusqu'en mars où le cycle recommence avec le nouveau départ vers le sud. Les points extrêmes de la transhumance sont éloignés souvent de plus de 100 kilomètres.

Le puits traditionnel est réservé à la tribu qui l'a creusé. En conséquence, le pâturage environnant ne peut être utilisé que par le bétail de ladite tribu. Il s'établit une responsabilité des éleveurs vis-à-vis de leurs parcours. S'ils surexploitent, eux-mêmes en subiront les conséquences. On observe que, dans ces cas, les pâturages et le bétail qu'ils supportent sont souvent assez équilibrés, ce qui prouve que les éleveurs ont une très saine notion de la conservation des pâturages.

2. Influence des programmes d'hydraulique pastorale

• L'exemple sénégalais du Ferlo

Le Sahel sénégalais est traditionnellement exploité par des éleveurs peuls. Avant 1948 la région du Ferlo était parcourue par les troupeaux pendant la saison des pluies et les mois suivants. L'abreuvement se faisait aux mares et dans le cours du Ferlo, jusqu'à ce qu'ils s'assèchent. A ce moment-là, la plupart des troupeaux partaient en transhumance, les uns, vers le nord, s'approchaient des rives du fleuve où ils trouvaient l'eau et des pâturages de décrue ; les autres, vers le sud et les régions de culture du Sine Saloum, où ils nouaient des contrats de fumure avec les agriculteurs et exploitaient les jachères en s'abreuvant aux puits.

Le Ferlo, pour autant, ne se dépeuplait pas complètement car un petit nombre de troupeaux y demeurait, s'abreuvant aux puisards exploitant des nappes phréatiques locales.

En 1948, un programme de forages fut mis à exécution. Nous en avons parlé précédemment. Les pâturages bénéficiaient de points d'eau permanents qui permirent, dès lors, à des troupeaux de demeurer dans le Ferlo toute l'année. On a constaté qu'une grande partie des pasteurs avaient profité de cette nouvelle possibilité et ne se rendaient plus en transhumance soit au fleuve, soit au sud. Ils ont installé leurs campements à des distances variant de 10 à 15 km du forage. Pendant les pluies, ils font paître leurs bêtes

dans les pâturages éloignés du forage qui est alors fermé. Lorsque les mares s'assèchent, le forage est mis en fonctionnement et les troupeaux sont conduits sur les pâturages compris entre le campement et le forage.

Certains pasteurs, néanmoins, ont continué le système antérieur de transhumance et, si la création du réseau de forages a notoirement modifié l'exploitation des pâturages du Ferlo, elle ne l'a pas changée dans son intégralité.

Comment juger cette campagne de forages ?

L'exploitation des pâturages du Ferlo a été améliorée. L'espacement des forages entre eux (25 à 30 km) a permis de réserver des surfaces à exploiter pendant les pluies et ainsi de différer le pâturage autour des forages jusqu'à la saison sèche. Autour des campements les pasteurs ont pu, pendant les pluies, établir des cultures de mil. Les agrostologues qui ont étudié les pâturages n'ont pas constaté de dégradation.

En somme, au plan technique, la mise en œuvre des forages pastoraux y est un incontestable succès. Quelques réserves cependant : lors de la sécheresse de 1972-1973, les éleveurs, ayant perdu leur mobilité traditionnelle, ont été surpris par la défaillance des pâturages et ont subi des pertes dans leurs troupeaux avant de reprendre, tardivement, une transhumance.

En second lieu, la dispersion des éleveurs, souhaitable pour l'exploitation des parcours, est un facteur limitant le développement (santé, scolarisation, etc.).

- **L'exemple de la zone pastorale du Niger**

Depuis 1961, une campagne de forages a été entreprise au Niger, dont une vingtaine dans la région du nord de Tahoua.

Cette région, traditionnellement exploitée par les Touareg Illabakan, manquait de points d'eau pour une exploitation optimale des pâturages. Les puits profonds exigeaient une exhaure laborieuse.

Après la mise en place des forages, on a assisté à un certain nombre de phénomènes plus ou moins prévus.

La remontée des Peuls. Les éleveurs peuls qui, auparavant, conduisaient leurs troupeaux dans les zones agricoles du sud du Niger ou même du nord Nigeria pendant la plus grande partie de l'année, ne montaient dans la zone pastorale que lorsque l'eau de surface procurée par les pluies permettait l'abreuvement. Les

puits appartenant aux Touareg leur étaient interdits et ils devaient regagner la zone des cultures peu après les pluies.

Après que les forages, points d'eau publics, ont été mis en fonctionnement, les Peuls et leurs troupeaux se sont, en grand nombre, installés de façon permanente sur les pâturages qui étaient ceux de saison sèche des Touareg. Il en est résulté des heurts et une surcharge certaine.

Au forage d'Abalak s'abreuvaient quotidiennement 8 000 bovins, 8 000 petits ruminants, 2 000 chameaux. A In Waggeur, 6 000 bovins, 4 000 petits ruminants, 500 chameaux. Il en était de même pour la plupart des forages.

Théoriquement, les pâturages sur un rayon de 10 km devraient pouvoir fournir la nourriture à de tels effectifs. Cependant, la masse végétale disponible en fin de saison sèche est très faible, dispersée par le vent et le piétinement. Sa disparition est d'autant plus précoce que la charge est plus lourde.

On a tenté de séparer les concurrents autour des forages en réservant certains d'entre eux et leurs pâturages à des éleveurs déterminés. Le décret de 1961 réglementant les forages stipule que « l'usage des stations de pompage et des zones de pâturage qui y sont rattachées sera réservé à des collectivités d'éleveurs selon une liste arrêtée par décret (...) en tenant compte des droits coutumiers reconnus à ces collectivités ». Jamais ces dispositions n'ont pu être appliquées. Les difficultés d'attribution, dans un cadre n'étant plus traditionnel, n'ont pas été surmontées. On a tenté par exemple de réserver aux Peuls les stations de Tofamanir, Abouyaya et Tamaya et de laisser aux Touareg Abalak et In Waggeur. Aujourd'hui, Peuls et Touareg sont présents et concurrents sur chacune des stations.

A In Waggeur existait un puits où abreuvaient leurs troupeaux plusieurs campements Illabakan. Après l'ouverture du forage d'autres Touareg vinrent : Illabakan, Isherifen, El Wuliten, Tamazlebeyt, Tarkaz, Iberogan, ainsi que des Peuls Bororos (Bikorawa et Gojawa). Les premiers occupants ont ressenti cette invasion comme une injustice profonde et, après de nombreuses démarches, ont fait fermer le forage en 1971. Mais il a été rouvert l'année suivante.

L'urbanisation auprès de certains forages s'est développée. Tchin Tabaraden est devenu une sous-préfecture et, par conséquent, une agglomération notoire. A In Waggeur, des maisons

pour les fonctionnaires ont d'abord été construites, puis des commerçants se sont installés. Enfin, on a pu construire une école.

Dès qu'un forage est urbanisé, il n'est plus question de le fermer. Dès lors les animaux peuvent s'abreuver en permanence et maintenir leur pression sur les pâturages environnants, même pendant la saison des pluies. Les graminées sont broutées avant d'avoir pu produire des graines et, à partir de là, il se produit une véritable dégradation du tapis herbacé qui devient beaucoup moins dense, laissant persister seulement les espèces inappétées ou celles qui se défendent, comme *Cenchrus biflorus,* par ses épis piquants. Il faut ajouter à cela la dégradation des ligneux car toute agglomération requiert du bois de feu.

Ces quelques exemples que nous n'omettons pas de signaler ont été montés en épingle par plusieurs auteurs qui, les généralisant, en ont tiré argument pour condamner les forages au plan écologique. La vérité exige que l'on dise très nettement que la plus grande partie des forages n'a pas subi cette évolution. Presque tous les forages pastoraux fonctionnent normalement avec une période de fermeture de 100 à 150 jours, qui permet aux plantes annuelles de faire leur cycle et de se ressemer. Il en résulte que le cercle de dégradation, de quelques centaines de mètres de rayon, n'a qu'une incidence négligeable sur le disponible fourrager. Au-delà, comme il a été dit au chapitre précédent, la végétation est modifiée, mais plutôt dans le sens d'une amélioration par la fumure naturelle, que dans le sens de la dégradation.

La sécheresse de 1972-1973 a été le révélateur d'un revers de la médaille : les troupeaux étaient devenus plus nombreux car la décennie 1960-1970 avait été favorable au plan de la pluviométrie (avec une alerte en 1968). L'herbe avait été abondante, l'eau fournie régulièrement par les forages, les campagnes de prophylaxie avaient quasiment éliminé les deux fléaux que sont la peste bovine et la péripneumonie. Les effectifs bénéficiant de cette conjoncture favorable s'étaient accrus, notamment dans les zones septentrionales du Sahel où l'on rencontrait beaucoup de bovins alors que ces régions étaient traditionnellement celles des chameliers.

Lorsque la sécheresse survint, l'eau resta abondante aux forages, mais le pâturage fut quasiment anéanti. Les éleveurs peuls, bons éleveurs mais au tempérament exploiteur, comprirent très

vite le danger dès la fin des pluies et quittèrent le pays vers les régions plus au sud, qui avaient reçu assez d'eau pour qu'on y trouve l'herbe nécessaire. Cela les amena loin au Nigeria (comme les Peuls du Mali qui descendirent en Côte-d'Ivoire). Cette transhumance anormale provoqua des pertes dans leurs troupeaux (vaches et veaux pouvant difficilement suivre) surtout lorsqu'ils durent entrer dans la zone des glossines et de la trypanosomiase. Fort heureusement les populations de ces dernières avaient aussi été diminuées par la sécheresse. Au total les Peuls ont subi des dommages mais évité le pire.

Au départ des Peuls, les Touareg sont restés sur place, se réjouissant de se retrouver seuls maîtres du terrain comme autrefois. Réjouissance de courte durée, car on connaît la suite : troupeaux anéantis, bêtes mourant de faim autour des points d'eau, que l'aide alimentaire ne put sauver, arrivant trop tard ; populations réduites à la mendicité et à l'assistance totale, ayant perdu leurs moyens de vivre.

Le maintien de nombreux troupeaux bovins dans le nord du Sahel expose et exposera toujours à de graves mécomptes, chaque fois qu'une sécheresse entraînera une défaillance des pâturages. Les pâturages ne devraient être exploités que temporairement, pendant les pluies et les semaines qui suivent, par les bovins, au nord de l'isohyète 300 mm. La transhumance et la mobilité des troupeaux devraient être préservées.

3. Conséquences de l'hydraulique pastorale sur la gestion des troupeaux

La mise en place des points d'eau permanents a eu des conséquences sur la conduite des troupeaux.

- **Mobilité**

Nous venons de le voir, elle a, en bien des cas, réduit la nécessité de transhumer pour retrouver plus au sud l'eau qui fait défaut au Nord-Sahel en saison sèche. Elle a favorisé la nomadisation autour du point d'eau, avec une permanence de troupeaux bovins dans les régions où cela était impossible auparavant. Ce faisant, l'hydraulique pastorale a augmenté la charge des parcours, assurant une exploitation plus complète de la biomasse produite annuellement. Mais en cas de sécheresse, la productivité de l'herbe devient alors insuffisante pour les troupeaux.

La mobilité s'est encore trouvée réduite par l'abandon des cures salées. Pendant les pluies, le bétail consommant de l'herbe jeune et s'abreuvant d'eau pluviale devait se minéraliser, notamment en sodium qui retient l'eau dans l'organisme (l'ion sodium est hydropigène). L'eau des forages, nous l'avons vu, en contient souvent sous forme de bicarbonates, de carbonates, de sulfates. Il suffit de 0,1 g de Na/litre pour que les besoins soient satisfaits.

Pour les animaux s'abreuvant aux forages, la cure salée est devenue le plus souvent inutile. Cela contribue à faire perdre les habitudes de mobilité des pasteurs qui n'ont plus besoin, annuellement, de déplacer leurs troupeaux vers les lieux où l'on rencontre des terres salées.

- **Surveillance des troupeaux**

L'hydraulique pastorale réalisée par des puits ou des forages a maintenu la grande tradition pastorale par la nécessité du puisage de l'eau et de l'abreuvement individuel des animaux.

Les forages avec pompage mécanique ont profondément bouleversé cette situation.

Comme il n'est plus nécessaire de tirer l'eau, le troupeau est conduit le plus souvent au forage par des enfants. Aux abreuvoirs un grand nombre d'animaux s'accumulent et boivent dans le désordre. L'ordre traditionnel observé auprès des puits où les animaux viennent docilement boire l'un après l'autre s'est perdu. La relation homme-animal se distend. Le pasteur qui connaissait à la perfection ses animaux n'a plus qu'un troupeau qu'il ne connaît que dans ses grandes lignes. Cela se produit aux dépens de la qualité de l'élevage.

- **Protection sanitaire**

Le rassemblement de nombreux animaux en un même endroit est un facteur de diffusion, nous l'avons dit, des épizooties. En revanche, il constitue un point de passage obligé où les agents des services de l'élevage ont la certitude de voir le bétail et de le vacciner. C'est ce qui a permis aux campagnes de vaccination, notamment celle du PC 15, d'être efficaces en zone pastorale où tous les troupeaux ont été vaccinés.

Les grandes épizooties y ont pratiquement disparu.

On peut opposer à cela le relatif échec de ces campagnes le long des fleuves où les animaux s'abreuvent de façon disséminées.

• **Contrôle administratif**

L'administration a plus de facilité, au niveau des forages, pour dénombrer les troupeaux et apprécier la fortune de leurs propriétaires. Si cela est très favorable au plan statistique, les pasteurs peuvent moins facilement dissimuler leur fortune.

• **Pérennité de l'élevage des grands nomades**

Les tribus nomades du Sahel, notamment touareg, étaient fortement hiérarchisées. Elles disposaient d'esclaves (Bellah du Gourma malien et du Sahel voltaïque, Bouzou du Niger). Depuis quelques années l'émancipation des esclaves a fait des progrès considérables. Nombre d'entre eux ont quitté leurs anciens maîtres et se sont installés cultivateurs, malheureusement dans les régions marginales de la culture du mil, non occupées par les sédentaires. Cette évolution a eu deux conséquences aussi importantes l'une que l'autre :

— les Bouzou et Bellah ont occupé et détruit par leurs cultures extensives de grandes surfaces de pâturages qui constituaient la principale réserve de saison sèche pour les troupeaux sahéliens ;

— sans esclaves, les Touareg devenaient incapables d'entretenir leurs troupeaux dès lors que le personnel chargé de tirer l'eau était défaillant.

Les forages mécanisés ont permis de sortir de cette impasse en rendant l'eau permanente dans les pâturages de la zone pastorale et en fournissant l'eau sans main-d'œuvre. Mais sortir d'une impasse n'est pas obligatoirement trouver une solution rationnelle. En repoussant l'élevage bovin trop loin au nord, on l'a condamné à périr lorsque la sécheresse est venue.

4. Réactions des éleveurs à l'installation des forages

Dans l'ensemble les forages ont été bien acceptés par les pasteurs. Mais leurs réactions ne sont pas toutes positives.

• **Motifs de satisfaction**

Le principal est, bien sûr, la suppression de l'exhaure traditionnelle. Lorsque l'eau est profonde (c'est souvent le cas) à 60 mètres ou plus, l'exhaure attelée constitue un travail lent et pénible. Pénible pour les animaux qui tirent, pénible aussi pour les hommes qui doivent transporter l'eau de la margelle du puits à l'abreuvoir. Le pasteur libéré de la contrainte quotidienne de puisage peut aller

aux marchés ou visiter sa famille de temps à autre. La vie sociale s'en trouve améliorée.

En réduisant l'attente au point d'eau, on gagne du temps et dans la mesure où le pâturage est abondant, les temps de pâture et de repos se trouvent prolongés (mais c'est rarement le cas).

Les commerçants viennent aux forages et la vente du bétail s'en trouve facilitée, ainsi que l'achat de grains, de sucre et de thé.

L'afflux des troupeaux aux forages, excessif parfois, est la preuve la plus irréfutable que les pasteurs ont adopté le système.

- **Motifs d'insatisfaction**

Autour du forage où se rassemblent chaque jour plusieurs milliers d'animaux, le piétinement devient très intense et la zone où la réserve de pailles se trouve précocement détruite s'étend largement.

Aux mois de mars à juin, de très vastes surfaces autour du forages se trouvent dénudées et il faut aller très loin pour trouver de la nourriture. Comme c'est l'époque où la chaleur s'élève au niveau le plus haut, les longues marches deviennent plus pénibles et tout alors concourt à épuiser les animaux. Cela n'a pas échappé aux pasteurs qui le déplorent, mais n'ont pas encore spontanément adopté une conduite qui permettrait de limiter le phénomène.

Les campements doivent donc s'intaller de plus en plus loin du point d'eau et le transport de l'eau devient plus long.

La concentration des animaux aux abreuvoirs, avec un désordre certain, facilite les vols de bétail. Le bétail volé peut cheminer en s'abreuvant incognito, la nuit, aux forages.

D'autres observations mineures sont faites : l'eau des forages est trop chaude, elle ne rafraîchit pas et abîme les outres ; les abords du forage souvent déboisés sont chauds en été et froids en hiver ; le temps devenu plus disponible et la venue des commerçants sont des facteurs d'accroissement des dépenses.

CHAPITRE X

POUR UNE HYDRAULIQUE PASTORALE ADAPTÉE

Au cours des chapitres précédents, nous avons analysé les divers aspects de l'hydraulique pastorale à la lumière des travaux et des observations faites au cours des deux dernières décennies.

Nous avons pu voir que les situations sont très diverses, à la fois quant aux disponibilités en eau, quant aux éleveurs et quant à l'élevage lui-même.

Par ailleurs, l'hydraulique pastorale ne doit pas être envisagée comme un phénomène isolé. Elle n'est que l'un des facteurs de la politique de développement de l'élevage des régions arides. Aussi, avant de tenter de définir des politiques d'hydraulique pastorale adaptées, essaierons-nous de résumer les grandes orientations que doit prendre la politique de l'élevage dans les zones arides, en tirant les enseignements de la récente sécheresse.

1. Orientations de l'élevage en zones arides

- **Régionalisation**

L'élevage des bovins est celui qui attire le plus les pasteurs, car il est le plus rémunérateur ; le bœuf est l'animal à viande qui se commercialise le mieux, par une filière organisée pour l'acheminer de ses pâturages jusqu'aux villes consommatrices.

Le lait de vache est le plus apprécié et chacun s'efforce d'avoir des bovins pour disposer de ce lait, qui représente la principale nourriture protéinique des pasteurs. En outre, l'élevage des bovins est noble. Les esclaves émancipés n'ont jamais le droit d'en élever après leur libération. Aussi s'établissent-ils comme

agriculteurs ou comme moutonniers (Bellah de l'Oudalan voltaïque).

Au cours des dernières décennies, en raison d'une pluviosité anormalement favorable, l'élevage bovin s'était développé dans les régions septentrionales, au-delà de la latitude 14°30', favorisé par des creusements de puits et de forages, en Mauritanie, au Mali, au Niger, au Tchad. La sécheresse récente a provoqué les catastrophes que l'on sait. Cela nous amène à considérer que le développement de l'élevage bovin permanent, loin au-delà de la limite de la culture du petit mil, ne devrait pas être encouragé.

La production du tapis graminéen y est trop aléatoire pour garantir une nourriture permanente des zébus.

En revanche, les régions du nord du Sahel et sahélo-saharienne peuvent être le siège d'un actif élevage de camelins et de chèvres. Ces espèces sont capables de subsister même si le tapis d'annuelles est défaillant une année, en broutant les graminées pérennes grossières comme *Aristida pallida*, *Panicum turgidum*, etc., mais aussi en consommant les rameaux des arbustes tels que *Leptadenia pyrotechnica*, *Balanites aegyptiaca*, etc.

Les moutons consomment aussi les arbustes, mais se limitent aux basses branches, ne pouvant accéder au feuillage élevé. Ils résistent bien à l'abreuvement tous les deux jours et leur élevage est à recommander à la limite de la zone de la culture du mil. Ils peuvent exploiter les pâturages où sont déjà passés les bovins, car ils rasent davantage l'herbe. Les troupeaux mixtes sont une bonne solution.

- **Organisation**

Le nomadisme nord-sahélien pratiqué par des pasteurs dont on ne peut ignorer ni supprimer le mode de vie devrait être orienté vers l'élevage des camelins et des petits ruminants. La reprise de l'élevage bovin, anéanti par la sécheresse, ne devrait pas être encouragée. Le souvenir de la récente catastrophe va incontestablement, pendant plusieurs années, limiter l'ambition de reconstituer un troupeau bovin chez ceux qui les ont perdus. Mais il est possible que, plus tard, le souvenir s'estompe et il faudra alors savoir résister.

Les régions sahéliennes, au nord des cultures, sont vastes et, en année moyenne, produisent une quantité d'herbe que les seuls troupeaux nomades ne sauraient utiliser. Aussi, pendant la saison

des pluies, les troupeaux bovins élevés pendant le reste de l'année dans la zone de culture du mil ou plus au sud encore peuvent-ils être conduits sur ces pâturages, pour revenir dans les zones de cultures alors que celles-ci ont été récoltées.

Cette transhumance, puisqu'il faut l'appeler par son nom, existe déjà et doit être encouragée car elle représente le meilleur moyen de gérer les troupeaux. Elle conserve l'habitude de mobilité qui peut être salutaire pour se tirer d'affaire en cas de calamité climatique. Elle permet le progrès social, donc le développement par la sédentarisation ou la semi-sédentarisation d'une partie de la famille qui peut, dès lors, bénéficier d'un certain nombre de services publics inaccessibles au nomade. Enfin, elle correspond à un rythme de vie commandé par la nature, mettant à l'abri des dégradations les cultures pendant qu'elles sont en place, puis permettant la fertilisation des champs, dès qu'elles sont récoltées.

Afin de maintenir le potentiel des steppes du Sahel, il faut éviter le surpâturage de saison des pluies. On sait que les graminées annuelles se reproduisent par leurs graines, lesquelles présentent toujours une certaine dormance. Une année sèche ou de pâturage intense ne suffit pas à épuiser le stock de graines du sol. Mais il conviendrait que, tous les trois ans, chaque pâturage soit mis au repos pour laisser se reconstituer ce stock.

Il est prévu de créer des unités pastorales sahéliennes, mais la façon de les faire fonctionner sera sans doute délicate. On sait que jusqu'ici les réglementations ont connu des difficultés d'application, lorsqu'elles ne sont pas restées lettre morte.

- **Stratification de la production et de la commercialisation**

Il est nécessaire que les producteurs sahéliens puissent écouler facilement leurs produits. A l'heure actuelle, il n'existe qu'un réseau efficace et organisé : celui du bovin adulte de boucherie. On peut y joindre, localement, celui du taurillon qui est recherché par les zones cotonnières pour faire des bœufs d'attelage.

Dans le cadre du développement des zones arides, il serait souhaitable que le troupeau soit essentiellement orienté vers la production des jeunes, en le débarrassant des élèves qui mettent trop longtemps à atteindre un poids suffisant pour la boucherie. L'embouche pourrait se faire plus au sud, soit à l'aide de pâturages artificiels, soit à l'aide de sous-produits agro-industriels ou de leur association. Cependant ce sera difficile à obtenir, car la séche-

resse passée à montré que les bœufs résistent mieux que les jeunes et les vaches allaitantes ; ils constituent une sécurité dans les troupeaux.

La commercialisation des taurillons doit tout de même être favorisée par des prix suffisants.

Il est nécessaire de mettre en place une commercialisation active des autres espèces. Le marché de la viande de petits ruminants se développe à la fois dans les pays côtiers (Nigeria, Côte-d'Ivoire) et chez les pays d'Afrique du Nord (Algérie, Libye). Comme le repeuplement du Sahel par les petits ruminants se fera plus rapidement que par les bovins, il faut organiser leur commercialisation.

Il serait souhaitable aussi de favoriser l'utilisation du chameau pour la boucherie, de manière à valoriser un excédent de production dans cette espèce.

2. Adaptation régionale des politiques d'hydraulique pastorale

Nous allons examiner successivement les principales situations que l'on rencontre.

- **Les régions qui disposent d'une bonne nappe phréatique continue.**

Elles sont sans aucun doute les plus favorisées au plan de l'hydraulique pastorale. L'eau est accessible par des puits traditionnels que les éleveurs creusent là où leur connaissance des pâturages en montre l'utilité.

Si l'eau est profonde ou si les terrains sont dangereux (sables boulants), des puits cimentés peuvent être construits car ils sont durables.

Mais ils ne sont pas indispensables et, dans ces régions, l'abreuvement du bétail a toujours été assuré et le sera toujours.

L'eau des puits est toujours de bonne qualité biologique et, chimiquement, il est rare qu'elle ne puisse pas convenir.

La traction attelée pour l'exhaure est un procédé à la fois traditionnel et efficace. Il faut le conserver avec toutes les habitudes des pasteurs (propriété des poulies, des cordes, des délous).

Le débit limité des puits évite les surcharges locales, ce qui favorise la conservation des pâturages.

• **Les régions qui disposent d'une nappe profonde.**

Cette nappe ne peut être exploitée que par des forages. On a dit de ces derniers qu'ils étaient des facteurs de désertification. Des études agrostologiques précises ont montré sans équivoque que la zone dégradée est très limitée, sans incidence notable sur la production fourragère de la région. Alentour, la productivité du pâturage serait même améliorée.

L'installation des forages a, sans discussion possible, permis une meilleure exploitation de vastes surfaces de pâturages sahéliens. Dans les régions où une nappe profonde existe, leur mise en place doit être recommandée sous quelques réserves et observations.

Le forage donne, par remontée, un niveau statique de profondeur modérée : jusqu'à 65-70 m.

L'exploitation de l'eau peut alors se faire par forage-puits. Jusqu'ici les forages-puits associent un seul puits à un forage, ce qui limite les débits d'exhaure par rapport aux possibilités du forage.

Des essais devraient être entrepris pour qu'un forage puisse alimenter deux puits-citernes communiquant à leur partie inférieure par un tubage horizontal. Cela permettrait d'installer 12 postes de puisage au lieu de 6, et de tirer à la vitesse de 8 m^3/h au lieu de 4. Cela correspondrait mieux aux possibilités d'un forage, même de faible diamètre.

Pour un accroissement de l'investissement d'environ un tiers, on doublerait la production d'eau.

Le puits-forage fait supporter au mètre cube d'eau d'abreuvement de lourdes charges d'investissement. En revanche, le coût de fonctionnement est nul et l'entretien très limité.

Si l'on considère que les pays sahéliens sont pauvres et ont besoin d'aide, les divers bailleurs de fonds devraient s'efforcer de financer des investissements qui n'entraînent pas de charges récurrentes insupportables aux budgets faibles, mais qui donnent des garanties de fonctionnement prolongé. Les forages-puits font partie de ces investissements-là.

Partout où ils peuvent être établis, en essayant de leur donner la productivité la meilleure (elle demeurera toujours faible par rapport au pompage mécanique), il faut en recommander la mise en place.

L'interruption spontanée du puisage pendant les pluies assure la protection du tapis herbacé environnant qui, pendant ce temps, peut faire son cycle et se régénérer.

Le forage ne donne pas une remontée suffisante.

Le niveau statique est plus bas que 70 mètres. Le pompage mécanique devient obligatoire. Ce dernier permet d'amener à la surface des quantités considérables d'eau.

Débit. L'équipement d'un forage exigeant un investissement élevé, il faut que cette charge soit répartie sur le nombre de mètres cubes le plus grand possible. On a calculé qu'il n'était pas raisonnable de construire un forage pour un débit inférieur à 20 m^3/h. Mais, en contrepartie, l'expérience montre qu'un forage qui débite plus de 30 m^3/h ne peut pas être valorisé par l'élevage, car il fournit une quantité d'eau capable d'abreuver plus d'animaux que n'en peuvent nourrir les pâturages. L'investissement, dès lors, ne peut pas s'amortir comme il serait souhaitable, et l'on s'expose à réunir autour du forage un trop grand nombre d'animaux.

La fourchette dans laquelle le débit prévisionnel du forage pastoral doit être envisagé est donc assez étroite. Situons-la entre 20 et 30 m^3/h, le second chiffre pouvant être maîtrisé par la puissance de pompage installée.

Protection du pâturage. La protection du pâturage environnant le forage doit faire l'objet de toute l'attention nécessaire, en raison du nombre élevé d'animaux qui vont fréquenter les abreuvoirs.

Il est absolument nécessaire de fermer le forage pendant au moins 120 jours par an, ou mieux 150 jours, pour permettre au tapis herbacé environnant de se régénérer.

Cette fermeture stricte s'opposera à l'urbanisation et à la naissance d'un phénomène de dégradation qui s'auto-accélère au fur et à mesure que l'urbanisation s'accroît.

L'allongement de la période de fermeture, hautement souhaitable, sera favorisé si l'on équipe les zones périphériques de points d'eau temporaires, à durée prolongée, de façon à permettre un retour retardé des troupeaux vers le forage. Cela est particulièrement important sur les parcours de transhumance. Les pasteurs sont parfois obligés de revenir précocement vers le forage, car des points d'eau, sur le parcours, peuvent être précocement taris ; ils ne peuvent risquer de laisser leurs animaux sans abreuvement

pendant plus de deux jours. Un réseau de points d'eau relativement durables doit être installé à une douzaine de kilomètres du forage et sur les parcours de retour des transhumants. On fera appel aux recreusements des puisards, des mares naturelles, à la création de mares artificielles, etc.

Mise en réserve du pâturage. La mise en réserve du pâturage pour la fin de la saison sèche n'a été, pour l'instant, nulle part résolue. Les troupeaux, dès qu'ils reviennent au forage, pâturent les pâturages les plus proches et exploitent l'herbe de façon centrifuge. C'est regrettable. En effet, au début de la saison sèche (décembre, janvier, février), la température est fraîche et les animaux ont des besoins en eau modérés. C'est l'époque où l'abreuvement tous les deux jours est le plus facile ; mis en pratique à ce moment de l'année, il permettrait d'aller pâturer les zones périphériques des pâturages. On réserverait les pâturages proches du forage, dans un rayon de 5 km, aux mois chauds. Cela limiterait les déplacements du bétail au moment où ils sont les plus pénibles et permettrait d'abreuver tous les jours pendant les mois où les besoins en eau sont les plus élevés.

Il faudrait, par accord avec les éleveurs, délimiter la zone de mise en réserve et décider du jour de son ouverture. Ces accords seront d'autant plus difficiles à obtenir que le forage sera utilisé par des ethnies différentes. Il faudrait s'efforcer d'affecter le forage aux pasteurs traditionnels de la région où il est implanté, et éviter l'afflux d'autres éleveurs. La notion de point d'eau public devrait être limitée. Il appartient aux gouvernements, dans chaque cas, de trouver une solution à ce délicat problème.

Implantation des forages. Les forages ne doivent être implantés qu'après une étude soignée. Comme nous l'avons dit plus haut, l'étude des potentialités des pâturages de la région doit être faite avec précision. Or ces potentialités sont plus importantes dans les zones à pluviométrie relativement abondante (400-500 mm par an). La densité de l'équipement en forages pourra être plus grande dans cette zone qui est à la limite des cultures. Toutefois, il n 'est pas bon d'implanter des forages à des distances inférieures à 25 km l'un de l'autre. Si le rayon de desserte est de 10 km, il est nécessaire de réserver entre les forages des zones qui ne seront exploitées que pendant les pluies. Cela permet une alternance des pâturages avec ceux de saison sèche, distribués autour du point d'eau. Plus on se situe au nord et moins les pâturages sont abon-

dants. Aussi la densité des forages doit-elle y être plus faible. Cela d'autant plus que l'on décidera de ne pas y encourager l'élevage bovin en dehors des mois humides. Les chameaux, et à un degré moindre les moutons, peuvent s'abreuver tous les deux ou même trois jours pendant la saison fraîche. Les points d'eau peuvent alors être éloignés les uns des autres de 40 à 50 km.

Il faut éviter un suréquipement d'hydraulique pastorale dans le nord du Sahel si l'on ne veut pas risquer la surexploitation par des charges anormales en bétail.

En conclusion, nous recommandons, là où des nappes profondes existent, un équipement important de la zone de culture de mil pénicillaire (isohyètes 600 à 350 mm), car c'est la zone où la densité en bétail est la plus forte. Plus au sud, la pluviométrie est déjà plus importante, la population plus dense et le forage a toutes les chances de devenir le pôle de développement d'une agglomération avec les avantages et les conséquences négatives sur l'environnement que cela comporte.

Mais il ne faudra pas alors imputer à l'hydraulique pastorale certaines dégradations de la nature liées à l'existence de toute agglomération.

- **Régions dépourvues de nappes souterraines continues**

Comme nous l'avons vu au premier chapitre, de très vastes régions ne disposent pas de nappes phréatiques continues ou de nappes profondes. Ce sont toutes les régions où le socle primaire affleure. On est donc essentiellement réduit à utiliser les eaux de surface.

Nous avons déjà décrit les maladies parasitaires, parfois graves, qui peuvent frapper les animaux qui s'abreuvent sans aucune précaution d'hygiène. Tirant argument de ces constatations, certains ont condamné le développement de l'élevage dans les régions où l'on ne peut pas se procurer d'eau souterraine, indemne de parasites. C'est une idée tout à fait abusive, car au prix d'un certain nombre de précautions, l'élevage peut y être réalisé avec succès.

Régions des fleuves

Les fleuves sont des pôles de transhumances et ils permettent l'élevage bovin dans des régions où normalement il ne devrait pas être. Tel est le cas du nord de la boucle du Niger (de Tombouctou à Gao) et de la basse vallée du Sénégal. Les troupeaux qui ont béné-

ficié de la poussée de l'herbe pendant les mois de juillet à octobre dans les pâturages de l'intérieur subissent une première disette et se rendent sur les pâturages d'attente qui longent le fleuve, en attendant la décrue. Lorsque celle-ci se produit en décembre ou janvier, de vastes surfaces s'exondent et le bétail va brouter pendant deux mois le bourgou. Il récupère alors un bon état d'embonpoint. Lorsque le bourgou est totalement consommé, le bétail retourne sur les pâturages d'attente, à quelques kilomètres, avec un retour quotidien au fleuve pour l'abreuvement. Mais les pâturages en question ont déjà été exploités et les mois qui séparent des pluies à venir sont très durs à passer.

Dans cette situation, il faut essayer d'économiser les pâturages d'attente entre les pluies et la décrue. Il faut s'efforcer de retarder le retour vers le fleuve, qui n'est pas provoqué par l'absence de pâturages, mais par le manque d'eau. Il est nécessaire de créer des points d'eau temporaires à durée prolongée, pour que le bétail puisse rester dans les pâturages de l'intérieur des terres jusqu'aux approches de décembre. Ces points d'eau devront être échelonnés vers le fleuve pour permettre le retour avec un abreuvement tous les deux jours au moins. Ils ne devraient pas être éloignés l'un de l'autre de plus de 50 km. On fera appel au surcreusement des mares naturelles, à la création de mares artificielles, à des barrages collinaires lorsque ce sera possible. Il faudra prévoir un dispositif d'abreuvement tel que les animaux n'aillent pas souiller le plan d'eau (voir chapitres précédents).

De cette façon, les pâturages voisins du fleuve pourront être réservés pour les mois d'attente entre la fin de la décrue et les nouvelles pluies.

Une vermifugation annuelle mixte (strongles et ascarides) sera faite sur les veaux.

Le traitement de la fasciolose ne doit être entrepris que si l'incidence de cette maladie est grande. (Ce qui est rare dans ces conditions.)

Régions éloignées des grands cours d'eau

Ce sont les régions les plus difficiles, sauf si elles sont relativement arrosées, comme la zone sahélo-soudanienne.

Il est impératif de retenir le maximum d'eau pluviale qui se rassemble dans les lits des cours d'eau temporaires. C'est là que le barrage collinaire devra jouer un rôle fondamental. Par la quan-

tité d'eau qu'il retient sur une forte épaisseur, il constituera un point d'eau permanent.

Il représente, beaucoup plus que le fleuve, un danger pour la santé animale, car il est voué, tôt ou tard, à devenir un gîte de mollusques, hôtes intermédiaires de trématodes : douves et paramphistomes. Il faut donc organiser un abreuvement indirect, soit par siphon, soit par pompage au moyen d'une éolienne.

La surveillance sanitaire devra être plus étroite, notamment pour la fasciolose. Des traitements systématiques pourront s'avérer nécessaires, mais il sera plus prudent de surveiller la prolifération des mollusques et de l'entraver par des mises à sec au début des pluies et par l'utilisation de molluscicides au moment de leur prolifération (janvier-février).

Si de telles précautions sont prises, en définitive relativement peu onéreuses, l'élevage peut être très florissant, même si l'on n'a ni bons puits, ni forages, ni fleuves. Cela n'empêche pas de rechercher les nappes phréatiques localisées, en général très mal connues dans leur extension, leur débit, leur pérennité. Lorsqu'on en décèlera, des puits, même de faible débit, pourront être un appoint non négligeable pour l'abreuvement du bétail.

SÉLECTION BIBLIOGRAPHIQUE

B.C.E.O.M.-I.E.M.V.T. – *Techniques rurales en Afrique. Tome 7 – Hydraulique pastorale* – 1973. Secrétariat d'Etat aux Affaires étrangères, éditeur.

BENAMOUR (A.) – *Hydrogéologie de la région de Liptako-Gourma. C.I.E.H.* – juin 1972, 73 p.

BERNUS (E.) – *Possibilités et limites de la politique d'hydraulique pastorale dans le Sahel nigérien* – Cah. O.R.S.T.O.M., Serv. Sci. Hum., vol XI n° 2, 1974, 119-126.

BILLE (J.-C.) – *L'écosystème sahélien de Feté Ole. Essai de bilan au niveau de la production primaire nette annuelle* – Rapport O.R.S.T.O.M., mai 1973, 65 p.

BIRGI (E.), GRABER (M.) – *Etude malacologique du lac de Fianga* – juillet 1969, Ronéo – 87 p.

BOUDET (G.) – *Manuel sur les pâturages tropicaux et les cultures fourragères. (2e éd.)* – 1975, 1 ouvrage, 254 p. Ministère de la Coopération-I.E.M.V.T., éditeurs.

B.R.G.M. – *Notices explicatives des cartes de planification pour l'exploitation des eaux souterraines de l'Afrique sahélienne.* – 1975 – Ministère de la Coopération.

C.I.E.H. – *Etude et recherche de matériels d'exhaure pour l'Afrique de l'Ouest* – Octobre 1964. Ministère de la Coopération- B.C.E.O.M., éditeurs.

DESCHIENS (R.) – *Les lacs de retenue des grands barrages dans les régions chaudes et tropicales, leur incidence sur les endémies parasitaires.* – Bull. soc. path. exot., 1970, 1, 35-51

DOUTRE (M.P.), CHAMBRON (J.) – *Le botulisme des ruminants et des équidés au Sénégal et en Mauritanie, conséquence pathologique des troubles nutritionnels.* – Economie et médecine animales, 1971, 12, 2, 117-129

GIRARDIER (J.-P.), GRETZ (J.) – *Le pompage de l'eau par l'énergie solaire.* – Le courrier, 1976, 35, 55-57.

GRABER (M.) – *Influence des facteurs climatiques sur les helminthiases des ruminants domestiques et sauvages d'Afrique.* – W.H.O./F.A.O. Working group « Weather and animal diseases » Rome, 1974.

GRABER (M.) – *Les trématodoses hépatiques et gastriques des zébus d'Afrique centrale.* – Rev. Elev. Méd. Vét. Pays trop., 1975, 28 (3), 311-314.

GRANIER (P.) – *Note sur les forages au Niger.* – Rapport annuel – I.E.M.V.T. Niger, 1976.

GRANIER (P.) – *Note sur le comportement du bétail en zone sahélienne.* – Rapport annuel – I.E.M.V.T. Niger 1976.

MOREL (P.-C.) – *Helminthoses du bétail liées au milieu aquatique.* – Cahiers du C.E.N.E.C.A./C.I. 1976, 5214.

RECEVEUR (P.) – *Aménagements pastoraux en zone sahélienne.* – Rapport I.E.M.V.T. 1975, 13 p.

RIVIERE (R.) – *Valeur nutritive des fourrages tropicaux.* – Colloque sur les cultures fourragères en Afrique de l'Ouest. I.I.T.A. Ibadan, 26-30 avril 1971.

ROBINET (A.-H.) – *L'eau et le développement de l'élevage au Sahel.* – Le Courrier de l'Association, 1974, 23, 29-35.

S.C.E.T. International – *Programme d'hydraulique au Sahel.* – Décembre 1973, Tome I, 210 p. – Secrétariat d'Etat aux Affaires étrangères, République de Haute-Volta.

SERRES (H.) – *Pourquoi le mouton en zone tropicale ?* – Journées techniques « Production animale » 1975, I.E.M.V.T. – Ministère de la Coopération,éditeurs.

SERRES (H.) – *Les problèmes de l'abreuvement du bétail en Afrique tropicale sèche.* – Cahiers du C.E.N.E.C.A./C.I. 1976.

POLITIQUES D'HYDRAULIQUE PASTORALE

INTRODUCTION

I.	LES DISPONIBILITÉS EN EAU	1
1.	Pluviosité	1
2.	Les eaux de surface	2
a)	Les cours d'eau	2
b)	Les lacs	4
c)	Les mares	4
3.	Les eaux souterraines	5
a)	Les nappes superficielles	6
b)	Les nappes profondes	8
II.	L'ACCÈS A L'EAU	21
1.	Les eaux de surface	21
2.	Les eaux souterraines	30
a)	Exploitation par des puits	30
b)	Les forages	36
III.	L'HEXHAURE DE L'EAU	45
1.	L'exhaure traditionnelle	45
2.	L'exhaure modernisée	47

IV. LE COÛT DE L'EAU 53
1. Les puits modernes 53
2. Les forages 55
3. Forage-puits 57
4. Conclusion 58

V. LA QUALITÉ DE L'EAU 59
1. Minéralisation de l'eau 59
2. La maladie des forages 61
3. Les maladies parasitaires 62
4. Maladies contagieuses 67

VI. LE BÉTAIL ET L'EAU 69
1. Les formes de l'eau dans l'organisme 69
2. L'eau et la thermolyse 70
3. La résistance des animaux à la privation de l'eau 70
4. Comportement des bovins selon le rythme d'abreuvement 73
5. Les besoins en eau 74

VII. ÉVALUATION DES PÂTURAGES 77
1. Étude qualitative des pâturages 77
2. Productivité des pâturages 82

VIII. LE POINT D'EAU ET LA VÉGÉTATION ENVIRONNANTE 87
1. Le problème 87
2. L'exemple d'Ekinaouane 89
3. L'exemple de Feté Ole 93
4. Conclusion 94

IX. LE POINT D'EAU ET LA VIE PASTORALE 95
1. Le point d'eau dans le pastoralisme traditionnel 95
2. Influence des programmes d'hydraulique pastorale 98
3. Conséquences de l'hydraulique pastorale sur la gestion des troupeaux 102
4. Réactions des éleveurs à l'installation des forages 104

X. POUR UNE HYDRAULIQUE PASTORALE ADAPTÉE 107
1. Orientations de l'élevage en zones arides 107
2. Adaptation régionale des politiques d'hydraulique pastorale 110
Bibliographie 117

Achevé d'imprimer sur les presses de l'Imprimerie Bayeusaine
pour le compte des Editions GEDITEC.
Dépôt légal n° 4287 - 1er trimestre 1981.
Imprimé en France

agence de coopération culturelle et technique
19, avenue de Messine, 75008 Paris – France

conseil international de la langue française
103 rue de Lille Paris 75007