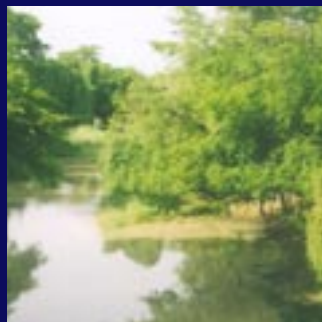
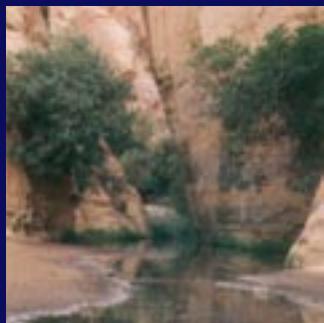
A scenic view of a riverbank. A white boat is docked under a large, leafy tree. The water is calm and reflects the surrounding greenery. In the foreground, there are some green plants and bushes. The overall atmosphere is peaceful and natural.

LE BILAN-DIAGNOSTIC DES RESSOURCES EN EAU

PARTIE 1



LES RESSOURCES EN EAU DE SURFACE ET LES ÉCOSYSTÈMES AQUATIQUES

I LE DIAGNOSTIC DE L'ÉTAT DES RESSOURCES EN EAU DE SURFACE

Couvrant les zones de climat saharien au climat soudanien, le Tchad est soumis à une pluviométrie variable non seulement dans l'espace, avec un fort gradient latitudinal, mais aussi dans le temps selon une forte saisonnalité et des inégalités interannuelles particulièrement sensibles. Les eaux de surface ne sont accessibles que sur une fraction du territoire et à une faible proportion de la population. La compétition pour les usages, les besoins du développement, l'augmentation des besoins individuels, l'accroissement de la population, la nécessité de planifier l'avenir en conservant les milieux naturels et la biodiversité sont autant de raisons pour essayer de mettre en place une gestion concertée de la ressource hydrique. Cette gestion doit en outre tenir compte des pays voisins en raison du caractère international de la plupart des ressources de surface ou souterraines du Tchad.

Si une vision globale à l'échelle du pays est nécessaire, la diversité des situations impose de le diviser en zones plus homogènes, bioclimatiques, selon des situations types qui seront analysées. Il s'agit donc de croiser des types de fonctionnement des systèmes hydriques avec des zones climatiques et des classes d'usages.

Dans cette approche, la notion centrale de « ressource » doit être précisée. Il ne suffit pas qu'il y ait de l'eau quelque part à un moment donné pour en faire une ressource exploitable. Il faut également un usage ou un besoin exprimé ou potentiel qui correspond au lieu et au moment de disponibilité de l'eau. Il faut, enfin, se soucier de la durabilité de l'usage en comparant le renouvellement de la ressource aux besoins exprimés et à la nécessité de conservation de l'environnement. En fait, l'environnement des milieux aquatiques et l'hydrologie sont particulièrement interdépendants.

A priori, la **demande actuelle en prélèvements d'eau de surface est quantitativement de faible importance** en moyenne annuelle. Elle pourrait devenir relativement importante par rapport à la ressource disponible si l'irrigation de contre-saison se développe le long des fleuves ou si les périmètres établis sur les rives du Lac Tchad deviennent pleinement opérationnels.

Il est par contre manifeste que les **milieux aquatiques permanents** ou temporaires ont une **grande importance** au Tchad non seulement pour la pêche, l'agriculture de décrue et l'élevage, mais aussi comme zones refuges lors d'épisodes de sécheresse (1984) ou de mauvaise répartition des pluies (2000).

C'est donc sur le triptyque présence eau-usage-durabilité que s'organise cette partie sur l'hydrologie et l'environnement aquatique, avec prise en compte des évolutions possibles dans le futur.

I.1 La situation générale et les données disponibles

Une période relativement humide a prévalu de la fin des années 40 à la fin des années 60. C'est la période pendant laquelle la plupart des données de base, en particulier hydrologiques, ont été récoltées et utilisées pour les premières synthèses publiées. Cette période est terminée. La situation actuelle est marquée par une relative sécheresse qui dure depuis 1973. Les données hydrologiques correspondantes sont moins nombreuses, mais ce sont celles à utiliser pour rendre compte des ressources hydriques actuellement disponibles. Bien que des observations sur la période 1985-1999 indiquent une légère tendance à une augmentation des débits du Chari, il n'est pas possible de prévoir l'évolution de la pluviométrie ou des ressources en eau superficielles dans les prochaines années.

Une évaluation hydrologique de l'Afrique subsaharienne couvrant les pays de l'Afrique de l'Ouest a été réalisée par la Banque Mondiale, le PNUD, la BAD et le Ministère Français de la Coopération (1992). Les rapporteurs ont considéré comme bon l'état des données et de fonctionnement des principales stations du réseau tchadien de suivi hydrologique. Un optimisme régnait alors, après une période de forte perturbation nationale, et faisait espérer une amélioration du suivi des hydro-systèmes dans le cadre d'une phase de reconstruction nationale. Aujourd'hui, faute d'accès au terrain des équipes de la DREM, il règne une suspicion générale sur la validité des données recueillies. En ce qui concerne certaines stations, on sait que des échelles sont penchées; on suppose que d'autres ont été déplacées; il n'y a pas eu de jaugeages ni de vérifications de l'activité des lecteurs depuis plusieurs années. Cependant, les données continuent d'être enregistrées. De plus, le logiciel de gestion de ces données tient compte des changements enregistrés de calage d'échelle dans le calcul des débits, mais pas dans l'affichage des cotes, ce qui rend difficile leur étude.

En 2000, la DREM classe comme « opérationnelles » 19 stations sur le Chari et le Lac Tchad, 17 stations sur le Logone, 7 sur le Mayo-Kebbi, 5 sur le Batha et aucune en zone saharienne où seules des stations expérimentales avaient été installées pour une période d'un à trois ans dans les années 60.

Le fait d'être considérée opérationnelle ne signifie pas qu'une station fournit des données régulières ou stables, mais plutôt qu'il y a possibilité d'en obtenir quand le service a les moyens de faire fonctionner le réseau. On peut noter ici l'intérêt d'une décentralisation des services de la DREM qui se trouveraient ainsi plus proches des stations de mesure et plus concernés par les observations.

Au niveau national, dans un contexte général aride sédimentaire (à l'exception de la station de Baïbokoum), la densité des stations dites « en activité » est sensiblement inférieure à celle recommandée par les normes UNESCO-OMM (densité pour 10 000 km² de bassin actif). Le tableau I compare la densité souhaitable à la densité réelle des stations hydrométriques au Tchad.

Tableau I : Densité souhaitable et densité réelle des stations hydrométriques au Tchad

| Type de stations | Densité recommandée | Densité réelle |
|--------------------------------------|---------------------|----------------|
| Stations de niveau sans enregistreur | 1,2 | 0,8 |
| Stations de niveau avec enregistreur | 0,6 | 0,16 |
| Stations de débit fluvial | 1 | 0,6 |
| Stations de débit solide | 0,7 | 0 |
| Stations de qualité des eaux | 0,7 | 0 |

Source : SDEA 2001

Le nombre actuel de stations a cependant été jugé lors de l'évaluation comme suffisant pour le suivi des grands cours d'eau permanents et des corrélations interstations nombreuses établies par le passé pour interpoler sur le maillage du réseau.

Néanmoins, ce réseau est loin d'être pleinement opérationnel. D'une part, il ne répond que très partiellement aux questions concernant les usages et les ressources; d'autre part, il est centré sur les grands cours d'eau permanents. Enfin, aucune donnée n'est disponible sur la qualité actuelle des eaux ou sur le débit solide.

1.2 Les précipitations : bilan de l'évolution récente

Les précipitations sont à l'origine des eaux superficielles courantes ou stagnantes. Dans plusieurs cas, le niveau de ces masses d'eau fait fonction d'amplificateur des variations saisonnières ou interannuelles de la pluviosité. En ce sens, le débit annuel du Chari à N'Djaména est un intégrateur des précipitations sur son bassin versant, avec des variations relatives bien supérieures à celles de la pluie sur son bassin versant.

À une échelle plus fine, la distribution spatiotemporelle des pluies constitue la donnée première pour les cultures pluviales et parfois pour les cultures de décrue. C'est celle qui intéresse le terroir et la récolte de l'année. Sa variabilité, stationnelle, est beaucoup plus grande que celle du bassin ou de la zone climatique.

La distribution dans le temps et dans l'espace des précipitations sur la moitié sud du Tchad est liée aux migrations du Front InterTropical (FIT) ou Zone de Convergence Inter-Tropicale (ITCZ). Les pluies surviennent au sud de ce front qui passe à N'Djaména vers la mi-mai et redescend vers la fin septembre. Dans le sud du pays, la saison des pluies commence plus tôt et finit plus tard, d'un mois environ. L'extension vers le nord du déplacement du FIT détermine l'importance de la saison des pluies en durée et en quantité. Si le FIT se cantonne relativement au sud, il peut ne pas pleuvoir au nord du 15^e parallèle; la saison est alors généralement courte et peu abondante sur le reste du pays.

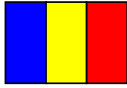
La limite d'influence régulière du FIT se situe vers le 17^e parallèle : Fada et Faya présentent encore une saisonnalité des pluies et, sur le long terme, une corrélation avec l'avancée annuelle du FIT. Occasionnellement, cette influence peut atteindre, sur le versant sud-ouest du Tibesti, la latitude de Bardai, vers le 21° N. Dans l'extrême nord du Tchad, les précipitations ne sont pas générées par les déplacements du FIT. Elles résultent d'accidents de la circulation atmosphérique et ne présentent pas de saisonnalité définie. Il existe, bien sûr, une zone de recouvrement de ces deux types d'influence, ce qui pourrait expliquer, en particulier, le découplage entre les variations interannuelles de niveau des lacs Tchad et Fitri.

À titre indicatif, les pluies annuelles de quelques stations réparties du nord au sud du pays sont présentées à la figure 1. Une tendance globale à la décroissance sur la période de mesure apparaît pour la plupart d'entre elles et la période récente reste déficitaire par rapport à celle de 1950-1970. Sahr, N'Djaména et Mao, parmi les exemples choisis, indiquent cependant une légère tendance de croissance depuis 1984. Cette tendance n'est pas confirmée par les autres stations représentées, mais les débits fluviaux, amplificateurs des variations de la pluviosité, sont à ce sujet plus explicites.

La distribution des isohyètes sur l'ensemble de l'Afrique de l'Ouest a été étudiée en détail pour la période 1951-1989 (voir figure 2). Les auteurs comparent, en particulier, les périodes 1951-1969 et 1970-1989. On constate un décalage vers le sud des isolignes de l'ordre de 120 à 150 km, ce qui correspond à une décroissance de 100 à 130 mm dans l'ensemble du pays au sud du 14^e parallèle. Ceci s'applique aux valeurs moyennes interannuelles de la pluviosité et n'aurait que peu de sens pour une année donnée à un endroit précis, compte tenu de la variabilité spatiotemporelle de la distribution des pluies.

Il n'y a pas de synthèse récente (portant sur la période 1990-2000) et suffisamment générale sur l'évolution de la pluviosité régionale. Cependant, on peut considérer que le Lac Tchad est un bon intégrateur de l'évolution climatique du bassin, bien relié aux indices pluviométriques régionaux conçus jusqu'en 1990. Les variations de niveau du lac et des apports fluviaux par le Chari donnent une bonne idée des variations climatiques de la période récente : après un point très bas en 1984-1985 apparaît une tendance à une augmentation (dont on ne peut évidemment pas dire qu'elle va se prolonger), confortée par les années 1998 et 1999.

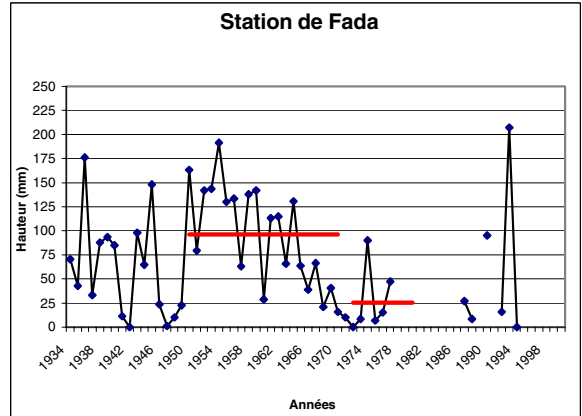
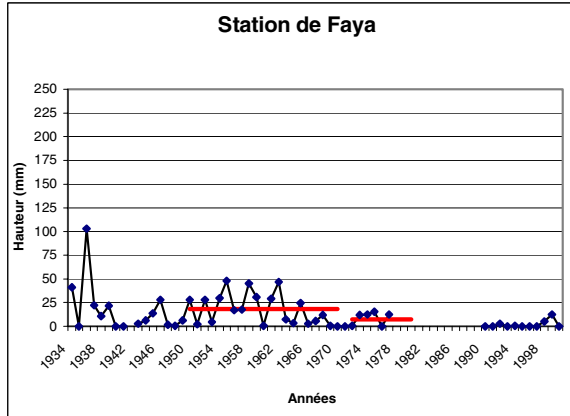
Pour ce qui est des eaux de surface, nous considérons que depuis les années 1972-1973 une période de sécheresse relative sévit sur l'ensemble du bassin, avec un point bas en 1984. Comparativement à la période antérieure plus arrosée, il y a donc une tendance globale à l'aridité. Mais il n'y a pas de tendance nette au cours des trente dernières années. Il est par contre possible que les effets cumulés de cette période aride se manifestent avec un effet retard par des changements de végétation et une susceptibilité accrue à l'érosion, en particulier dans la zone sahélienne.



République du Tchad

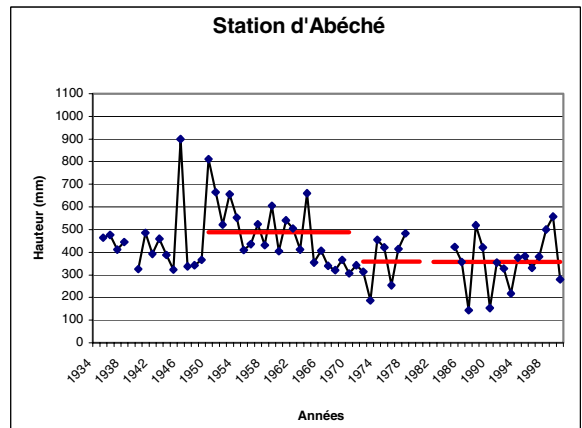
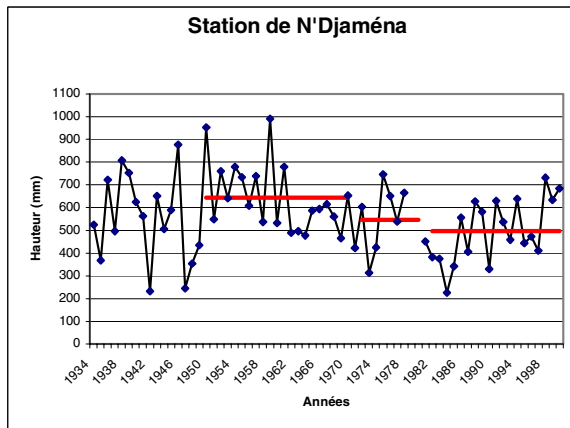
Figure 1: Pluviométrie annuelle de stations représentatives

Zone saharienne



— Moyenne

Zone sahélienne



Zone soudanienne

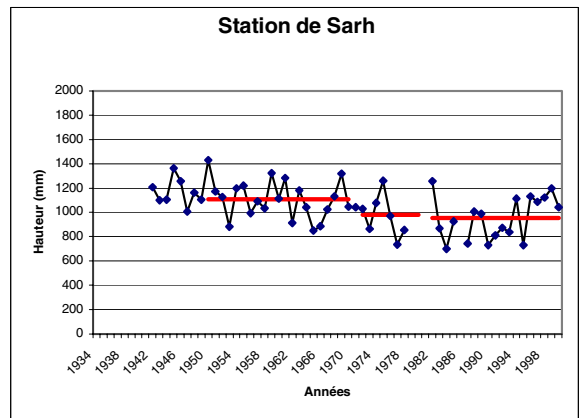
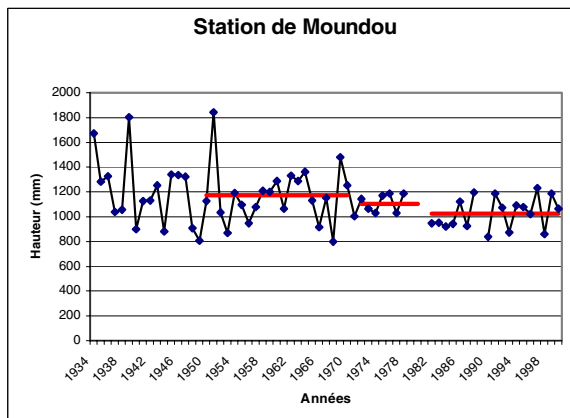
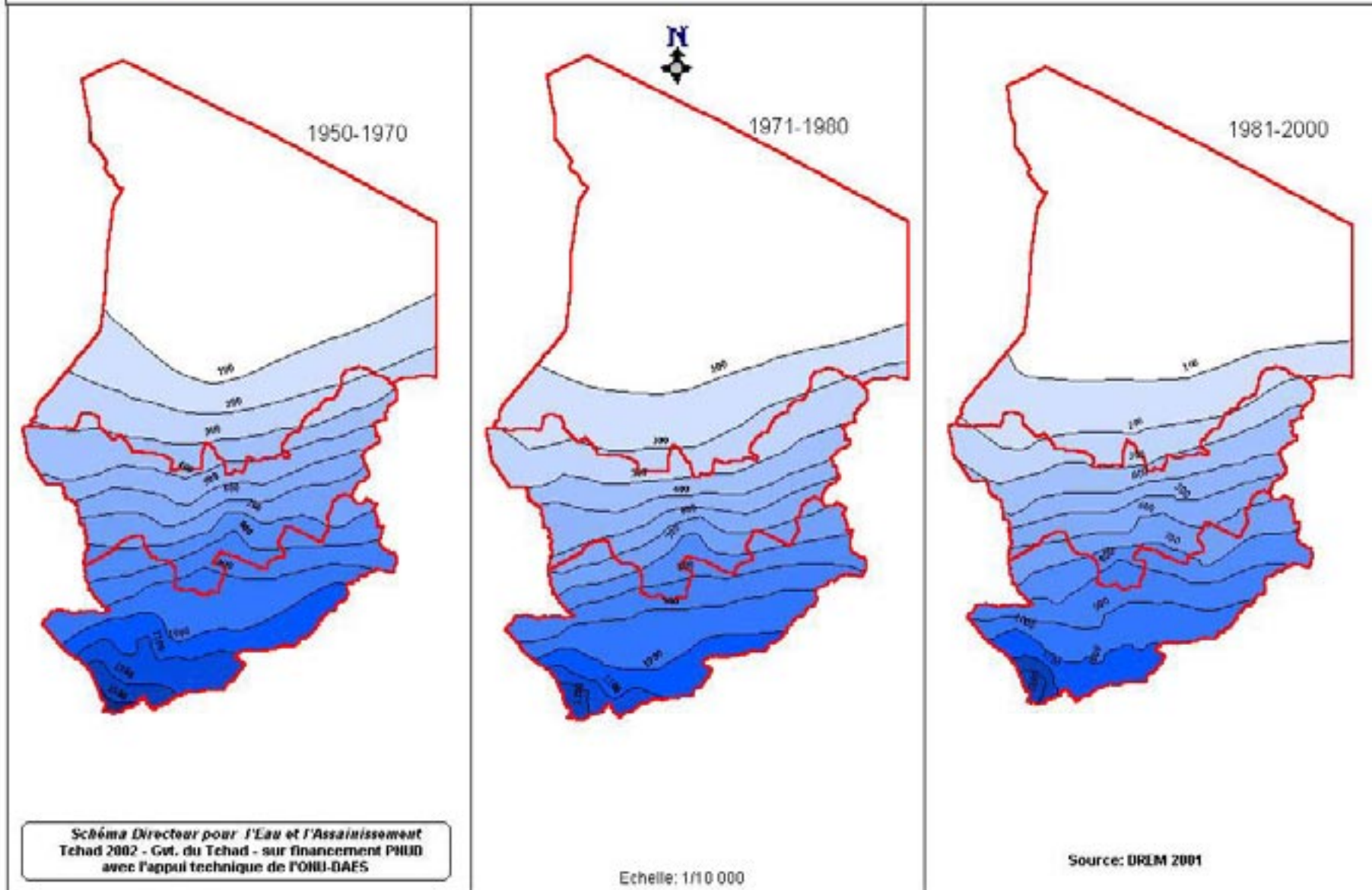


Schéma Directeur de l'Eau et de l'Assainissement
Tchad 2002 – Gvt. du Tchad – sur financement PNUD et
Avec l'appui technique de l'ONU-DAES

Source : DREM 2001



République du Tchad
Figure 2: Variabilité pluviométrique à long terme



1.3 La description générale des hydrosystèmes de surface

Les principaux ensembles hydrographiques sont inclus dans la cuvette tchadienne bordée par un ensemble de massifs, le Tibesti, l'Ennedi, le Ouaddaï au nord et à l'est, la dorsale centrafricaine au sud et les monts de l'Adamaoua au sud-ouest.

Ce sont :

- le bassin du Chari et du Logone, avec leurs plaines d'inondation et le Lac Tchad;
- le bassin du Batha avec le lac Fitri;
- le bassin du Mayo-Kebbi avec les lacs toubouris;
- les bassins à écoulement temporaire des zones désertiques à subdésertiques au nord du 14^e parallèle.

À ces grands ensembles, il faut ajouter des masses d'eau plus réduites, parfois assez nombreuses et localement importantes pour les populations : les ouaddis du Kanem et du Ouaddaï, les mares naturelles et artificielles, quelques retenues artificielles, les oasis du BET et les lacs de l'Ennedi, du Borkou et du Tibesti.

1.3.1 Le bassin Chari-Logone

1.3.1.1 Les fleuves

Le Chari, à son entrée au Tchad, est constitué par la réunion du Bamingui, du Gribingui et du Bangoran qui drainent un bassin de 80 000 km² entièrement situé en République Centrafricaine (RCA) (voir figure 3). Il est rejoint sur la rive droite par le Barh Aouk, qui suit la frontière entre le Tchad et la RCA et draine un bassin de 100 000 km², avec une très faible pente donnant lieu à l'inondation de grandes surfaces. De la confluence avec le Barh Aouk au Lac Tchad, la pente moyenne du fleuve est de 0,10 m/km, ce qui engendre une dégradation marquée du cours, avec présence de plaines inondables (plaine de Massénya) et d'effluents (Barh Erguig).

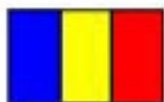
Les trois affluents de la rive droite du haut bassin, orientés est-ouest, Barh Aouk, Barh Keita et Barh Salamat, sont issus des contreforts soudanais du Djebel Marra. Ils contribuent à inonder ou à drainer de vastes plaines dont le fonctionnement hydrique est encore mal connu.

Le Logone est également formé par la réunion de deux rivières, issues du massif de l'Adamaoua au Cameroun, soit la Vina et la Mbéré qui confluent à la frontière des deux pays. Le Logone reçoit en rive droite la Lim (4 500 km²), en aval de Baïbokoum. Le bassin du Haut Logone, qui comprend ces trois rivières, est situé dans les hauts plateaux de l'Adamaoua, comprenant des vallées encaissées dans les massifs granitiques. Plus en aval, en rive gauche, le Logone reçoit la Nya (3 000 km²) et à nouveau en rive droite, la Pendé, plus importante (15 000 km²). Ensuite commencent les plaines inondables du Continental Terminal, avec un cours très dégradé et une pente moyenne de 0,25 m/km à Lai et de 0,14 m/km entre cette ville et N'Djaména.

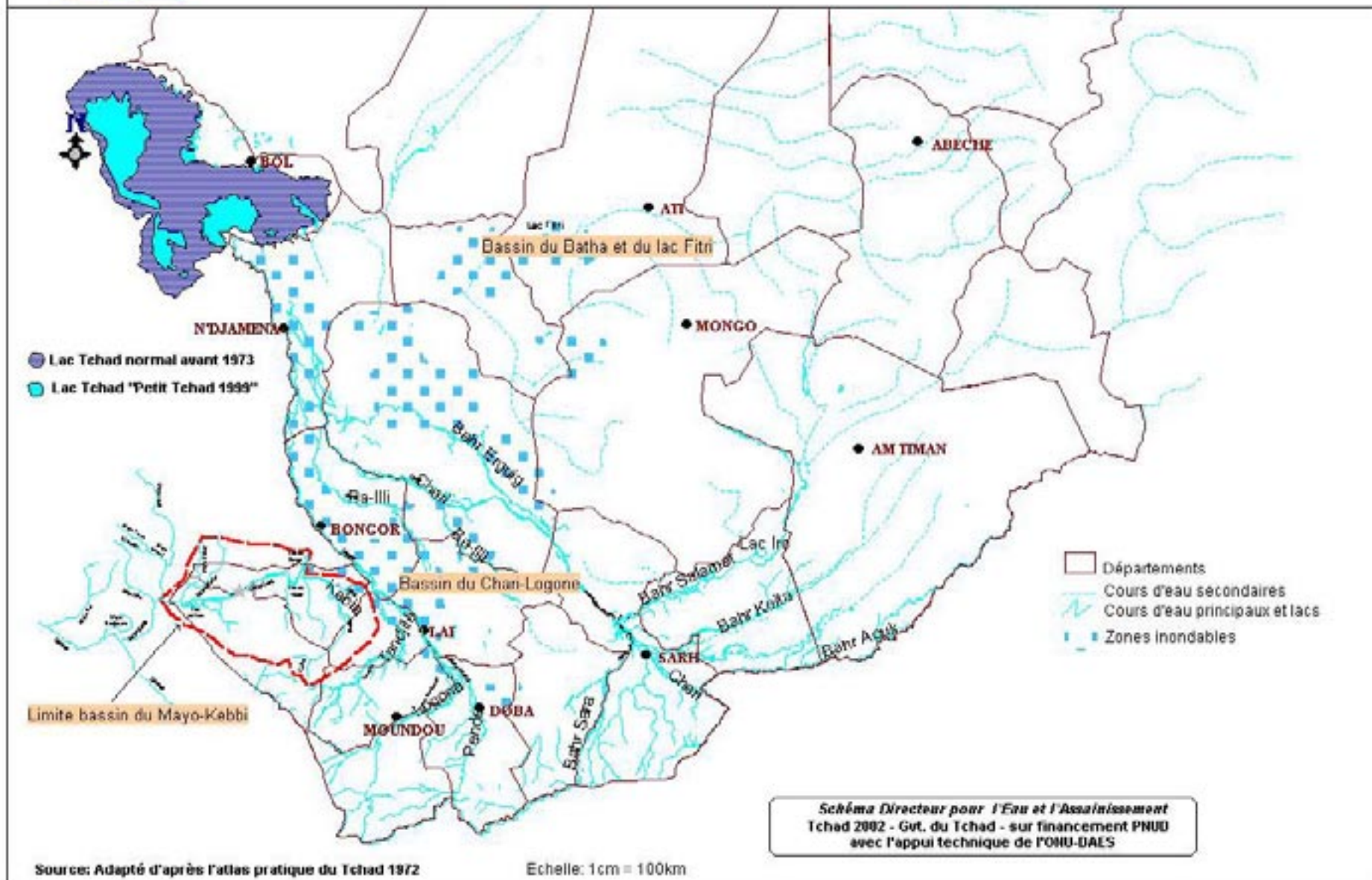
En aval de Sahr pour le Chari et de Lai pour le Logone, de multiples connexions de défluent ou effluent caractérisent le cours des deux fleuves.

En rive droite du Chari, le Barh Erguig est un défluent qui alimente la plaine inondable de Massénya. Celle-ci est en partie drainée par le même Barh Erguig vers le Chari à la hauteur de Kalgoa et se prolonge vers Linia, à 30 km au sud-est de N'Djaména. Le Barh Linia draine la plaine vers le nord-est en contournant la capitale par l'est. Des rivières issues de l'ouest du massif du Guéra alimentent également cette plaine. En rive gauche, le Ba Illi du Sud draine une petite plaine vers le Chari.

Concernant le Logone, les débordements dans les parties basses du bourrelet de rive commencent après Lai, en rive droite vers la grande plaine drainée par le Ba Illi du Nord et d'autres dépressions secondaires (naturelles et artificielles), et en rive gauche par les seuils entre Eéré et Bongor vers la dépression Toubouri et le cours du Mayo-Kebbi vers la Bénoué (400 millions de m³ en année de bonne hydraulité, soit un millième de l'apport au Lac Tchad par le Chari). Les premières observations hydrologiques ont eu lieu dans cette région, car la question se posait d'une possible capture du Logone par le Mayo-Kebbi. Les chutes Gauthiot, entre Mbourao et Tréné, pourraient donner lieu à une production hydroélectrique.



République du Tchad
Figure 3 : Les principaux cours d'eau du Tchad



En aval de Bongor, une série de défluent alimente le Grand Yaéré du Nord Cameroun et la plaine entre le Chari et le Logone par des mécanismes complexes, sur une surface de l'ordre de 12 000 km². Le barrage de Bama, en amont direct du yaéré stocke une partie des eaux de crue du Logone et de mayos issus des monts Mandara pour l'irrigation des rizières dans le yaéré. Le projet Waza-Logone, qui gère la ressource en eau, a expérimenté récemment une inondation partielle du yaéré en aval afin de sauvegarder la biodiversité et la capacité d'accueil dans la plaine inondable pour la faune sauvage et en particulier dans le Parc National de Waza. D'après ses promoteurs, cette expérience a été un succès pour la conservation de la flore et de la faune du yaéré.

L'El Beïd draine le yaéré vers le Lac Tchad. Le Grand Yaéré du Nord Cameroun s'étendait autrefois jusqu'à la pointe sud du Lac Tchad. Il est maintenant limité dans son extension par la route Kousseri-Maltam-Mora qui forme une digue, avec un pont sur l'El Beïd, ce qui donne à ce cours d'eau une importance particulière puisqu'il est ainsi le principal exutoire des eaux du yaéré.

En aval de N'Djaména, la Serbewel et le Taf Taf sont les derniers défluent de la rive gauche du Chari avant un vaste delta à branches multiples. En rive droite, à la hauteur de Djimtilo, un petit défluent autrefois barré par la route qui longe le fleuve a été rendu à nouveau actif par la pose d'une buse. La petite plaine d'inondation ainsi recréée permet des cultures de décrue et du maraîchage sur une quarantaine d'hectares. Cet exemple montre, encore une fois, la sensibilité des surfaces inondables aux interventions du génie civil.

1.3.1.2 Les débits

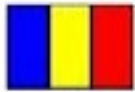
Les contributions relatives des différents cours d'eau sont présentées à la figure 4, avec des valeurs moyennes pour la période 1968-1998. Les apports annuels du Chari à N'Djaména TP en aval de la confluence du Logone (figure 5) ont été successivement les suivants :

| Périodes | Milliards de m ³ | Moyennes annuelles |
|-----------|-----------------------------|--|
| 1960-1969 | 41 | 1 300 m ³ /s |
| 1970-1979 | 31,1 | 987 m ³ /s |
| 1980-1989 | 16,6 | 526 m ³ /s (deux années manquantes) |
| 1984-1985 | 6,7 | (année de sécheresse record) |
| 1990-1999 | 20,4 | 647 m ³ /s |
| 1999-2000 | 31,5 | 1 000 m ³ /s |
| 2000-2001 | 25 | 792 m ³ /s |
| 2001-2002 | 28,5 | |

Si l'on considère que les années de bonne hydraulité se situent avant 1971 et les années sèches après 1971, les débits moyens du Chari à N'Djaména sont respectivement de 39,1 milliards de m³ (1950-1971) et de 21,8 milliards de m³ (1972-2000, dont deux années manquantes). À cette période de sécheresse est associée une modification de la courbe de tarissement.

La variabilité à moyen terme (pluriannuelle) des débits est donc notable de même que la variabilité interannuelle. On observe à N'Djaména une tendance à la diminution des apports vers le début des années 60, jusqu'à un point bas en 1984-1985. Depuis, la tendance récente à un accroissement des niveaux et débits maximaux et minimaux est à souligner.

En ce qui concerne les usages, deux aspects méritent une attention spéciale : d'une part, les hauteurs maximales des niveaux des fleuves qui conditionnent l'inondation des plaines et des agglomérations; d'autre part, les niveaux ou débits d'étiage, importants pour les prélèvements des périmètres irrigués ainsi que pour la conservation des peuplements de poissons.



République du Tchad

Figure 4 : Schéma des débits moyens du système Chari-Logone
(Période 1968-1998)

Volume en milliards de m³

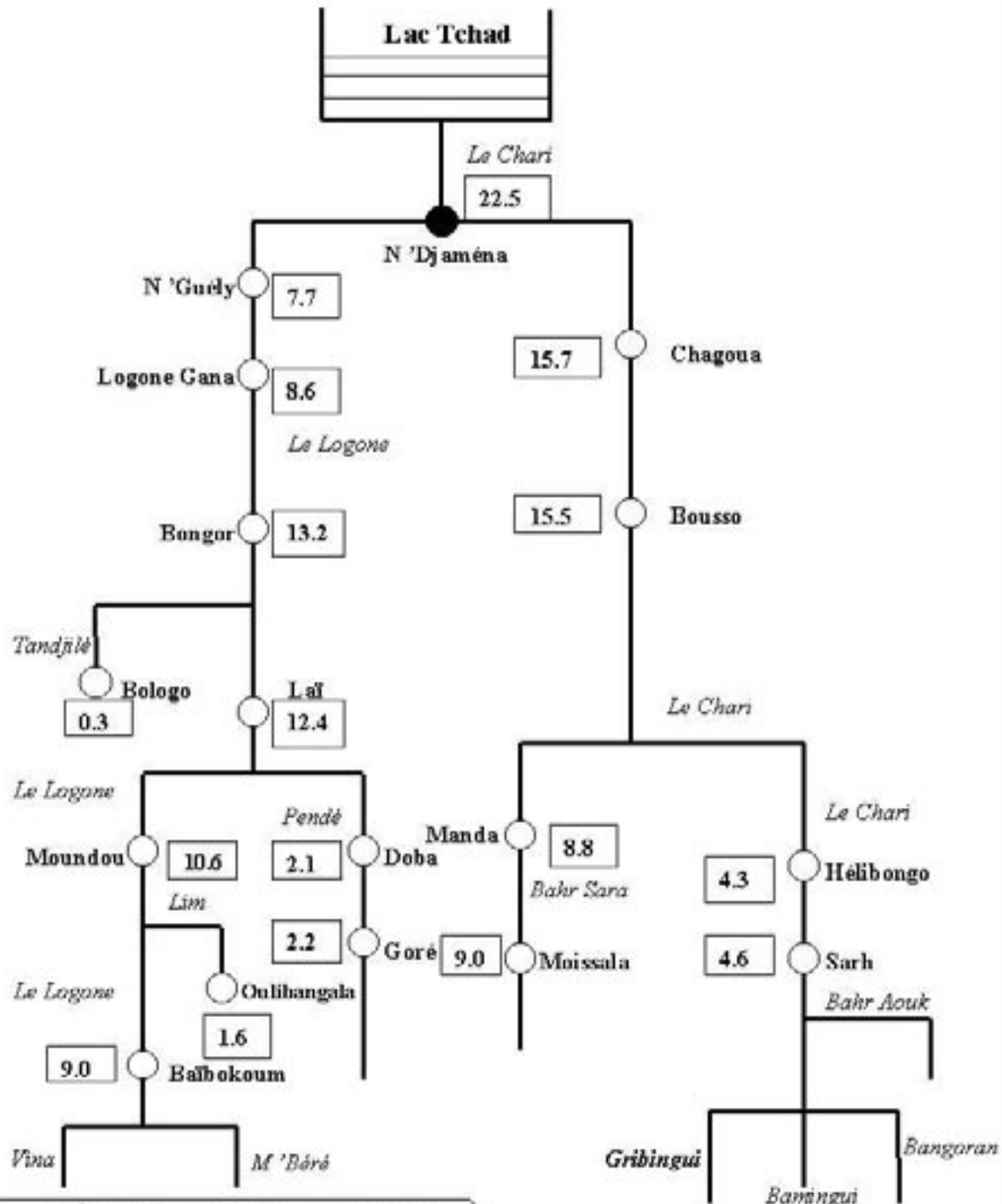
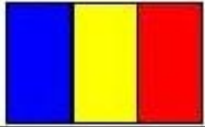


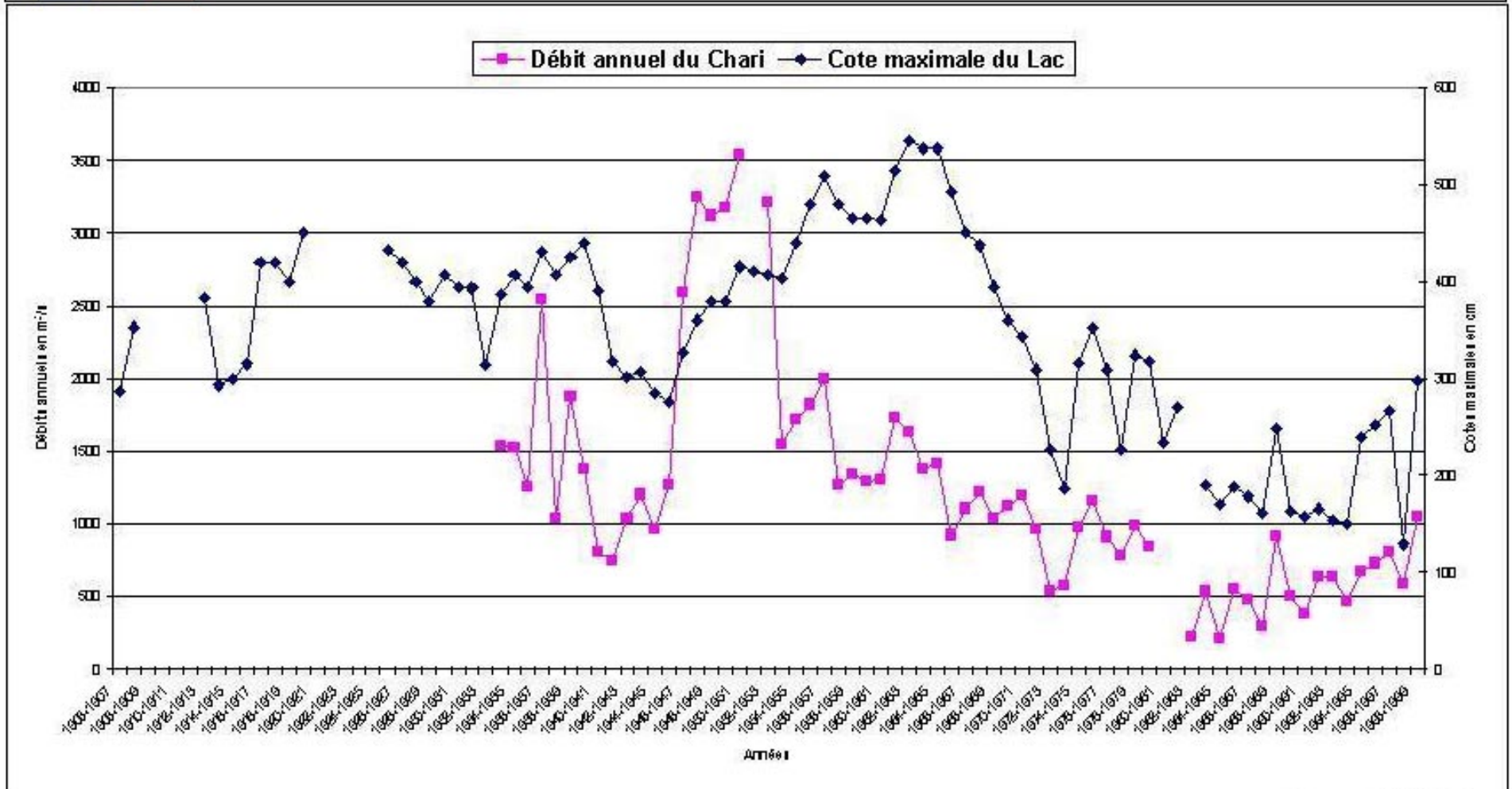
Schéma Directeur pour l'Eau et l'Assainissement Tchad 2002 - Gut. du Tchad - sur financement PNUD avec l'appui technique de l'ONU-DAES

Source: DREM 2000



République du Tchad

Figure 5: Débits annuels du Chari et niveau du Lac Tchad



Source : DREM 2001

Schéma Directeur pour l'Eau et l'Assainissement Tchad 2002 - Gut. du Tchad - sur financement PNUD avec l'appui technique de l'ONU-DAES

Les débits fluviaux d'étiage

Lorsque des besoins de prélèvements d'eau dans le Logone ont été nécessaires à l'irrigation en contre-saison des périmètres irrigués, la question s'est posée d'un débit minimal réservé. Un tel débit est classiquement réservé dans les rivières en aval des barrages hydroélectriques afin de protéger la faune aquatique. Pour les rivières à régime peu contrasté, on considère que le débit réservé doit être le dixième du débit moyen annuel. Pour les rivières à forte saisonnalité, l'application de cette règle conduirait à des débits d'étiage contrôlés plus élevés que les débits d'étiage naturels. C'est le cas de plusieurs fleuves à régime tropical. Des débits « à dire d'expert » sont donc alors définis.

L'accord Cameroun-Tchad de Moundou, de 1970, a utilisé à titre de référence les données hydrologiques disponibles, c'est-à-dire celles d'une période humide avec débit naturel d'étiage à Bongor de 62 m³/s entre 1951 et 1970. Il autorisait chacun des deux pays à prélever dans le Logone en aval de Moundou 10 m³/s en mai et décembre, et 5 m³/s en janvier, février, mars et avril. Un débit moyen d'étiage était donc réservé à 52 m³/s, soit assez exactement le dixième du module annuel moyen.

Trente ans plus tard, le débit moyen annuel à Bongor est de 292 m³/s pour la période 1984-1997. Les débits d'étiage pour cette période sont respectivement :

- à Bongor (en amont des principales prises d'eau) de 31,2 m³/s;
- à Katoa de 13,5 m³/s (approximativement au niveau des principales prises d'eau);
- à Logone-Gana de 13,6 m³/s;
- à N'Guély, juste avant la confluence avec le Chari, de 11,9 m³/s.

Le débit naturel d'étiage à Bongor correspond maintenant approximativement au dixième du module annuel. Les débits d'étiage réels en aval apparaissent comme très inférieurs à ce qui avait été prévu par l'accord de Moundou, et les prélèvements comme supérieurs aux quotas convenus.

Ces données sont toutefois calculées à partir de jaugeages déjà anciens (sauf, ceux de la nouvelle station de N'Guély). Pour les débits faibles, les courbes de tarage sont en général peu précises du fait des déplacements des bancs de sable. Des jaugeages complémentaires ont donc été effectués par une équipe de la DREM, au début de mai 2000 (donc, peu de temps après l'étiage réel). Les valeurs obtenues sont les suivantes :

| Date | Station | Cours d'eau | H (cm) | Q (m ³ /s) |
|------------|-------------|-------------|--------|-----------------------|
| 08-05-2000 | Bongor | Logone | 94 | 42 |
| 10-05-2000 | Katoa | Logone | 76 | 35,1 |
| 06-05-2000 | Logone-Gana | Logone | 38 | 31,8 |
| 26-04-2000 | N'Guély | Logone | 175 | 31 |
| 27-04-2000 | N'Djaména | Chari | 107 | 73 |

Les différences observées entre Bongor et Katoa ou Logone-Gana sont donc, à ce moment, moins importantes que dans la moyenne calculée des années précédentes. Les valeurs de débit s'accordent avec les courbes de tarage utilisées, sauf pour Bongor où la courbe est sensiblement au-dessus du point mesuré le 8 mai (pour le même niveau de 94 cm à l'échelle, la courbe donne 63 m³/s). Il est donc important de vérifier à nouveau le tarage de cette station si un nouvel accord de partage des eaux et de définition du débit réservé doit être envisagé.

Les prélèvements actuels en période d'étiage sont estimés, pour la partie tchadienne, à moins de 2 m³/s.

Les données de la DREM indiquent que le débit du Chari à Chagoua a été nul en 1985, année de plus forte sécheresse observée entre le 30 avril et le 28 juin. À part cet épisode extrême, les données disponibles indiquent un débit d'étiage du Chari à Chagoua compris pour la période 1990-1997 entre 10 m³/s (1990-1991) et 50 m³/s (1996-1997).

Une alimentation en eau de N'Djaména, fondée exclusivement sur des prélèvements dans le Chari en amont de la ville, ne constitue donc pas une solution suffisamment sécuritaire. Mais ce fleuve pourrait fournir un appoint important pour limiter les prélèvements dans les nappes qui courent le double risque de la pollution par les infiltrations des eaux usées urbaines et d'une surexploitation locale par excès de pompage.

1.3.1.3 Les plaines d'inondation

Les plaines d'inondation considérées ici sont les zones temporairement inondées par les pluies directes accompagnées de débordements fluviaux (à l'exclusion des pourtours lacustres traités plus loin). La distinction entre les deux types de systèmes repose sur la nature des sols, le calendrier des phases d'inondation et les possibilités de contrôle de l'eau.

Le bassin tchadien est caractérisé par l'extension importante des plaines d'inondation (voir figure 3), résultant de la conjonction d'un régime fluvial tropical à fortes crues annuelles, avec le très faible relief de la plaine tchadienne. Bien que des données actualisées manquent, l'Atlas pratique du Tchad (Cabot, 1972) permet d'évaluer à **95 000 km²** la surface inondable totale, dont 50 000 km² dans le bassin du Salamat, région pour laquelle nous manquons de données anciennes ou actualisées. Ces données, valables pour la période plutôt humide des années 60, seraient à mettre à jour, mais l'ordre de grandeur est significatif. Il est à noter que le Grand Yaéré du Nord Cameroun, lequel couvre 12 000 km² et fait partie du même ensemble fonctionnel du Chari-Logone, est non comptabilisé ici.

Les bassins fluviaux du Chari, du Logone, du Batha et du Salamat et d'autres rivières secondaires abritent de grandes plaines d'inondation. De telles zones inondables, encore fréquentes dans les pays tropicaux, ont presque disparu des zones tempérées du fait de l'endiguement, de la construction de barrages et de la régulation des débits. Cette différence entre pays tempérés et pays tropicaux suscite inévitablement une question importante : le développement du pays passe-t-il par une « artificialisation » des plaines inondables et, en particulier, par une intensification des pratiques d'élevage, d'agriculture et de pêche ?

Dans le pays, les plaines d'inondation, aux sols hydromorphes argileux, sont d'abord alimentées par les pluies qui remplissent les dépressions et permettent aux graminées de se développer. Ce n'est qu'ensuite que les débordements des fleuves contribuent à une inondation plus complète et plus durable. Ils apportent en outre les matières en suspension qui sédimentent et participent à la productivité de ces systèmes. Ces débordements se font principalement à des points bas des bourrelets de berge par des défluent secondaires. Les principaux seuils ont été bien identifiés depuis le début des années 50 et leur débit analysé en fonction du niveau ou du débit du Logone ou du Chari. Cette caractérisation, effectuée en phase de forte hydraulicité, n'est sans doute plus valable partout après plus de vingt-cinq années de sécheresse relative. Les rapports concernant les grands périmètres irrigués font en effet mention de l'ensablement de certains défluent et de débits réduits. Par ailleurs, divers travaux d'aménagement agricole jouent un rôle actuellement inconnu dans la répartition des écoulements. On peut citer à cet égard les endiguements partiels (dont celui construit en 1954-1956 sur les deux rives du Logone entre Bongor et Mogodi ou la mise en place du périmètre irrigué de Satégui-Déressia qui barre en partie l'approvisionnement du Ba Illi), la construction en 2000 d'un seuil artificiel pour inonder le Grand Yaéré en aval de la Semry 2 ainsi que leurs modifications ultérieures.

En période humide, les plaines inondables de la préfecture du Salamat sont très largement inondées, à l'exception des bourrelets sableux. La surface potentielle totale est de l'ordre de 50 000 km². Les conditions de déversement des fleuves ne sont pas connues. Des changements vraisemblables de calage d'échelle ne permettent pas de comparer les niveaux maximaux de la période humide récente et de la période sèche actuelle. À l'échelle de Kyabé sur le Barh Keïta, la cote 350 cm à l'échelle a été dépassée 15 fois en dix-huit ans avant 1971 et seulement 4 fois en huit ans entre 1985 et 1998 (les données manquantes rendent ce genre de comparaison hasardeux). Les données concernant Tarangara sur le Barh Salamat ou de Am-Timan sur le Barh Azoum sont encore moins nombreuses pour la période récente.

Le Barh Erguig, défluent partiellement ensablé du Chari plus en aval, coulait lorsque la cote du Chari à Miltou dépassait 3,5 m à l'échelle. Il a été signalé comme fonctionnel en 1999, pour la première fois depuis plus de vingt ans. L'extension correspondante de l'inondation dans la plaine de Massénya n'est pas connue.

Avant 1970, le Ba Illi était inondé pour un débit à Lai supérieur à 1 900 m³/s. Son écoulement est depuis perturbé par le périmètre de Satégui-Déressia. Entre Eré et Bongor, le Logone se déversait vers les plaines du Mayo-Kebbi pour un débit > 1 750 m³/s à Eré. Les données disponibles indiquent que le Logone n'a pu approvisionner la dépression Toubouri que deux fois environ sur une période de quinze ans, entre 1973 et 1998.

On constate donc un manque de données hydrologiques pour l'ensemble des zones inondables du Tchad. Cette lacune concernant les années antérieures ne peut être comblée. Un effort doit être fait pour l'avenir, notamment avec la mise en œuvre de nouvelles techniques, en particulier de la télédétection et des moyens modernes de topographie. En termes d'usages des ressources naturelles, une meilleure connaissance des plaines inondables est nécessaire.

1.3.2 Le bassin du Mayo-Kebbi et les lacs toubouris

Le Mayo-Kebbi, affluent de rive droite de la Bénoué, fait partie du bassin du Niger (voir figure 6). Il constitue actuellement le seul trait d'union entre les bassins du Tchad et du Niger, car il est surtout alimenté par les déversements des eaux de crue du Logone inférieur sur la rive gauche, notamment au niveau d'Eré, qui inondent des surfaces importantes. Ces eaux sont drainées par les rivières Kabia (nom du cours supérieur du Mayo-Kebbi, issu du versant méridional des Monts Mandara) et Loka vers les lacs de la dépression Toubouri (Fianga, Tikem et N'Gara). Près de Bongor, d'autres déversements moins importants (seuil de Dana) alimentent directement le lac Fianga. Selon l'importance des apports pluviométriques et des volumes déversés, la communication entre les lacs Tikem et Fianga peut s'effectuer dans un sens ou dans l'autre. Ces lacs toubouris, succession de marécages et de lacs peu profonds, donnent naissance au Mayo-Kebbi au lit assez large et coulant en direction de l'ouest. À la hauteur de M'Bourao, il traverse une zone rocheuse par une série de rapides et de cascades dont la principale, les chutes Gauthiot, a une dénivellation d'environ 45 m. Il traverse ensuite les lacs Tréné et Léré avant d'atteindre son confluent avec la Bénoué.

Le niveau d'étiage dans les trois premiers lacs est respectivement de 320 m pour Fianga, de 319,8 m pour Tikem et de 318,5 m pour N'Gara. L'amplitude saisonnière des variations du niveau de l'eau décroît le long de la dépression. Elle est, en année normale, de 3 m à Fianga, de 2,7 m à Tikem et de 2 m à N'Gara. Les crues peuvent être brutales. La profondeur ne dépasse pas 4 m à l'étiage dans les lacs Fianga et N'Gara, et 5 m dans le lac Tikem. La surface en eau totale des trois lacs varie entre 80 km² à l'étiage et plus de 300 km².

En aval des chutes Gauthiot, mais toujours au Tchad, le Mayo-Kebbi traverse les lacs Tréné et Léré, dont la faune piscicole a des affinités avec celle du Niger (outre la présence du lamantin *Tricherus senegalensis*). Le lac Léré est alimenté d'abord par la pluie directe et le ruissellement local en août, puis par la crue du Mayo-Kebbi en octobre, ce qui produit une courbe bimodale de niveau. Le volume du lac à l'étiage est d'environ 160 millions de m³ pour une surface de 40 km² et une profondeur moyenne de 4 m.

1.3.3 La zone sahélienne

1.3.3.1 Le Lac Tchad

Du fait de sa situation dans un bassin endoréique, le niveau du Lac Tchad dépend étroitement du climat et des précipitations sur son bassin versant. Des variations de niveau de quelques mètres seraient sans grande conséquence pour des lacs profonds comme le sont les grands lacs de l'Est africain. Dans le cas du Lac Tchad, de grande superficie et de faible profondeur, les variations de niveau ont des répercussions considérables en ce qui concerne les surfaces en eau, l'ensemble du fonctionnement écologique et les populations riveraines.

La position géographique de ce lac en Afrique constitue une raison d'instabilité : étant presque à la limite du déplacement de la zone intertropicale de convergence, il est particulièrement sensible aux variations interannuelles de celle-ci.

Le « Lac Tchad Normal », tel qu'il existait à la fin des années 60, avait une surface de 19 000 km² pour une cote du plan d'eau de 281,5 m et comportait alors un plan d'eau unique dont les contours sont représentés à la figure 7.

À la suite d'années successives de sécheresse sur les bassins versants du Chari et du Logone, mentionnées plus haut, le lac s'est scindé en compartiments aux comportements hydrologiques différents, avec exondation de hauts-fonds dans la Grande Barrière entre Baga Kawa et Baga Sola, et entre les eaux libres du sud-est et les archipels de l'est et du sud-est. Un tel état a été nommé « Petit Tchad » par Tilho (1928) qui l'avait observé au début du siècle (voir figure 8).

Le passage de l'état « Tchad Normal » à l'état « Petit Tchad » a été explicité ci-haut. Il ne sera rappelé que brièvement, l'objet de ce chapitre étant de décrire le fonctionnement hydrologique du lac lors de la période de Petit Tchad 1973-2000, notamment en ce qui concerne les niveaux, les surfaces en eau et leur relation avec les apports du Chari. L'ensemble des données correspondantes a été donné dans la synthèse sur l'hydrologie du Lac Tchad.

Les paysages et les grandes régions du Lac Tchad

En période de Tchad Normal, au sens de Tilho, le lac présente un seul plan d'eau, à une altitude supérieure à 280 m, avec deux grandes cuvettes, sud et nord, séparées par un étranglement. Un archipel, constitué par un erg fossile, s'enfoncé progressivement dans le lac à partir du nord-est. L'archipel est prolongé vers l'intérieur du lac par des îles de végétation, appelées « îlots-bancs », correspondant à des sommets de dunes submergés et colonisés par des phanérogames aquatiques. Le Tchad Normal est caractérisé par l'étendue des zones d'eaux libres, par l'espace navigable entre les îles des archipels et par une frange limitée de végétation le long des rives.

Conséquence des variations climatiques, l'évolution du Tchad Normal est entrecoupée de phases de bas niveaux. Trois phases de Petit Tchad sont intervenues depuis le début du siècle, la première (1904-1917) ayant été décrite en détail par Tilho. La seconde, vers 1940, n'est documentée que par la tradition orale. Le dernier passage à l'état Petit Tchad a eu lieu en 1973 et, depuis cette date, le lac fonctionne suivant un nouveau régime.

Les paysages actuels du Petit Tchad résultent de la topographie et de son histoire récente :

- Les **zones d'eaux libres** de la cuvette sud correspondent aux régions les plus profondes de cette cuvette qui n'ont pas été exondées au début de la période de sécheresse. Elles se répartissent en trois masses principales :
 - ▶ eaux libres du Sud-Est, devant le delta du Chari;
 - ▶ eaux libres du Sud, dans la partie sud-ouest de la cuvette;
 - ▶ eaux libres du Sud-Ouest, entre Baga Sola et Baga Kawa, sur le versant méridional de la Grande Barrière.
- Les zones couvertes de végétation marécageuse sont inondées de façon saisonnière ou en permanence, mais la densité de la végétation ne permet pas de distinguer la présence éventuelle de l'eau sous-jacente. Ces régions ont presque toutes été découvertes à l'étiage, au moins une fois depuis 1973. Les marécages existent en bordure des eaux libres dans l'archipel de la cuvette sud et peuvent se développer dans les zones temporairement inondées de la cuvette nord.
- Des archipels, qui correspondent au domaine dunaire de la bordure nord-est du lac. Les interdunes sont colonisées par les marécages dans la cuvette sud. Dans les deux cuvettes, ils deviennent de plus en plus étroits à mesure que l'on se rapproche des contours traditionnels du lac.
- Des zones très irrégulièrement inondées de la cuvette nord présentent suivant la saison ou l'année un aspect très différent : végétation palustre, espace cultivé ou steppe semi-désertique à Callotropis. Ce sont principalement ces zones inondées de la cuvette nord, qui présentent la plus forte variabilité, qui ont été suivies à l'aide des données satellitaires et des observations par survol aérien.



République du Tchad
Figure 7: Zones en eau du Lac Tchad avant 1973

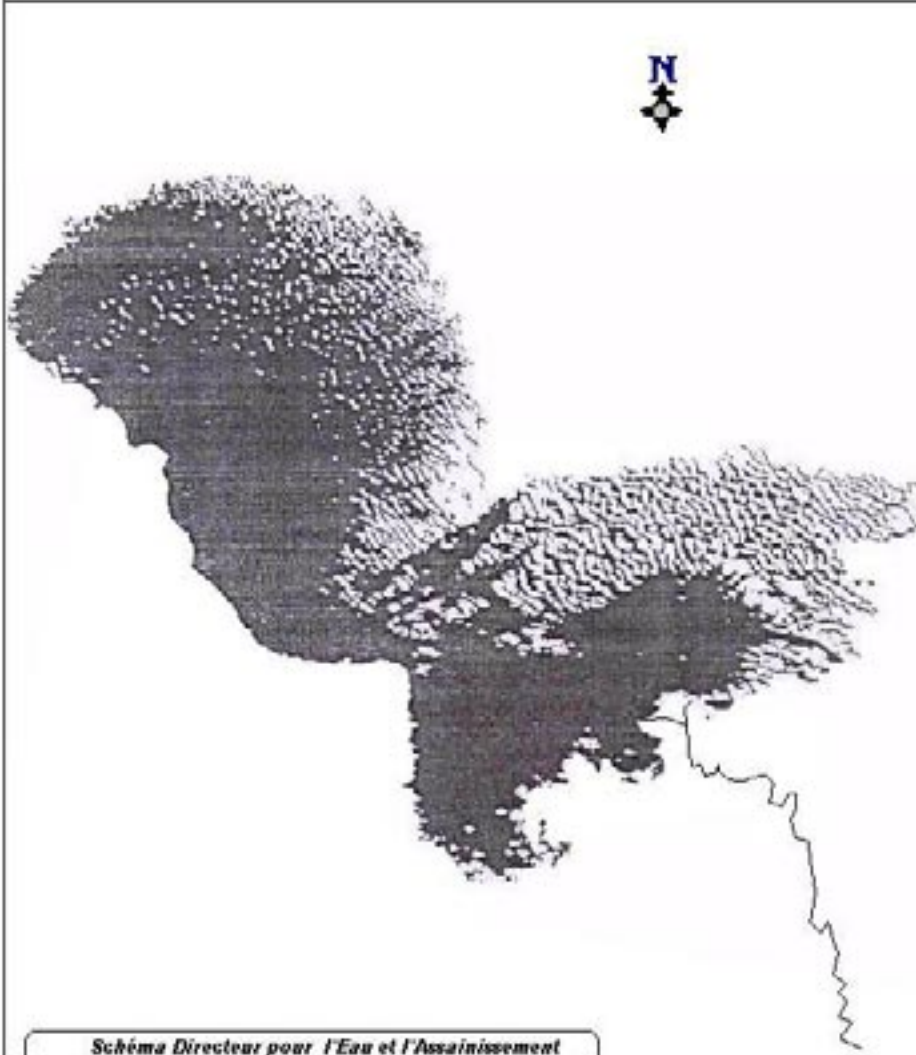
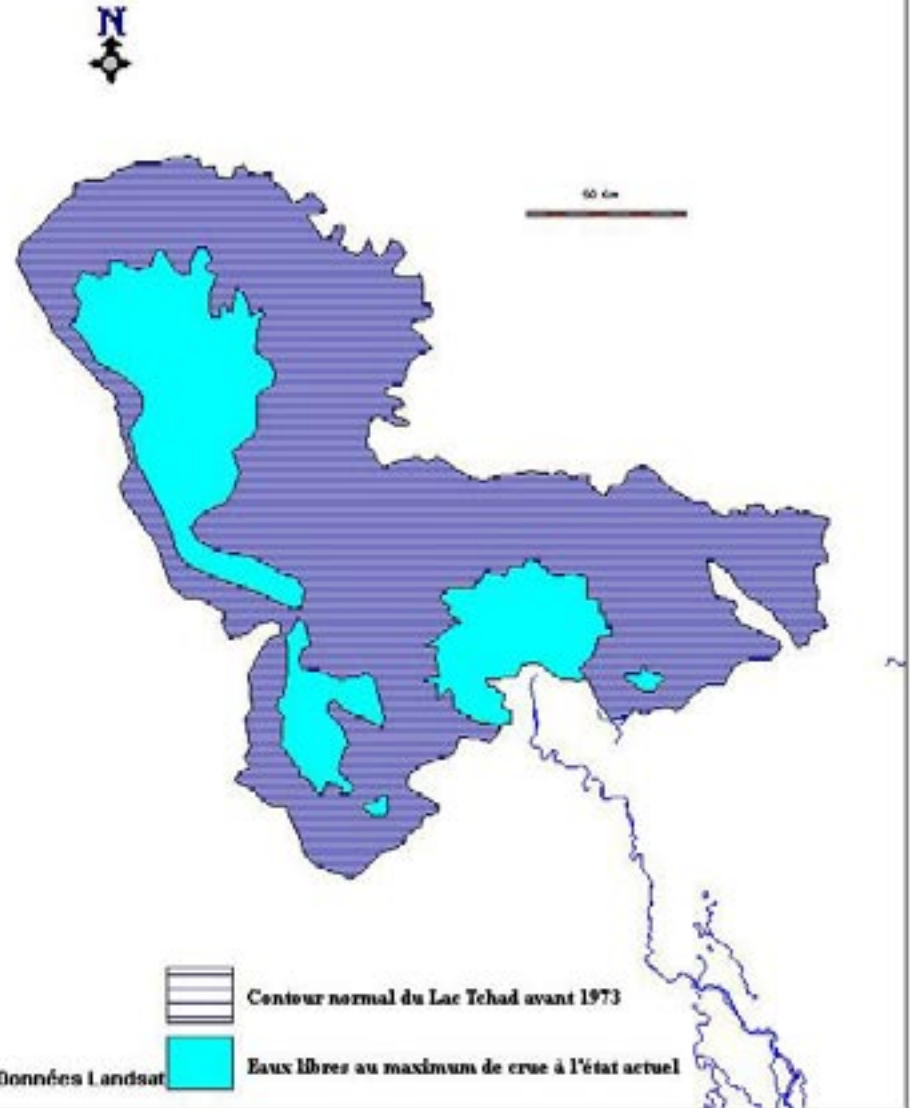


Schéma Directeur pour l'Eau et l'Assainissement Tchad 2002 - Gut. du Tchad - sur financement PNUD avec l'appui technique de l'ONU-DAES

Source: Montage J. Lemoalle, Données Landsat



République du Tchad
Figure 8: Contour du lac tchad normal et les surfaces en eau libre au maximum de la crue lacustre



 Contour normal du Lac Tchad avant 1973
 Eaux libres au maximum de crue à l'état actuel

Les niveaux de l'eau

Jusqu'à fin de 1972, le limnigraphe installé à Bol est représentatif du niveau général du lac. Par la suite, les enregistreurs installés dans les différentes régions du lac rendent compte du passage de l'état Tchad Normal à l'état Petit Tchad. Ce sont les stations suivantes :

- Kalom pour les eaux libres de la cuvette sud;
- Bol pour l'archipel du sud-est (ou archipel de Bol);
- Kindjeria pour la cuvette nord dont les niveaux évoluent différemment.

La crue du Chari, du type tropical pur, présente un seul pic bien marqué dont le maximum se situe vers la fin octobre à N'Djaména. Ce pic de crue se retrouve en décembre à Kalom et environ un mois plus tard à Bol et à Baga Kawa.

En 1972, la crue très faible du Chari n'a pas sensiblement interrompu la baisse du niveau résultant du déséquilibre entre l'évaporation et les apports : le Lac Tchad s'est scindé en trois parties en mars 1973, avec l'exondation des seuils isolant l'archipel du sud-est et la cuvette nord. En juillet 1973, la végétation s'est développée sur tous les sédiments exondés. La crue du Chari a d'abord rempli la région des eaux libres de la cuvette sud, puis l'archipel de Bol. Le niveau atteint n'a pas permis un passage significatif d'eau vers la cuvette nord à travers la Grande Barrière. Celle-ci constitue alors un double obstacle en raison du seuil lui-même constitué par la topographie des fonds (qui s'est légèrement modifiée par la dessiccation des sédiments) et de la végétation dense qui s'opposent au passage de l'eau sur une profondeur de 50 km.

Cette végétation est essentiellement constituée de *Cyperus papyrus*, *Aeschynomene elaphroxylon*, *Vossia cuspidata*, *Lpomea aquatica*, *Vallisneria*, *Pistia*.

La crue du Chari de 1974 est arrivée, dans la cuvette sud, dans un environnement semblable à celui de juillet-août 1973. Il y a d'abord eu remplissage de la cuvette sud (zone des eaux libres), puis de l'archipel de Bol. Cette nouvelle crue, supérieure à la précédente, a fourni en trop-plein un faible volume d'eau à la cuvette nord à travers la Grande Barrière. Insuffisamment alimentée, cette cuvette s'est complètement asséchée vers juillet 1975.

L'amplitude des variations du niveau dans la cuvette sud (eaux libres du Sud-Est à Kalom) reste comprise entre 1,3 et 2 m. Son niveau moyen interannuel reste proche de 280,5 m (par référence au niveau IGN 1956).

Dans la cuvette nord, depuis 1976, le cycle normal de la profondeur et de la surface inondée est un assèchement plus ou moins prolongé entre septembre et décembre, avec extension maximale de la surface inondée en janvier. Les profondeurs maximales observées à ce moment sont de l'ordre du mètre au centre de la cuvette. Devant l'estuaire de la rivière Yobé, un marécage est remis en eau grâce à la crue de la rivière en septembre ou lors de lâchers d'eau des barrages nigériens en amont, pour des raisons techniques.

Ce schéma est cependant susceptible de fortes altérations : l'inondation de la cuvette est nulle, moyenne ou totale selon les années.

Les surfaces en eau

La cuvette sud

Le niveau moyen de cette cuvette étant d'environ 280,5 m (IGN 1956), la surface inondée correspondante est de 7 500 km² en prenant la ligne Baga Kawa-Baga Sola comme limite entre les cuvettes nord et sud.

Les surfaces inondées minimales extrêmes, observées aux étiages de 1974 et de 1987, sont de l'ordre de 4 000 km² pour une cote de 279 m. Les valeurs maximales approchent 9 000 km² lors des crues lacustres à la cote 281 m.

Il s'agit là de surfaces inondées où sont comprises à la fois les surfaces en eaux libres et les surfaces en marécages. Au cours de l'année, ces marécages sont plus ou moins inondés, leur extension corres-

pendant approximativement aux parties basses des surfaces inondables. L'observation des niveaux de l'eau permet d'estimer les surfaces totales inondées, en utilisant les relations établies antérieurement. L'utilisation des données du satellite Météosat ne permet de déterminer avec sécurité que les surfaces en eaux libres :

- environ 1 500 km² pour les eaux libres du Sud-Est, de façon permanente;
- environ 775 km² pour les eaux libres du Sud-Ouest après la crue fluviale;
- environ 1 550 km² pour les eaux libres situées juste au sud de la Grande Barrière sur la ligne Baga Kawa-Baga Sola, durant la crue de décembre 1988 à février 1989.

La cuvette nord

Les surfaces inondées à la fin de janvier de chaque année de 1973 à 2000 (sauf, en 1980 et en 1981 où le satellite n'a pas fonctionné) ont été suivies à l'aide de données satellitaires.

Fin janvier correspond à la période d'extension maximale de l'inondation de la cuvette perceptible par le satellite Météosat. En cas de fortes crues, l'eau peut progresser plus tard entre les îles de l'archipel du nord, mais le phénomène n'est pas perceptible, les surfaces en eau des chenaux entre les îles étant très faibles par rapport au signal des îles elles-mêmes, plus étendues et à forte réflectance.

Le maximum annuel de surface en eau de la cuvette nord est donc compris suivant les années entre 0 (années 1985, 1987 et 1988) et 7 000 km² (1979, 1989 et 2000).

Le minimum annuel de surface en eau pour la même période est régulièrement compris entre 0 et 100 km², le premier assèchement complet s'étant produit en juin-juillet 1975.

La vitesse de propagation de l'inondation a été suivie au cours de la crue supérieure à la moyenne de 1988-1989 qui a couvert la plus grande partie de cette cuvette nord : la progression linéaire de la crue suivant une ligne sud-nord était de 75 km entre le 11 novembre et le 22 décembre, soit 1,8 km/jour. L'extension maximale observée se situait à 125 km au nord de Baga Kawa vers le 10 janvier 1989.

En surface, l'inondation de la cuvette nord est tout aussi impressionnante, avec une progression de 70 km² par jour entre le 11 novembre et le 22 décembre (1988-1989). La surface inondée maximale atteinte est de 3 375 km² d'eaux libres.

Au total, les surfaces découvertes au cours d'un cycle annuel de Petit Tchad, potentiellement accessibles au pâturage et aux cultures de décrue, sont donc de 4 000 km² pour la cuvette sud et comprises entre 0 et plus de 6 000 km² selon les années dans la cuvette nord, dont environ 2 000 km² pour la partie tchadienne de cette cuvette. Ces valeurs sont à comparer à celles du Lac Tchad Normal, où les variations saisonnières de niveau sont de moindre amplitude (environ 1 m), ce qui correspond à des surfaces découvertes de 2 500 km² pour l'ensemble du lac de niveau moyen compris entre 280 et 282 m.

La morphologie et l'hydrologie du Lac Tchad

Les diverses observations effectuées sur les niveaux et les surfaces permettent de définir les différents bassins du lac et leur topographie.

Trois bassins peuvent être individualisés (voir figure 9) :

- la cuvette des eaux libres du Sud et du Sud-Ouest;
- l'archipel de la cuvette sud;
- la cuvette nord.

Ces bassins sont séparés par des seuils :

- les îlots-bancs de la cuvette sud;
- la Grande Barrière.

Schématiquement, ces régions correspondent à une coupe transversale du fonctionnement hydrologique du lac (voir figure 9).



République du Tchad
Figure 9: Schéma des seuils et des bassins du Lac
en période de Petit Tchad

Représentation schématique des seuils et des bassins
du lac en période de Petit Tchad, avec la situation des trois limnigraphes.



Coupe S.E. - N.W. explique le fonctionnement hydrologique
du lac, avec l'effet de seuil dû à la végétation de la grande barrière.

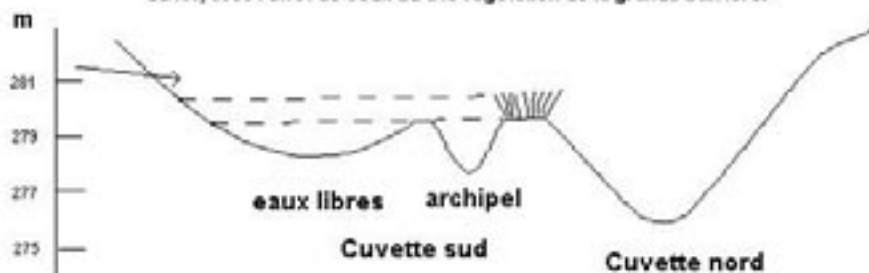


Schéma Directeur pour l'Eau et l'Assainissement
Tchad 2002 - Gvt. du Tchad - sur financement PNUD
avec l'appui technique de FONI-DAES

Source: Hydrologie du Lac Tchad

Le premier bassin alimenté est celui des eaux libres de la cuvette sud dont le fond est à 278,2 m. Le seuil, vers 279,3 m, qui isole l'archipel de Bol est le plus souvent submergé, sauf lors d'années particulièrement déficitaires.

La Grande Barrière a une altitude également de 279,3 m, mais l'eau ne la traverse de façon sensible que lorsque son niveau dans la cuvette sud s'élève à 280,5 m, ce qui représente son niveau fonctionnel lors de la période 1975-1989. La végétation de la Grande Barrière constitue donc l'équivalent d'un seuil de plus d'un mètre.

Le fond du centre de la cuvette nord est situé à environ 275,3 m, soit presque 2,9 m plus bas que celui de la cuvette sud.

L'évolution interannuelle du Lac Tchad dépend du bilan entre les apports (fleuves, pluies) et les pertes (évaporation, infiltrations). Dans ce bilan, les apports du Chari représentent 83 % des apports totaux. En tant que première approximation, les apports annuels du Chari mesurés à N'Djaména peuvent être considérés comme un bon indicateur des apports totaux.

La relation entre ces apports du Chari et les différentes situations lacustres est examinée ci-dessous.

Lac Tchad Normal

À partir des données existantes, la relation entre les variations interannuelles du niveau du lac et les apports annuels du Chari permet d'estimer à $42 + ou - 2 \text{ km}^3$ un apport annuel d'équilibre moyen. La valeur exacte est évidemment fonction du niveau moyen du lac dont dépendent les pertes par évaporation et infiltrations.

Petit Tchad

À partir d'un niveau très bas des eaux de la cuvette sud (cas de l'étiage de juillet 1973), les eaux de crue du Chari contribuent successivement à relever le niveau de la cuvette sud, à alimenter l'archipel de Bol par-dessus le seuil des îlots-bancs et à alimenter la cuvette nord par-dessus ou à travers la Grande Barrière.

En ce qui concerne la cuvette sud (eaux libres, marécages et archipel), ce cycle est tout à fait reproductible d'une année à l'autre, la différence entre les hautes eaux d'une année d'apports déficitaires ($9,4 \text{ km}^3$ en 1987-1988) et une année proche de la normale ($36,9 \text{ km}^3$ en 1975-1976) étant de l'ordre de 1 m.

La relation entre le module annuel du Chari et l'importance de l'inondation de la cuvette nord est représentée par une courbe sigmoïde où :

- le module nécessaire à un cycle annuel normal de la seule cuvette sud, sans débordement, est de 15 km^3 ;
- le module permettant une inondation complète de la cuvette nord est de 28 km^3 ;
- un apport compris entre 15 et 28 km^3 se traduit par une inondation partielle de la cuvette nord.

Rappelons « l'effet de seuil » créé par la végétation de la Grande Barrière : une modification de cette végétation se répercuterait nettement sur les échanges entre les deux cuvettes et donc sur leurs niveaux.

Par ailleurs, si nous comparons les apports d'équilibre du Chari pour la cuvette sud en période de Petit Tchad (15 km^3 pour $7\,500 \text{ km}^2$) et pour l'ensemble du lac en période de Tchad Normal (42 km^3 pour environ $20\,000 \text{ km}^2$), nous constatons que les pertes annuelles par unité de surface représentent sensiblement 2 m pour chacune des périodes considérées. Rapportées aux apports totaux au lac (et non uniquement à ceux du Chari), ces pertes représentent environ 2,3 m par unité de surface. La modification des paysages et le développement de la végétation marécageuse ne semblent donc pas avoir modifié sensiblement les pertes par évaporation. Dans la limite des approximations faites dans cette étude, les surfaces en marécages n'ont pas une évaporation sensiblement différente de surfaces équivalentes d'eaux libres.

À plus long terme, le retour à un état Tchad Normal nécessiterait une hydraulicité relativement exceptionnelle, impliquant que la crue du Chari soit sensiblement renforcée par des pluies directes sur le lac. Pour obtenir un plan d'eau unique en janvier (pic de crue lacustre), les courbes surfaces-volumes permettent d'estimer qu'il faudrait une crue du Chari de l'ordre de 52 km³, équivalente à celles de 1955-1956, de 1961-1962 ou de 1962-1963. Toutefois, ce plan d'eau unique ne serait que de faible durée. Afin d'obtenir un plan d'eau unique persistant toute l'année, ce qui est la caractéristique d'un Tchad Normal, (cote > 280,8 m en janvier), deux crues importantes successives du Chari seraient nécessaires.

Une telle remise en eau s'est déjà produite à deux reprises depuis le début du siècle et reste toujours possible, mais **implique des crues fluviales qui seraient catastrophiques pour N'Djaména** et d'autres villes situées dans le bassin inférieur.

Dans l'état actuel de Petit Tchad, l'environnement et donc le fonctionnement écologique global du système sont relativement reproductibles. Cependant, cette reproductibilité ne s'applique pas de la même façon aux cuvettes sud et nord. La cuvette sud, constituée de zones d'eaux libres et de vastes marécages, suit un cycle annuel relativement régulier depuis 1973, avec un niveau moyen et des surfaces (eaux libres et marécages) stables. Les trop-pleins de la cuvette sud, quand ils existent, inondent plus ou moins la cuvette nord, pour des durées variables. C'est dans cette cuvette nord que se trouve reportée la variabilité classiquement associée à l'ensemble du lac.

Le bilan salin du Lac Tchad

En période de Tchad Normal, les eaux du lac restent relativement douces (conductivité à Bol de l'ordre de 120 microS/cm et dans la cuvette nord, entre 300 et 600 microS/cm) malgré le caractère endoréique du lac et la forte évaporation. Ce phénomène s'explique par une faible concentration des apports fluviaux (60 mg/l) et une régulation géochimique interne au lac faisant intervenir des précipitations de carbonates, des équilibres avec les argiles des sédiments et une exportation des eaux les plus concentrées dans les nappes bordières, en particulier vers le Kanem.

En période de Petit Tchad, ces équilibres chimiques sont modifiés par la présence des zones marécageuses qui contribuent à élever la pression partielle du CO₂ dissous, diminuent le pH, favorisent le maintien en solution du calcium et du magnésium, et stockent dans la matière végétale, en quantités importantes, des éléments comme le potassium ou la silice. Les liaisons avec la nappe phréatique restent à déterminer pour la cuvette sud; le devenir des substances dissoutes lors des assèchements de la cuvette nord n'est pas connu. Alors qu'en période de Tchad Normal la conductivité à Bol pour un niveau de l'eau de l'ordre de 280,0 m est de l'ordre de 120 microS/cm, elle était de 200 en début de période de Petit Tchad, mais avec une teneur en calcium et en magnésium légèrement supérieure, ce qui est un facteur favorable à l'irrigation. Après plus de vingt ans de fonctionnement de Petit Tchad, une analyse de la salure des eaux et du fonctionnement géochimique du lac serait à faire.

1.3.3.2 Le bassin du Batha et du lac Fitri

Le haut bassin du Batha se trouve à l'est du pays, dans le massif du Ouaddaï, avec une limite située approximativement sur la ligne Guéréda-Adré. Sa surface est de l'ordre de 46 000 km². Son point aval est le lac Fitri.

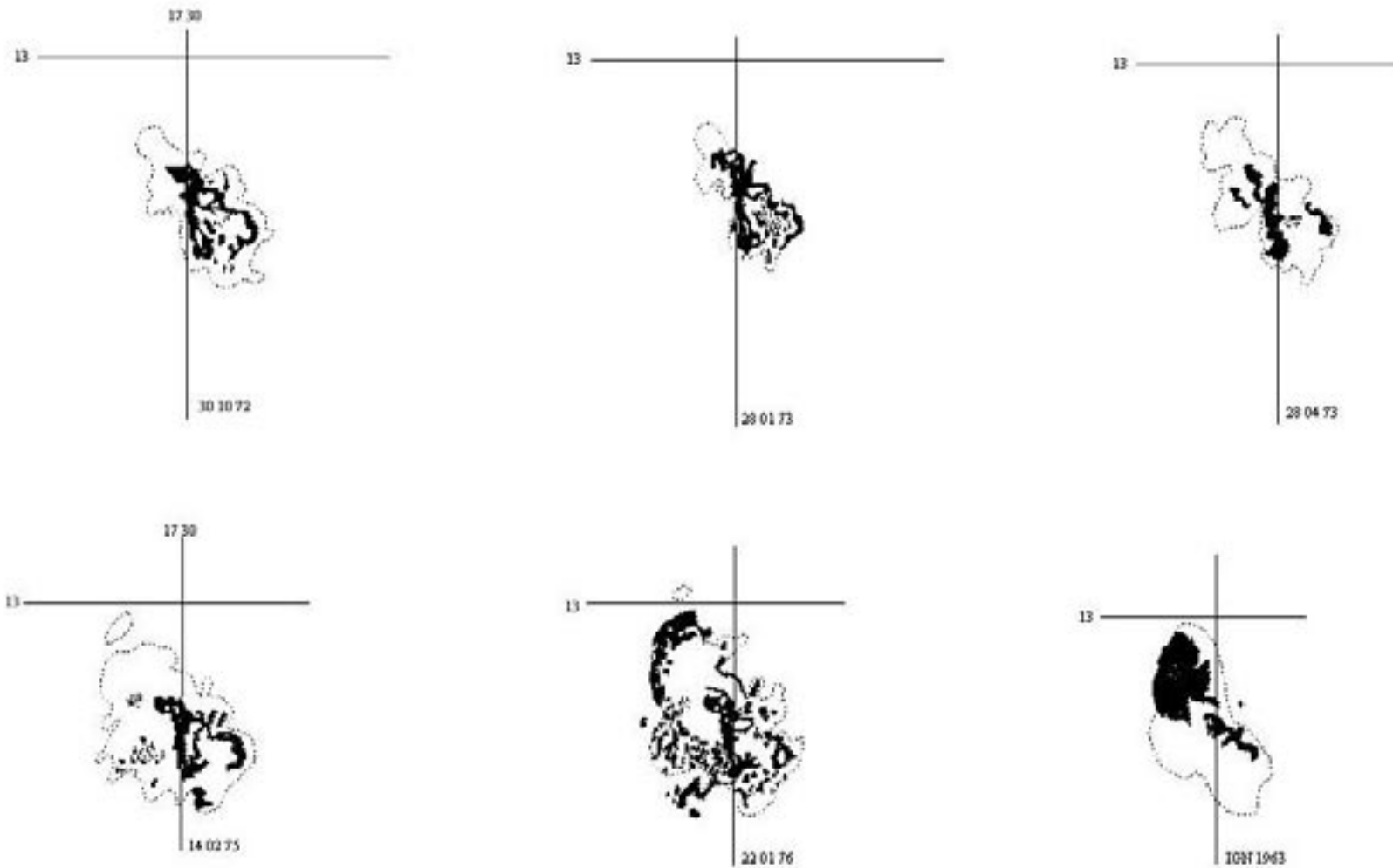
Le Batha est un fleuve temporaire qui coule environ trois mois par an, d'août à octobre, et apporte au lac Fitri un volume en eau de l'ordre de 1 à 2 km³, avec de fortes irrégularités interannuelles (voir figures 3 et 10).

Le lac Fitri est un lac endoréique dont l'alimentation est essentiellement assurée par le Batha. Il reçoit également les apports non négligeables de ouaddis de l'Aboutelfan. Au total, pour une surface moyenne de 800 km², les apports de surface doivent être au moins de 1 milliard de m³. Son fonctionnement hydrique est proche de celui du Lac Tchad. La forte saisonnalité de son alimentation se traduit par une variation saisonnière de niveau de l'ordre de 2 m avec des surfaces de décrue importantes mises à profit pour l'élevage et les cultures. Il en est de même des zones d'épandage des principaux affluents du lac, aussi bien à l'est, en amont du cordon dunaire, qu'à l'ouest.



République du Tchad

Figure 11 : Évolution au cours du temps des surfaces inondées et en eaux libres du lac Fitri



En noir: eau libre; en tireté: limite des marécages inondés

Schéma Directeur pour l'Eau et l'Assainissement Tchad 2002 - Gov. du Tchad - sur financement PNUD avec l'appui technique de l'ONU-DAES

Echelle: 1/1 000 000

Source: Données Landat, d'après Lemoalle, 1979

Le lac Fitri, centré sur 12°50 N et 17°30 E, se trouve dans une plaine à très faible relief. Sa superficie varie largement, d'une dizaine de km² en 1973 à plus de 1 000 km² qui comprennent de vastes surfaces marécageuses. Les sédiments, la végétation et la composition chimique de l'eau sont très semblables à ceux du Lac Tchad.

Le lac Fitri, qui s'était asséché à la fin de 1985 (après une année de sécheresse prononcée), était plein en février 1999 et devait alors couvrir environ 600 km², après avoir atteint à la mi-septembre 1998 une cote maximale annuelle (355 cm à l'échelle de Yao) supérieure à celles enregistrées antérieurement. En décembre 1999, le lac débordait à l'ouest sur une zone inondée de 200 km² (voir figure 11).

L'évolution du niveau du lac à moyen terme (interannuel) ou saisonnière est mal connue : la DREM ne donne le niveau maximal observé du lac que quinze années sur quarante; les connaissances sur les apports du Batha comportent également de nombreuses lacunes. Dans ce contexte, il est difficile de donner des estimations fiables des surfaces accessibles à l'élevage et à l'agriculture.

En extrapolant largement à partir des données disponibles, une étude estime les surfaces utiles de la façon suivante :

- 300 km² de bourgoutières internes au lac;
- 575 km² de zones d'épandage des crues des ouaddis (en période d'hydraulicité décennale forte);
- 245 km² de zone de marnage du lac;
- 400 km² d'autres zones inondables diversement localisées (notamment, Ouaddi Abourda).

1.3.3.3 Les ouaddis du Ouaddaï

La DREM ne dispose que de peu de données hydrologiques sur ces ouaddis. Huit études de petits bassins en amont ont été réalisées, dont trois sur le bassin de l'Ouaddi Enne et une sur l'Ouaddi Haddad, généralement sur une seule année, entre 1958 et 1966. Ces petits bassins sont tous situés dans les contreforts du massif du Ouaddaï, entre 500 et 1 000 m d'altitude et entre 12° et 14°30 de latitude.

Dans le Ouaddaï et le Biltine, les pratiques traditionnelles utilisent les crues des ouaddis et les nappes alluviales. Ces pratiques ont été renouvelées avec des moyens techniques plus importants. On compte plus de 10 barrages qui permettent notamment l'épandage des crues, en particulier dans le bassin de l'Ouaddi Chock et de l'Ouaddi Jiliney. Les surfaces irriguées seraient au total de l'ordre de 420 ha.

Dans ces aménagements, la conservation des mares qui jalonnent les lits des ouaddis plus en aval doit être prise en compte : elles sont **importantes pour le bétail**.

1.3.3.4 Les ouaddis du Kanem

Les dépressions interdunaires du Kanem et de la bordure du Lac Tchad abritaient plusieurs centaines de plans d'eau permanents jusqu'au début de la période actuelle de sécheresse. Avec l'abaissement du niveau du lac et de la nappe phréatique, certains de ces ouaddis ne sont plus que temporairement en eau lors des années de forte pluviosité, alimentés par les infiltrations des pluies ou par la nappe liée à la cuvette nord du lac. En novembre 1995, seuls trois ouaddis, situés au nord de Nokou, étaient en eau.

L'hydrogéologie de ces systèmes ainsi que certains aspects de leur biologie ont été étudiés en détail dans les années 60. Depuis, leur évolution n'a pas fait l'objet de publications.

1.3.4 La zone saharienne

1.3.4.1 Les bassins à écoulement temporaire des zones désertiques à subdésertiques au nord du 14^e parallèle

Compte tenu de la très forte irrégularité des pluies dans cette région (non directement associées au déplacement du FIT), les données portant sur la période récente sont insuffisantes pour déceler une variation climatique significative depuis le début des années 70. Nous posons à titre de première hypothèse que les données recueillies lors des années 1950-1960 restent valables.

Les débits dépendent de la nature géologique du substrat, du relief du bassin et du degré de dégradation hydrographique qui augmente généralement avec la superficie du bassin. Quelques données sont résumées au tableau 2 ci-dessous. Elles concernent des bassins de superficies variées et de situations climatiques allant du sahélien aride au désertique, comme l'Enneri Zoumri (Bardaï), sec environ deux années sur trois, en escomptant de zéro à trois crues dans l'année.

Deux rivières (enneris) divisent le **Tibesti** en zone orientale et zone occidentale. L'Enneri Yebbigue coule vers le nord et se perd dans une plaine fossile où il prend le nom d'Enneri Tanoa. Sur son cours sont situées des oasis et gueltas importantes : Yebbi Bou, Yebbi Souma et Omchi, dont la biologie et l'écologie sont encore largement inconnues.

Le principal cours d'eau vers le sud s'avère l'Enneri Miski recevant de l'est les enneris qui drainent le versant occidental de l'Emi Koussi et de l'ouest, les enneris Korom et Aouéi. Il s'infiltré dans la dépression de Guéréédé et alimente ensuite les mares et sources du Borkou. Les gueltas de Oudiguei et Totous sont situées sur le cours inférieur de l'Enneri Aouéi. La guelta de Totous se trouve dans un court canyon. Connue pour la richesse de sa faune aquatique, c'est l'une des rares à avoir été bien étudiée. De nombreuses autres gueltas telles Zouré, Ogou, Tougoum, etc., restent à étudier. Au-dessus de 2 000 m, les lits de la plupart des enneris forment des chapelets de gueltas. Certaines sont reliées par un filet d'eau; la plupart sont isolées. La faune des gueltas du sud est relativement connue tandis que celle des gueltas du nord l'est beaucoup moins. La plus grande partie de la pluie qui tombe sur le Tibesti dévale rapidement et s'infiltré dans les nappes du nord et du sud du massif.

Tableau 2 : Données hydrologiques de quelques bassins de la zone saharienne

| Bassin | Surface (km ²) | Pluies moyennes (mm/an) | Débit médian (l/s) | Décennal humide (l/s) | Décennal sec (l/s) |
|----------------------------|----------------------------|-------------------------|--------------------|-----------------------|--------------------|
| Ouaddi Enne (Biltine) | 527 | 330 | 120 | 500 | 17 |
| Ouaddi Kadjemeur (Biltine) | 16 | 200 | 13 | | |
| Ouaddi Sofoya (Mortcha) | 25 | 120 | 10 | | |
| Ouaddi Bachikélé (Ennedi) | 20 | 110 | 14 | 60 | 5 |
| Enneri Zoumri (Tibesti) | 4 050 | | | 125 | |

La mare de Zoui (21°20 N, 17°05 E) près de Bardaï est située dans la vallée de l'Enneri Bardague, appelé « Enneri Zoumeri » dans son cours supérieur. C'est une guelta typique du Nord Tibesti. Bien que située près d'une oasis, elle est peu utilisée, sinon pour abreuver le bétail.

1.3.4.2 Les oasis et les lacs de l'Ennedi, du Borkou et du Tibesti

Le vaste plateau de l'**Ennedi** est généralement nu et désertique, ce qui contraste avec les nombreuses vallées profondes riches en végétation, résultant d'effondrements et d'une érosion ancienne et actuelle. On y trouve deux séries principales de plans d'eau.

Archéi (16°54 N, 21°46 E), à 50 km au sud-est de Fada, est une vallée profonde. Son système aquatique est composé de six gueltas principales et de bandes de marécages. Des sources permanentes sont situées en tête de vallée.

À 110 km au sud-est de Fada, Beskéré est une gorge de 2 km avec une embouchure sableuse couverte d'une forêt de palmiers doum. En tête de vallée, une trentaine de sources alimentent l'une des plus grandes gueltas de l'Ennedi qui possède un système de mares et de marais permanents. Les débits ont été estimés à 600 m³ par jour à Archéi et à 1 000 m³ par jour à Beskéré.

Ces systèmes sont encore très mal connus. Bien que la présence humaine y soit très ancienne, il n'y a actuellement que des campements temporaires d'éleveurs.

L'altitude du plateau gréseux du **Borkou** décroît progressivement du nord (600 m) vers le sud (250 m à l'Angamma). La pluie, quand il y en a, survient surtout en août et résulte de la mousson. Les années totalement sèches ne sont pas exceptionnelles. Les pluies locales s'avèrent insuffisantes pour alimenter les nombreuses mares et sources du Borkou. Tenant compte de la faible salinité de ces milieux, Capot-Rey a émis l'hypothèse d'une alimentation par les nappes issues du Tibesti. Les mares et sources permanentes sont réparties sur une vaste surface entre Orori, le pied de l'Emi Koussi, Tigui, Yarda, Bedo et Faya. Leur débit varie, mais il ne semble pas y avoir une tendance vers un appauvrissement. La tradition orale à Tigui rapporte qu'aucune source n'a disparu depuis trois générations. Les mares alimentées par ces sources et bordées de rives marécageuses sont de faible profondeur. La salinité des zones centrales est élevée.

La densité humaine est assez importante dans la dépression du Borkou. Plusieurs oasis sont intensivement exploitées. Les sources et les puits traditionnels servent au maraîchage. Le dattier prospère.

Entre le Tibesti et l'Ennedi se trouve une série d'escarpements gréseux qui abritent des dépressions d'origine tectonique, certaines étant remplies d'eau. Au centre du plus important de ces escarpements est située la ville d'Ounianga Kebir (19° N, 20°05 E), à 235 km au nord-est de Faya. Quatre lacs principaux sont situés dans cette région : le lac Jua (370 ha, profondeur maximale 25 m) et les lacs Uma, Mioji et Forodom, plus petits. Le natron est exploité au lac Jua.

Plus à l'est, une deuxième série de dix lacs est située à Ounianga Serir (18°07 N, 21°00 E). De ces lacs aux rives parallèles (Melekoui, Dierke, Ardiou, Teli, Abromé, Hogou, Diara, Tarem, Tibichei et Bokou), Teli est de loin le plus grand, avec 70 ha et une profondeur maximale de 10 m. Enfin, il existe un grand nombre de petits plans d'eau douce dans la région.

Il y a plus de 25 000 dattiers dans l'oasis d'Ounianga Kebir. Certains des plus petits lacs sont complètement couverts de roseaux (Typha, Phragmites et Cyperus laevigatus). Les troupeaux exploitent ces roseaux. Peu d'espèces animales ou végétales ont été étudiées dans ces systèmes aquatiques qui de toute évidence abritent des espèces endémiques.

Par ailleurs, il existe maintenant dans la région quelques retenues artificielles : le barrage présidentiel de Kali Yari, sur le Ouaddi Howa (15°50 10 N et 23°02 18 E), d'une capacité de 3 millions de m³; le barrage de Bolong, sur le Ouaddi Bolong, 50 000 m³, (12°00 51 N, 21°10 08 E) et le barrage de Tronga, sur le Ouaddi Ourou, 1 million de m³ (15°05 20 N, 23°02 18 E).

2 LE BILAN ACTUEL DES USAGES DES EAUX SUPERFICIELLES

Les usages des eaux de surface ne se limitent pas aux prélèvements. Ils s'étendent également aux bénéfices issus des écosystèmes aquatiques, voire des **activités comme la navigation ou la production d'énergie**. En retour, le maintien d'un bon état écologique des eaux de surface impose un certain nombre de contraintes. Il faut ici distinguer :

- les prélèvements qui consistent à retirer un volume d'eau d'un milieu pour le transférer et l'utiliser dans un autre milieu (pompage pour les périmètres irrigués);
- les consommations qui correspondent à un volume d'eau utilisé pour une fonction ou une activité, sans que le bilan hydrique du milieu considéré soit sensiblement modifié par rapport à un état naturel, sans intervention de l'homme (cultures non irriguées, pluviales ou de décrue).

2.1 Une estimation des usages par catégorie d'utilisateurs

L'ordre de grandeur des besoins en eau des principales catégories d'usages peut être approché en utilisant les valeurs observées au Tchad ou proposées dans la littérature en ce qui concerne les consommations unitaires.

Les usages actuels sont les suivants : adduction d'eau potable (AEP), usages urbains, usages villageois, hydraulique agricole traditionnelle ou mécanisée, hydraulique pastorale, industries, hydroélectricité, pêche, conservation de la biodiversité et de l'environnement, navigation et tourisme. Parmi ceux-ci, l'AEP, les usages urbains et industriels sont actuellement consommateurs des eaux souterraines, ce qui évite des surcoûts de traitement lors du prélèvement. En cas d'insuffisance qualitative (pollution de la nappe) ou quantitative des nappes, des prélèvements de l'eau fluviale peuvent être envisagés pour l'AEP et les usages urbains. La qualité chimique de l'eau est bonne, sauf qu'il faut la traiter pour éliminer les bactéries et les matières minérales en suspension.

2.1.1 L'eau potable

Les besoins dépendent largement du mode d'approvisionnement. En milieu rural, en 2000, ils sont estimés à 20 litres/habitant/jour alors que la consommation en milieu urbain peut monter à 80 litres/habitant/jour et à 35 litres/habitant/jour, en milieu semi-urbain. Les besoins en eau potable sont estimés toujours en 2000 à 80 millions de m³ provenant essentiellement des eaux souterraines.

L'alimentation en eau de N'Djaména peut à terme poser des problèmes si les nappes sont sollicitées au-delà de leurs capacités et si une pollution par infiltration des eaux usées de surface se produit. Nous avons vu que l'utilisation de l'eau du Chari est possible. Cette eau est de bonne qualité, mais l'approvisionnement n'est pas assuré de mars à juin, advenant forte sécheresse. Des débits mensuels de 0 m³/s (mai 1985) ou de 2 m³/s (avril 1990) ont été enregistrés à Chagoua, juste en amont de la ville. Bien que le débit y soit supérieur, il semble peu judicieux d'envisager un prélèvement après la confluence du Logone, en aval des agglomérations de Kousséri et d'une partie de N'Djaména.

Une carte du Tchad indique que de nombreux villages sont situés au bord d'un cours d'eau. Dans ces villages, une bonne partie de l'eau domestique provient de l'eau de surface. La rivière est aussi utilisée directement pour des activités ménagères. Dans les plus grandes agglomérations, l'eau potable provient des réseaux AEP. Cependant, l'eau des fleuves est aussi mise à contribution. Elle est transportée par des porteurs d'eau ou utilisée directement *in situ*, surtout pour la lessive. Les volumes d'eau destinés à ces derniers usages sont difficilement quantifiables avec précision. Ils ont été estimés à 2 millions de m³ par année.

2.1.2 Les usages agricoles

Les données sur les superficies cultivées au Tchad sont imprécises, faute de moyens pour collecter les données, mais aussi en raison de l'irrégularité climatique et de ses effets sur les mises en culture. Les documents consultés permettent de donner les **ordres de grandeur** suivants :

- cultures pluviales - 2 000 000 ha dont 220 000 ha de coton;
- cultures de décrue - 100 000 à 200 000 ha (dont 70 000 ha indiqués pour le Salamat);
- cultures irriguées - moins de 20 000 ha sur les 335 000 potentiels, incluant 3 750 ha de canne à sucre et les polders de la préfecture du Lac.

Le total des prélèvements annuels sur le Chari et sur la rive tchadienne du Logone est estimé à 119 millions de m³ en amont de N'Djaména (zone soudanienne). Le total des volumes prélevés sur l'ensemble des plans d'eau de la zone soudanienne est estimé en 2000 à 683 millions de m³.

Le lecteur se référera au **volume thématique 3 « Hydraulique agricole »** pour des informations détaillées sur ce sujet.

En zone sahélienne qui comprend notamment le Lac Tchad et le lac Fitri, les volumes prélevés sur les différents plans d'eau de surface pour les besoins de l'hydraulique agricole sont estimés à 117 millions de m³. En ce qui concerne la zone saharienne, aucun prélèvement sur les eaux de surface n'est comptabilisé à des fins agricoles, l'eau pour cet usage provenant essentiellement des eaux souterraines.

En résumé, un total de 800 millions de m³ d'eau est prélevé en 2000 sur les ressources hydriques de surface à des fins agricoles.

Considérant le déficit de la production agricole au Tchad, un effort rapide et considérable est donc nécessaire pour augmenter la production sans hypothéquer l'avenir. Un bon usage de l'eau peut y contribuer. Compte tenu des surfaces en jeu et des quantités produites, il semble utile de ne pas consacrer tous les efforts au développement des périmètres irrigués, du moins en ce qui concerne les grands périmètres sous leur forme actuelle peu adaptée à l'environnement socio-économique du pays. Il faut tenter d'améliorer les rendements et/ou la sécurité de production des cultures pluviales ou de décrue : un petit pourcentage d'augmentation dans ces pratiques se traduirait par un volume important.

2.1.3 Les usages et besoins de l'élevage

Les mares naturelles, qui peuvent rester en eau durant plusieurs mois de l'année, constituent des points d'eau utilisés par les éleveurs. Les différents lacs et les cours d'eau permanents tels que le Chari et le Logone constituent également des sources d'eau utilisées par les éleveurs.

Il n'existe aucun document recensant les équipements de maîtrise des eaux de surface du pays. Des enquêtes indiquent bien que les éleveurs dans plusieurs régions abreuvent leurs troupeaux à des mares et marigots durant des laps de temps variant de 3 et 10 mois par année. Mais ces réserves d'eau sont si variables d'une année à l'autre, la pluviométrie si erratique et les dénivelés de la topographie du Tchad si faibles, qu'il est assez illusoire de penser disposer d'un document exhaustif sur ces retenues d'eau naturelles.

Une façon empirique d'évaluer la quantité d'eau de surface utilisée par le bétail est de multiplier la quantité d'eau consommée journalièrement par les effectifs du cheptel. En l'absence de documents fixant la position des mares naturelles et leur capacité de rétention, tout autre calcul ou estimation est impossible. À ce sujet, il faut noter que les mares naturelles dans le bassin tchadien dépendent essentiellement de la pluviométrie. Celle-ci variant énormément dans le temps et selon le lieu, il est souvent difficile de prévoir où l'eau stagnera. Selon la méthode de calcul précitée, il ressort que la consommation de l'eau de surface par le cheptel tchadien est de l'ordre de 57 millions de m³ en 2000.

Il est à noter qu'une fraction du cheptel tchadien s'abreuve pendant tous les jours de l'année aux cours d'eau permanents que sont le Logone et le Chari. Dans le calcul effectué, il n'a pas été tenu compte de cet aspect.

Le lecteur se référera au **volume thématique 4 « Hydraulique pastorale »** pour des informations supplémentaires sur le sujet.

2.1.4 Le récapitulatif des prélèvements sur les eaux de surface

Le tableau 3 sur les prélèvements en eau de surface permet de cerner des ordres de grandeur en fonction des différents usages. Si l'on considère que les mêmes surfaces laissées à l'état naturel donneraient lieu à de l'évaporation ou à la croissance d'une végétation naturelle, le prélèvement lié à l'action de l'homme est relativement faible en regard de la « consommation naturelle » en eau de surface.

Tableau 3 : Ordres de grandeur des prélèvements en eau de surface au Tchad (2000-2020)

| Usages | Prélèvements d'eau de surface (million m ³ /an) en 2000 | Prélèvements d'eau de surface (million m ³ /an) Prévisions indicatives horizon 2020 |
|--------------------------|--|--|
| Hydraulique villageoise | 1 | 0 |
| Hydraulique urbaine | 1 | 0 |
| Hydraulique industrielle | 2 | 3,5 |
| Hydraulique pastorale | 57 | 120 |
| Hydraulique agricole | 800 | 1 727 |
| TOTAL | 861 | 1 850 |

Source : SDEA 2001

Toutefois, il est à noter que **les prélèvements précités ne tiennent pas compte des prélèvements effectués dans les pays voisins**, la République Centrafricaine, le Nigéria et le Cameroun, qui exploitent également, à l'amont ou dans le Lac Tchad, les eaux superficielles qui s'écoulent au Tchad.

Enfin, ces prélèvements n'incluent évidemment pas la consommation *in situ* des eaux de pluie pour les cultures pluviales traditionnelles, ces consommations étant incluses dans le fonctionnement des hydrosystèmes observés et n'étant pas appelées à évoluer de façon significative.

2.1.5 La pêche

La pêche est également une activité qui a besoin d'eau. La valeur habituellement retenue pour le potentiel de production de la pêche au Tchad est de 80 000 tonnes par an. Un récent rapport sur le Tchad, tout en reconnaissant la pêche comme un secteur dynamique mais statistiquement mal connu, situe ainsi l'importance économique de la pêche :

- elle vient en 4^e position des activités économiques du secteur primaire, après le coton, l'élevage et la gomme arabique;
- elle génère une production annuelle de l'ordre de 40 000 tonnes pour une valeur de 20 milliards de FCFA;
- elle crée 250 000 emplois directs ou induits.

Bien que ces estimations soient abondamment citées, aucune observation documentée ne permet de les confirmer, à notre connaissance. On peut toutefois considérer que l'ordre de grandeur est **vraisemblable**, mais peut être sous-estimé si l'on se réfère aux observations effectuées dans les années 70 sur le système yaérés-Lac Tchad au cours de la transition du lac vers l'état de Petit Tchad.

2.1.6 Les mares temporaires

On regroupe sous ce terme les petits plans d'eau qui subsistent dans les dépressions après les pluies ou les crues : bras morts des fleuves pérennes, creux dans le lit des rivières temporaires ou simples dépressions remplies par l'eau de pluie. À l'issue d'une bonne saison des pluies, ils occupent une surface importante (environ une mare aux 10 km² entre N'Djaména et le Lac Tchad en décembre 1999).

Ces systèmes ne sont pas pris en compte dans l'évaluation plus globale des ressources en eau, malgré leur intérêt local pour les populations et pour la conservation de la flore. Leur fonctionnement, les usages, les risques sanitaires éventuels pour les populations ainsi que les aménagements possibles sont à étudier à l'échelle plus large des unités morphologiques. En particulier, l'utilité d'un surcreusement local de ces systèmes doit être analysée, tant du point de vue de l'utilisation de l'eau que de la gestion des peuplements de poissons.

¹ Extrait du document de la Table Ronde de Genève-IV, réunion sectorielle sur les transports, l'habitat et l'urbanisme. Diagnostic et stratégies de développement du secteur des transports au Tchad; N'Djaména, novembre 1999.

² Plan National d'Action pour l'Environnement. Cahier du PNAE du Tchad N° 9 Transport et Tourisme; septembre 2002.

2.2 Le transport fluvial et lacustre

L'essentiel du trafic fluvial est le flottage du bois de chauffe sur le Chari en amont de N'Djaména¹. Malgré son caractère informel, cette activité est structurée en étant entre les mains de plusieurs groupements qui suivent les règles édictées par le droit coutumier.

Le trafic sur le Lac Tchad, qui est plus important que sur les fleuves en raison de sa situation géographique particulière, demeure informel.

Il n'existe pas d'industrie de transport fluvial digne de ce nom ni de services de l'Administration chargés d'assurer la navigabilité même partielle ou saisonnière sur les deux grands fleuves ou sur le Lac Tchad.

2.3 Le tourisme

Le tourisme comprend « les activités déployées par les personnes au cours de leurs voyages et leurs séjours dans des lieux situés en dehors de leur résidence habituelle pour une période de plus de 24 heures et de moins de 4 mois à des fins de loisirs, pour affaires et autres motifs ».²

Le Tchad comporte plusieurs attraits touristiques. De façon plus spécifique à l'eau, citons les lacs du BET, la zone du Lac Tchad avec ses îles flottantes, sa faune aquatique et terrestre facilement accessible depuis la station touristique de Douguia. Le lac Fitri constitue une zone humide d'importance internationale désignée « Réserve de la Biosphère ». Les diverses catégories d'espaces naturels comme les parcs nationaux et les réserves de faune comportent des écosystèmes qui constituent aussi des attractions touristiques.

Cependant, le peu d'infrastructures hôtelières, le personnel peu formé, les prix élevés et souvent l'état déficient des équipements sont des contraintes au développement de l'industrie touristique au Tchad. Cette activité n'a pas fait l'objet d'un appui conséquent des autorités. Son développement ne s'est produit que de manière ponctuelle et conjoncturelle.

3 LE POTENTIEL DE MOBILISATION DES EAUX DE SURFACE ET BILAN PROSPECTIF

La présente section traite de la disponibilité des eaux de surface et de leurs utilisations éventuelles en fonction de l'évolution des besoins. Une analyse des grandes contraintes à leur mobilisation est présentée et, par la suite, une approche de mobilisation des eaux de surface par région climatique et par bassin est esquissée.

3.1 Les contraintes à la mobilisation des eaux de surface

3.1.1 Une contrainte forte des bassins endoréiques

Un État dont le réseau fluvial débouche en mer peut utiliser toutes ses eaux de surface et ne pas laisser d'eau douce partir en mer; pour le pays, la répercussion directe est minime et peut concerner l'érosion côtière ou quelques populations locales de poissons. Cet État peut aussi considérer que ses possibilités actuelles ne lui permettent pas d'épurer ses eaux usées, que celles-ci seront largement diluées dans la mer. La mer sert alors de dépotoir, directement ou par l'intermédiaire du fleuve.

Le bassin du Tchad est endoréique : à l'exception du Mayo-Kebbi, ses eaux de surface ne vont pas vers la mer, mais restent dans le bassin, dans le pays. Cette situation particulière contraint à une approche différente de la gestion et des usages de l'eau. Tous les prélèvements effectués dans les bassins ont un impact en aval, à l'intérieur du pays, impact parfois partagé avec les autres États du Bassin Conventionnel du Lac Tchad. La pérennité des lacs dépend de la gestion de l'eau en amont.

Toutes les substances polluantes ou toxiques susceptibles d'être véhiculées par l'eau (c'est-à-dire la grande majorité des substances polluantes) se retrouvent dans les points bas des différents bassins fluviaux. Ainsi, le Lac Tchad, le lac Fitri et les points bas des bassins des ouaddis de l'Ennedi deviennent récepteurs et concentrateurs des déchets des activités humaines. Une gestion de la qualité de l'eau doit donc être menée en parallèle à la gestion quantitative.

3.1.2 Une contrainte climatique

Dans le bilan global de l'eau de surface, l'évaporation joue un rôle prépondérant. L'exemple le plus évident est celui du Lac Tchad dont l'évaporation compense les apports à 90 %. Sur chaque km² d'eau superficielle, l'évaporation « prélève » 1 à 2 millions de m³ par an (2,1 millions de m³/km² pour le lac). C'est aussi le cas, sur une durée plus courte impliquant une perte moindre, pour les plaines d'inondation.

Les pertes par évaporation sont compensées par les précipitations. En raison du réchauffement global actuellement observé, l'évaporation pourrait augmenter tandis que la distribution des pluies pourrait à l'avenir être plus limitée dans le temps. La traduction à moyen terme de cette modification, au plan agricole, est une limitation des cultures pluviales et une augmentation des risques d'érosion. Pour l'hydrologie de surface, des étiages plus prononcés et des crues fluviales plus courtes sont envisagés.

3.1.3 Une contrainte internationale

L'échelle naturelle de gestion des eaux de surface est celle du bassin versant. De nombreux systèmes aquatiques transfrontaliers au Tchad imposent donc une gestion concertée avec les pays qui partagent ces bassins. Un ensemble de conventions ont été mises en place dans ce but. Elles limitent dans une certaine mesure le degré de liberté de l'État tchadien dans la gestion de ces ressources. Cependant, cette situation favorise la gestion intégrée au niveau régional.

3.2 Une approche de mobilisation des eaux de surface par région climatique et par bassin

3.2.1 La zone soudanienne

Dans la zone soudanienne, les superficies irrigables à partir des fleuves ou de leurs affluents ont été évaluées ainsi en 1993 :

- vallée du Chari - 20 000 ha;
- vallée du Logone - 115 000 ha;
- vallée du Barh Azoum - 10 000 ha.

Selon le mode d'irrigation, les variations interannuelles peuvent cependant limiter les surfaces utiles.

Pour les hautes eaux fluviales, les niveaux atteints déterminent la durée et la hauteur de submersion, deux variables qui contrôlent la croissance des végétaux liée à l'eau, aussi bien en conditions naturelles qu'en agriculture. Ainsi, en mode de submersion contrôlée, le périmètre de Satégui-Déressia a connu des conditions hydrauliques défavorables six années sur douze entre 1976 et 1988.

En étiage, l'accord Tchad-Cameroun sur le Logone limite les prélèvements et pénalise le développement de l'irrigation entre Lai et Bongor, lequel est restreint à l'équivalent de 3 000 ha de riz de contre-saison. De même, la SONASUT s'est trouvée limitée dans ses possibilités de prélèvements lors de débits du Chari inférieurs à 40 m³/s.

La mobilisation des eaux fluviales pose donc quelques contraintes dont il faut tenir compte, sans que cela remette en cause la possibilité pratique d'un développement important de l'irrigation. Pour ce mode de culture, dans cette zone climatique, les facteurs limitants proviennent plutôt de l'environnement socio-économique et des infrastructures routières nécessaires aux productions à vocation commerciale.

Actuellement, le pompage de l'eau fluviale ou souterraine semble mieux adapté à une production vivrière en zone périurbaine pour des productions à forte valeur unitaire. Cette possibilité devrait augmenter avec l'accroissement de la population, du pourcentage d'urbanisation et du niveau de vie espéré. La technique d'irrigation individuelle par l'eau de nappe est actuellement développée au Nigéria sous le nom de « fadama ».

Bien que les cultures pluviales puissent être considérées comme une forme de mobilisation de l'eau, elles concernent davantage le domaine agronomique qu'hydrologique et ne seront pas traitées dans le cadre de ce rapport.

Dans le Salamat, la surface cultivée en berbéré était estimée entre 60 000 et 75 000 ha à la fin des années 80, avec une production de 45 000 à 60 000 tonnes. La surface des terres inondables à vocation de berbéré est de 700 000 ha, dont 590 000 ha de vertisols et 110 000 ha de sols peu évolués. Une grande surface est donc disponible. Elle peut être aménagée localement pour retenir l'eau. Mais les possibilités d'implantation de villages sont limitées en raison du caractère inondable de la zone. D'où, la densité humaine y est actuellement très faible.

Il faut également faire la part des demandes de l'élevage. En année normale, les troupeaux arrivent après la récolte, broutent les tiges de berbéré et contribuent à la fumure des champs. Il y a donc complémentarité temporelle dans l'occupation de l'espace. En cas de forte sécheresse, il pourrait être envisagé de créer des zones refuges dans le Salamat, ce qui nécessite de considérer une possibilité de partage de l'espace.

Une mise en valeur des zones inondables des vallées fluviales, avec une gestion locale de la durée et de la hauteur de submersion, est possible dans plusieurs régions de la zone soudanienne, y compris le bassin du Mayo-Kebbi. Un tel développement doit cependant tenir compte de la conservation des milieux aquatiques et, pour chaque projet, faire l'objet d'une étude d'impact qui prendra en compte les contraintes de conservation du milieu et les usages de l'aval.

3.2.2 La zone sahélienne

La pluviosité actuelle ne permet plus les rendements des cultures pluviales autrefois observés dans la région, ni peut-être la même densité des pâturages. Il y a une pression accrue sur les ressources en eau de surface : eaux des ouaddis que l'on tente de conserver par épandage des crues et zones de décrue des ensembles lacustres du Fitri et du Lac Tchad.

La question est double. Il s'agit, d'une part, de gérer la compétition pour la ressource ou pour l'accès des éleveurs à la ressource. Il faut, d'autre part, mettre en valeur des ressources jusqu'ici sous-exploitées. C'est ce deuxième aspect qui sera abordé ici.

Les prairies aquatiques (bourgoutières) des lacs fournissent l'alimentation de nombreux troupeaux. Ceux-ci, en s'alimentant, dégradent ce pâturage par piétinement. Une amélioration de la production et de l'exploitation de ces systèmes devrait être recherchée en s'appuyant sur l'expérience acquise en matière de stabulation des bœufs kouris. Les prairies situées plus en amont, éloignées des points d'eau de surface, semblent encore sous-utilisées en année normale.

Une forme améliorée des polders traditionnels est pratiquée depuis quelques années avec la participation de la SODELAC et donne des résultats intéressants. Cette forme d'aménagement semble préférable à celle des polders dits « modernes » dont l'infrastructure est mal adaptée à la variabilité du niveau de l'eau et de la nappe.

Dans toute la zone inondable des pourtours lacustres, les paysans gagneraient beaucoup à être avertis le plus longtemps possible à l'avance de la remontée de l'eau avec la prochaine crue. Cela permettrait de faire les récoltes avant leur inondation ou de prévoir des espèces au cycle adapté au temps disponible. De telles annonces sont une des fonctions normales de la météorologie à laquelle devraient se joindre les services hydrologiques.

Plus en amont, dans les vallées des ouaddis de la zone sahélienne et du sud de la zone saharienne, les pratiques de conservation des eaux et des sols sont à encourager à la condition de préserver les abreuvoirs naturels que constituent les mares dans leur partie aval.

3.2.3 La zone saharienne

L'usage pour l'agriculture des ressources en eau de surface dans la zone saharienne est considéré comme optimal. Il n'y a de possibilité d'amélioration qu'en évaluant très attentivement la quantité d'eau renouvelable des gueltas et des lacs ou en pratiquant les techniques de conservation des eaux et des sols dans le lit des ouaddis.

3.3 Un essai de bilan sur les ressources en eau de surface

Proposer un bilan global du cycle de l'eau pour l'ensemble du pays, en considérant les trois grandes zones climatiques, est un exercice difficile en raison de nombreuses lacunes dans la connaissance des processus ou dans les observations concernant aussi bien les eaux de surface que la climatologie et l'hydrogéologie. De façon très schématique, il est toutefois possible de donner les grandes caractéristiques des trois zones hydroclimatiques retenues. Le tableau 4 en donne un aperçu.

Tableau 4 : Caractéristiques principales des trois grandes zones climatiques du Tchad

| Caractéristiques | Zone saharienne | Zone sahélienne | Zone soudanienne |
|--|---|--|---|
| Pluie annuelle (mm) (moyenne) | 30 | 400 | 900 |
| Gamme (mm) | 0 - 250 | 250 - 800 | 800 - 1 200 |
| Débit des fleuves km ³ /an (moyen) | Non connu | Chari, delta, 22,5 km ³ Batha, Ati, 1,9 km ³ | Logone, Bongor, 13,2 km ³ Chari, Bousso, 15,5 km ³ |
| Lame écoulée (mm) (gamme entre parenthèses) | Non connu | Chari, delta - 35,3 - (18,6 - 56) Batha, Ati, 179 mm | Logone, Bongor, 178 mm (94 - 263) Chari, Bousso, - 32,0 - (17,3 - 59,3) |
| Infiltrations | En piémont (données non disponibles) | Piémonts de l'Est Rivages du Lac Tchad | Hauts bassins, mais peu en plaines inondables |
| Résurgence | Sources et gueltas, lacs d'Ounianga | Mares interdunaires du Kanem et du Lac | Données non disponibles |
| Réservoirs de surface | Lacs de barrage du BET | Mares du Kanem et du Lac, Lac Tchad, lac Fitri | Lac Iro, autres lacs et mares |
| Zones inondables | Inexistantes | Zones périlacustres Zones d'épandage de crues des oueds de l'Est | Salamat, plaine entre Chari et Logone, plaine de Massénaya, zones de concentration |

Source : SDEA 2001

3.4 Le potentiel hydroélectrique au Tchad

3.4.1 Le Mayo-Kebbi

La partie tchadienne du Mayo-Kebbi a attiré très tôt l'attention, d'une part, parce que l'hypothèse d'une capture du Logone par le Mayo-Kebbi avait été formulée, d'autre part, en raison des chutes Gauthiot, hautes de 45 m et susceptibles de produire de l'électricité.

Les données disponibles à la DREM sur le débit du Mayo-Kebbi présentent quelques incertitudes et ne permettent d'envisager que des ordres de grandeur. On peut estimer que le débit moyen annuel à Mbourao juste avant les chutes, pour la période 1964-1986, est de l'ordre de 10 m³/s. L'amplitude des variations saisonnières est forte (malgré la présence en amont des lacs toubouris, avec un débit inférieur à 2 m³/s près de la moitié de l'année). L'énergie électrique que pourrait fournir une centrale est inférieure à 3,2 MW en moyenne, avec moins de 1 MW en période sèche si le cours n'est pas régulé par un barrage. Le rapport SGI-STUDI (1998) donne 3,4 MW pendant 4 mois, avec une estimation supérieure du débit mais une hauteur de chute inférieure et une stabilisation du niveau du plan d'eau par un barrage à 279 m d'altitude et de 90 m de longueur.

La construction d'une centrale suppose l'interconnexion avec le réseau camerounais pour assurer une régularité de l'approvisionnement ainsi que la construction d'une cimenterie à Moursalé-Bamba près de Pala, la demande locale domestique étant insuffisante.

L'ensemble qui va des seuils de déversement du Logone à la frontière camerounaise, bien qu'en territoire tchadien n'en est pas moins de nature internationale puisque la gestion des seuils, actuellement naturelle, concerne le bassin de la Bénoué (Cameroun et Nigéria) ainsi que ceux du Logone et du Lac Tchad (les 5 pays de la CBLT). Tout aménagement suppose donc théoriquement une concertation préalable.

Dans la situation actuelle et du point de vue tchadien, l'alimentation suffisante en eau des lacs du Mayo-Kebbi (environ 120 km² au total dont 40 pour le lac Léré) peut être un objectif qui préserve l'environnement de la région à long terme et met en valeur la réserve de faune. Cette alimentation des lacs peut se faire par une régularisation des débordements du Logone aux seuils d'Eré et de Dana de façon à n'envoyer que l'eau nécessaire aux lacs toubouris (au risque de détruire une variabilité naturelle peut-être nécessaire au bon fonctionnement écologique du système) et à conserver le reste dans le lit du Logone pour inonder plus régulièrement les plaines d'inondation et le lac en aval, et donc l'El Beïd, le South Chad Irrigation Project au Nigéria (SCIP) et les autres grands périmètres actuellement inutilisés faute d'un niveau suffisant du Lac Tchad.

À l'inverse, il est aussi possible d'augmenter les flux quittant le Logone vers le Mayo-Kebbi et les chutes en abaissant des seuils et de créer une retenue en amont des chutes pour augmenter la production électrique.

L'hypothèse d'un transfert d'eau du bassin de l'Oubangui vers le bassin du Logone serait aussi favorable à la production d'hydroélectricité, non seulement au niveau des chutes Gauthiot, mais aussi plus en aval, sur le cours de la Bénoué (projet de la société d'énergie électrique du Nigéria NEPA). Elle serait par contre défavorable à la productivité naturelle de lacs en diminuant le temps de séjour de l'eau dans ces plans d'eau.

3.4.2 Les barrages sur le Haut Logone

Les vallées du Haut Logone, encaissées dans les massifs granitiques et à forte pente, sont propices à la construction de barrages hydroélectriques. Un projet a été formulé vers 1968-1970, avec un double objectif : réguler le cours du Logone afin de permettre des prélèvements pour l'irrigation en étiage et pour fournir de l'électricité.

Deux barrages ont été proposés :

- le barrage de Fouban, sur la Vina avant sa confluence avec la Mbéré, au Cameroun, d'une capacité de 5 milliards de m³, d'une hauteur de 57 m et d'une longueur de barrage de 2 100 m;
- le barrage de Goré, sur la Pendé, environ 20 km après son entrée au Tchad, d'une capacité de 2,8 milliards de m³, d'une hauteur de 31 m et d'une longueur de barrage de 3 400 m.

Le volume de ces barrages représente environ le débit annuel de leurs affluents. La production totale électrique serait de 100 millions de kWh par an et le débit du Logone à Laï serait :

- de 150 m³/s en étiage et de 2 600 m³/s en pointe de crue, avec un barrage construit (Koumban);
- de 250 m³/s en étiage et de 1 500 m³/s en crue pour deux barrages construits.

Ces évaluations sont basées sur une hydraulité de phase humide. Dans les conditions présentes, la production électrique ainsi que les débits de crue et d'étiage seraient à réviser à la baisse : la moyenne annuelle des débits de la Pendé à Goré était de 4,6 km³ entre 1956 et 1972 et seulement de 2,4 km³ entre 1972 et 1999.

Un premier résultat de la construction de ces barrages serait un fort déficit de l'inondation des plaines inondables, mais aussi un cours plus régulier (en termes de variabilité saisonnière et interannuelle) et un niveau d'étiage supérieur à l'actuel de 0,5 m, d'après le modèle hydrologique de la CBLT, permettant l'irrigation de contre-saison. Une simulation simplifiée a été faite, en utilisant les données hydrologiques disponibles (Laï et Goré) pour la période 1990-1996, avec une année sèche (1990-1991) et une année humide (1994-1995). On constate une forte augmentation du débit d'étiage, mais aussi la diminution du débit de crue. La topographie des seuils de déversement du Logone dans les zones inondables n'ayant pas été réactualisée, il n'est pas possible de décrire l'impact de cet écrêtement des crues sur les plaines d'inondation. Toutefois, les données anciennes indiquent que le Mayo-Kebbi et le Ba Illi ne seraient pas alimentés par le Logone au cours des six années étudiées après la construction d'un ou deux barrages.

On trouve ici une alternative au rôle d'amortisseur des pointes de crue des plaines d'inondation par la construction de barrages en amont. L'influence d'une telle régulation sur l'écologie du bassin et du Lac Tchad, dont l'amplitude des variations saisonnières de niveau serait également amortie, doit être soigneusement évaluée en ce qui concerne les systèmes naturels et les activités humaines dans le bassin.

4 LA PRÉVENTION DES RISQUES

4.1 Les risques naturels

Les risques naturels dérivent essentiellement de la variabilité climatique. Ils sont à considérer suivant plusieurs échelles d'espace et de temps.

4.1.1 L'évolution climatique

L'échelle la plus large est celle de **l'évolution du climat**. La persistance ou l'évolution du climat sont des éléments déterminants de l'utilisation des ressources en eau. Les activités humaines sont en effet modifiées en fonction du climat et des ressources en eau. Elles influent en retour sur celles-ci et sur les ressources naturelles associées, par la poursuite des activités ou la mise en œuvre de nouvelles pratiques utilisant d'autres ressources.

Les modèles globaux sont encore imprécis en ce qui concerne l'Afrique centrale. Bien que certains modèles indiquent une tendance à une aridité plus forte avec une concentration des pluies sur une plus courte période, il n'est pas possible de prédire avec précision l'influence du réchauffement global en cours sur le climat (la pluviosité) du Tchad dans les années futures.

Ces aléas climatiques à moyen terme et leur influence sur les ressources en eau sont des risques naturels à intégrer dans une stratégie d'autosuffisance et de développement. Pour prendre l'exemple du Chari, les crues de 1972 et de 1973 (respectivement 17,2 et 18,9 km³/an) ont été à l'époque considérées comme centennales sèches. Inscrites dans la période 1973-2000, elles apparaissent maintenant comme moyennes. Qu'en sera-t-il dans vingt ans ?

Dans l'hypothèse d'une évolution conforme aux modèles climatiques actuellement disponibles, c'est dans une pluviométrie au mieux égale à la situation actuelle (période 1973-présent) qu'il faut inscrire les scénarios pour la période 2001-2020.

4.1.2 Les variations interannuelles de la distribution des pluies

Les variations interannuelles de la pluviométrie globale sur le pays se traduisent par des crues fluviales d'importance variable et par une variation importante des zones inondées et du niveau des lacs, en particulier du Lac Tchad. Si cette variabilité est propice au maintien de la biodiversité floristique en empêchant la dominance d'un petit nombre d'espèces, l'agriculture pluviale y est également très sensible, surtout dans la zone sahélienne.

À plus courte échelle de temps et d'espace, la répartition des pluies au cours d'une même saison se traduit par des inégalités locales à l'intérieur de zones considérées comme homogènes d'un point de vue climatique. Les populations rurales se protègent en partie contre cette variabilité en diversifiant leurs pratiques et en se déplaçant (au moins, une partie de la famille) vers des zones plus favorables.

Un autre élément de protection peut donc venir d'une amélioration de la prévision climatique. Les systèmes d'alerte précoce des rendements des cultures sont un premier pas important dans ce sens, mais n'interviennent qu'une fois les cultures en place. Il faut rechercher une prévision préalable à la mise en culture.

Il existe actuellement une prévision de deux mois pour les cultures dans les zones inondables du Lac Tchad, en particulier de la cuvette nord. Des recherches doivent être menées pour généraliser ces prévisions aux autres zones inondables ou de décrue.

4.1.3 La protection contre les crues

Les dommages causés aux villes par l'eau sont le plus souvent le fait de fortes pluies dans des agglomérations où les ouvrages d'élimination des eaux pluviales sont insuffisants, surtout quand l'habitat s'est développé en zone inconstructible. De même que pour les inondations par crue fluviale, c'est là un risque qui tient moins à la nature qu'à l'homme.

La situation climatique et hydrologique actuelle est la référence pour la description de l'hydrologie, mais la période 1950-1970 ne doit pas être oubliée. Les situations extrêmes observées alors, en particulier la crue du Chari de 1961, sont également à prendre en compte dans l'évaluation des risques.

La ville de N'Djaména s'est agrandie depuis 1970, notamment par des constructions en zones antérieurement déclarées inconstructibles du fait de leur sensibilité aux inondations par les eaux de pluie ou des crues du fleuve.

Il n'y a pas eu de catastrophe parce que les crues du fleuve sont restées modestes. La plus forte cote à l'échelle de N'Djaména TP depuis 1971 a été de 7,56 m en octobre 1988. On se souvient de l'inquiétude exprimée et de l'appel à l'aide internationale lancé alors par le Gouvernement pour protéger la capitale. La montée des eaux s'est arrêtée avant que des dommages ne soient causés par les eaux du fleuve, mais les fortes pluies d'août avaient déjà fait des dégâts. Ce sont en effet principalement les pluies de forte intensité qui causent des dommages aux agglomérations, plutôt que les crues fluviales.

Cette hauteur d'eau du fleuve de 7,56 m avait été dépassée dix fois dans les dix-neuf années de la période plus humide (1951-1970), dont quatre fois de plus de 1 m. On imagine les problèmes que pourrait causer une crue de ce type dans les conditions actuelles d'urbanisation.

À la suite d'octobre 1988, un projet a été mis en place pour installer des limnigraphes à transmission automatique sur des stations clés du bassin et permettre de prévoir le plus tôt possible les crues à N'Djaména.

Le Système d'Annonce de Crue (SAC) est maintenant géré par la DREM. Il diffuse un bulletin tous les 10 jours en saison des pluies, basé sur un modèle utilisant les cotes à Sahr, Moundou, Bousso et Bongor, transmises par radio ou par téléphone (le système de transmission automatique par satellite, projet FAC-DREM, ne fonctionne plus, les stations ayant fait l'objet de vandalisme). Il faudrait cependant vérifier le calage des échelles utilisées pour les lectures. Ce système, s'il permet de se préparer à une inondation, ne suffit cependant pas pour l'empêcher.

Dans leur régime normal, les crues du Chari et du Logone sont amorties par le remplissage des plaines d'inondation. Le rôle hydraulique de ces plaines est donc important pour que les hauteurs de crue restent compatibles avec l'état actuel du développement urbain. Cette fonction d'amortisseur doit être tout au moins conservée en ce qui concerne N'Djaména. L'éventualité de l'augmenter en cas de forte crue doit être étudiée. Cette augmentation pourrait se faire par creusement de seuils de débordement vers les zones inondables voisines, si la topographie le permet.

Des propositions ont été faites pour protéger N'Djaména des crues du Chari, notamment par la construction d'une digue-canal longeant un périphérique à l'est de la ville. Dans un premier temps, la réalisation d'un canal d'évacuation des eaux pluviales vers le nord-est de N'Djaména est prévue pour 2001. Il faudrait en outre associer des vannes anti-retours aux ouvrages de drainage qui rejettent leurs eaux dans le fleuve : en 1998 et en 1999, le courant dans ces canaux allait du fleuve vers la ville lors du pic de crue.

Dans le cas de crues exceptionnelles du type de celles des années 60, ces solutions n'apportent pas une sécurité et des plans d'urgence sont à mettre en place pour la capitale, mais aussi sans doute pour plusieurs autres agglomérations dont le recensement reste à faire.

4.2 Les risques d'origine humaine

La question des eaux usées urbaines, domestiques et pluviales ou industrielles n'est considérée ici que comme élément de pollution chronique interférant sur les systèmes aquatiques naturels ou les bas-fonds inondables.

4.2.1 Les eaux usées urbaines

L'OMS estime qu'il y a une relation directe entre l'accès à une eau de bonne qualité et la survie infantile ou plus généralement la santé publique. Le développement de l'approvisionnement en eau potable des communautés villageoises et urbaines, y compris les plus pauvres qui paient l'eau le plus cher, est à cet égard une priorité.

Dans les villages, l'assainissement des eaux usées peut être découplé de la fourniture d'eau potable du fait d'une faible densité humaine locale. Il n'en est pas de même des grandes agglomérations où ces eaux domestiques et pluviales stagnent localement, entraînant des risques accrus de paludisme, de choléra, de maladies parasitaires ou de diarrhées lors de l'utilisation de cette eau.

On peut concevoir que la priorité est l'alimentation en eau potable et que les conditions économiques ne permettent pas d'installer partout en même temps la collecte des eaux usées ou pluviales. Il est toutefois souhaitable d'envisager conjointement les deux systèmes dans un plan d'aménagement qui porte sur la durée.

Des études récentes abordent le problème général du développement urbain des quatre principales villes du Tchad où l'alimentation en eau potable et le drainage des eaux pluviales et des eaux usées sont des urgences récurrentes. Il y est notamment indiqué que l'urbanisation sauvage (spontanée) et incontrôlée se fait dans des zones souvent défavorables et que la construction préalable d'infrastructures (routes, drains, adductions d'eau et d'électricité) permettrait de contrôler l'extension de la ville dans des zones plus favorables. L'exemple de cette situation est celui de l'extension de N'Djaména vers l'est sur des terrains inondables, alors que le nord-ouest de la ville offre de meilleures conditions. Il en résulte que des mares autrefois naturelles sont maintenant transformées en réceptacles à ciel ouvert.

Par ailleurs, les solutions proposées par ces études pour l'évacuation hors de la ville des eaux urbaines ne sont **pas acceptables** du point de vue de la santé publique ou de la conservation de l'environnement aquatique. Il s'agit soit de réunir les eaux de drainage urbain (domestiques et pluviales) dans des collecteurs situés dans les points bas de la ville avant de les évacuer par pompage vers les cours d'eau, soit de les évacuer directement dans le cours d'eau. Un dimensionnement suffisant de ces collecteurs doit être prévu afin d'assurer un **lagunage minimal** qui réduirait suffisamment les densités de bactéries ou de virus, particulièrement en période d'étiage. La pratique ancienne de considérer le fleuve comme un égout a montré ailleurs ses limites et ses défauts.

4.2.2 Les eaux usées industrielles

Les quelques industries du Tchad rejetant des eaux usées n'ont pas encore intégré dans leurs priorités le respect de l'environnement. Les normes et textes réglementaires accompagnant le Code de l'eau n'existent pas et le personnel pour les faire appliquer doit être formé. Il est certain, qu'à l'avenir, il faut être plus exigeant sur les études d'impact et la protection des eaux.

Dans les agglomérations où se trouvent les établissements industriels, les rejets se font :

- soit directement dans le fleuve, avec un impact possible sur le milieu naturel et les habitants qui le fréquentent;
- soit sur le sol, avec une possibilité de pollution de la nappe utilisée pour l'alimentation en eau potable.

Le lecteur consultera le **volume thématique « Assainissement en milieux urbain, semi-urbain, rural et industriel »** pour de plus amples informations sur les eaux usées industrielles.

4.2.3 Les pollutions minières

L'activité minière, hors pétrole, est encore réduite au Tchad. Elle concerne essentiellement la recherche de diamants près de la frontière de la RCA et les régions de la Tandjilé et du Mayo-Kebbi pour l'orpaillage.

La recherche de diamants augmente localement le débit solide des rivières, ce qui pourrait perturber les migrations ou la reproduction de poissons dans les cours d'eau temporaires du sud-est du Tchad.

L'extraction de l'or contribue également à augmenter la charge en particules des rivières, mais le risque le plus important est celui de la pollution par le mercure utilisé pour amalgamer les poussières d'or. Le mercure est toxique lorsqu'il diffuse dans l'atmosphère et dans l'eau, surtout lorsqu'il forme des complexes avec la matière organique dissoute. Bien qu'il existe d'autres techniques moins polluantes pour extraire l'or, il semble que le mercure soit utilisé dans le Mayo-Kebbi. Les données manquent à cet effet et un inventaire est à faire pour évaluer l'état actuel de la concentration en mercure dans les milieux aquatiques. Encore une fois, le poisson est un indicateur utile.

Les projets d'exploitation du pétrole ont fait l'objet d'études d'impact environnemental détaillées, qui se sont traduites par des cahiers des charges pour l'exploitation sur le site et le transport par oléoduc.

Sur le site de Doba, les impacts à risque identifiés sur les milieux aquatiques proviennent principalement des facteurs suivants :

- de l'érosion résultant du nivellement de surface et des travaux de mise en place de l'oléoduc;
- des eaux usées domestiques et industrielles du chantier;
- des eaux d'exploitation;
- du franchissement des rivières par l'oléoduc.

Des mesures contre l'érosion et pour la rétention des particules avant leur arrivée dans les rivières sont prévues. Le site de Doba sera doté d'une installation de traitement des eaux usées domestiques. Des bassins de décantation sont prévus pour séparer les huiles dans les eaux industrielles. Les reliquats les plus chargés seront réinjectés avec les eaux d'exploitation. Enfin, le franchissement des rivières se fera par enfouissement du conduit sous le fond du lit pour éviter une perturbation de leur cours.

Au total, l'identification des risques et les mesures d'atténuation ou d'élimination des nuisances sont proposées conformément à la démarche recommandée par la Banque Mondiale. La mise en œuvre de l'exploitation est présentée comme étant sans impacts sur les milieux aquatiques.

Au cours de l'étude d'impact, des observations ont été effectuées au début de 1998 sur les peuplements de poissons des rivières locales, la Mbéré, la Lim, la Nya, la Pendé et le Logone occidental au Tchad. Les pêches expérimentales et des enquêtes auprès des pêcheurs ont permis de préciser la liste des espèces présentes, dont le nombre pour les deux principaux bassins inventoriés (Pendé à Doba, Logone à Moundou) est en fonction de la surface du bassin versant selon une relation établie pour d'autres bassins africains. Seule une espèce, *Synodontis gobroni*, connue pour le bassin du Tchad, est nouvelle pour le Logone. On dispose ainsi d'un état initial et d'une possibilité de vérifier l'innocuité des activités pétrolières vis-à-vis des peuplements de poissons. Une équipe du Ministère de l'Environnement et de l'Eau aura pour mission de veiller à la bonne application du cahier des charges et de suivre le milieu. Il est prévu que cette équipe recevra la formation nécessaire et disposera de moyens appropriés.

L'exploitation du champ de Sédigui, au nord-est du Lac Tchad dans le Kanem, mettra également en œuvre la réinjection des eaux de production qui sont abondantes dans le gisement. La connexion entre la nappe phréatique et les eaux de surface des ouaddis impose ici une surveillance particulière de la gestion des déchets liquides dans un contexte de production beaucoup plus faible qu'à Doba.

Il a été décidé que l'oléoduc contournerait le Lac Tchad pour éviter des risques de pollution accidentelle des eaux du lac. Il est prévu que ce pétrole sera pour une partie utilisé dans une centrale électrique et, pour l'autre partie, raffiné à N'Djaména. L'eau du fleuve servira aux circuits de refroidissement. Il faudra veiller à ce que les eaux rejetées dans le fleuve soient traitées en ayant recours à des techniques mieux adaptées que celles figurant dans la première proposition.

Au niveau des deux exploitations, les mesures de prévention limitent le risque d'un accident dont la probabilité n'est cependant pas nulle. Il est mentionné dans l'étude environnementale effectuée pour Doba que le plan de lutte contre les accidents ou leurs effets, en cours de rédaction, sera conforme aux normes de la Banque Mondiale. Ce plan a été adopté récemment.

4.2.4 Les pollutions d'origine agricole

Sauf dans l'est du pays, les grandes surfaces cultivées au Tchad sont relativement planes, ce qui limite fortement les zones d'érosion et de transport des particules par l'eau (il n'en est pas de même de l'érosion éolienne en zone sèche).

Par contre, une fraction importante des engrais et des produits phytosanitaires employés dans les divers types de cultures, industrielles ou non, est transportée par l'eau dans les sols vers les nappes et les cours d'eau où ils constituent des facteurs de pollution durable ou d'eutrophisation.

L'entraînement par l'eau des engrais se traduit par un enrichissement en éléments nutritifs dans les eaux. Compte tenu des quantités actuellement utilisées (voir tableau 5), l'impact sur les communautés aquatiques n'est pas décelable à l'échelle du bassin. Compte tenu également du caractère limitant du phosphore dans la plupart des milieux, un impact pourrait se manifester localement par une augmentation des concentrations de micro-algues, en particulier dans les mares.

Tableau 5 : Engrais utilisés au Tchad (tonnes) (Les divers sont les tourteaux d'arachide)

| Années Intrants | 1985 | 1986 | 1987 | 1988 | 1989 | 1990 | 1999 |
|--------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|
| Azotés | 288 | 375 | 286 | 1 015 | 528 | 340 | |
| Composés | 10 846 | 6 713 | 6 894 | 3 015 | 7 975 | 11 606 | |
| Divers | | | | 3 351 | 5 933 | 5 225 | |
| Total | 11 134 | 7 088 | 7 180 | 7 380 | 14 436 | 17 171 | 16 000 |

Source : SDEA 2000

La protection globale des zones agricoles, par traitement direct des plantes ou par la lutte antiaviaire et antiacridienne, peut aussi se traduire par des apports de produits aux fleuves.

Les statistiques agricoles du Tchad donnent quelques informations sur les pesticides utilisés dans la zone soudanienne concernant la nature des produits et les quantités exprimées en litres. Pour la lutte antiacridienne, on constate que la dernière importation d'organochlorés, réputés comme rémanents, a eu lieu en 1988; il s'agissait de 35 000 litres de Lindane (300 ulv). Les organophosphorés Fenitrothion, Malathion et Dursban, le carbamate Propoxur et le phénylpyrazol Adonis sont les seules molécules officiellement importées depuis 1995.

La Cotontchad distribue pour le coton la Ciper méthrine (720/Delta). Nous ne connaissons pas les produits utilisés pour la culture de la canne à sucre à Banda (Sahr).

Au total, les quantités utilisées étaient de l'ordre de 500 000 à 1 000 000 de litres (sans préciser les concentrations) à la fin des années 80. Pour la lutte antiacridienne, les quantités en jeu sont bien moindres : environ 4 500 litres en 1999 et 2000.

Les pesticides sont susceptibles de s'accumuler dans la chaîne alimentaire des systèmes aquatiques : leur concentration dans les organismes augmente depuis les plantes ou micro-algues jusqu'aux poissons, en particulier chez les poissons prédateurs. Ces derniers présentent l'intérêt d'accumuler ces produits dans la durée, ce qui réduit la fréquence des analyses nécessaires. Ils sont de bons indicateurs de la concentration en pesticides dans le milieu, surtout pour les organochlorés. Leur analyse peut renseigner sur d'éventuels risques pour la santé humaine des consommateurs.

Les organophosphorés et les autres molécules plus récentes sont moins stables, donc en principe moins dangereuses. Étant plus difficiles à identifier dans les organismes, il faut alors échantillonner plus régulièrement les eaux fluviales pour les rechercher. Une première évaluation des concentrations en organochlorés dans les poissons du Tchad permettrait de statuer sur la situation actuelle, de comparer avec d'autres lacs africains et d'envisager si nécessaire les mesures à prendre.

4.2.5 L'état actuel de la pollution par les métaux et les pesticides

Jusqu'à présent, le degré de pollution des eaux de surface du Tchad par les métaux et les pesticides était inconnu. Dans le cadre de l'élaboration du SDEA, le PNUD-DAES a donc pris l'initiative de lancer une enquête limitée afin de déterminer s'il existe des indices de pollution par les pesticides ou par le mercure dans les eaux du Lac Tchad, devant le delta du Chari. La campagne d'échantillonnage a été effectuée en novembre 2000. Les analyses ont été réalisées sous la responsabilité du « Freshwater Institute, Canada ». Les résultats obtenus constituent un point zéro auquel pourront se référer des analyses ultérieures.

Un contrôle de la pollution des milieux aquatiques peut se faire par des analyses de l'eau, répétées en fonction des saisons. Cela peut se faire aussi en échantillonnant moins fréquemment des organismes qui sont des intégrateurs sur la durée de cette pollution éventuelle. Nous avons choisi d'analyser des poissons capturés par les pêcheurs dans le Lac Tchad dans la région du delta du Chari, autour de Kinasseirom.

Cette méthode présente l'avantage d'être un indicateur de la qualité des produits consommés par les populations de la région et renseigne sur la qualité du milieu puisque les poissons concentrent les substances polluantes dans la chaîne alimentaire.

En **conclusion de cette étude**, on peut retenir les éléments énumérés ci-après.

- Le mercure est en concentrations très faibles et augmente légèrement en fonction du niveau dans la chaîne trophique. Aucun poisson analysé n'approche les teneurs limites publiées par l'OMS. La quantité de poissons qui peut être ingérée sans risques par un adulte est de 470 g/jour de l'espèce qui contient le plus de mercure (Hydrocyon, Lates ou Bagrus). Cette quantité est réduite à 200 g/jour pour les enfants et les femmes enceintes. Pour la plupart des autres poissons, les rations alimentaires quotidiennes sans risques sont nettement supérieures.
- Les concentrations en pesticides organochlorés et en PCB dans les deux espèces analysées sont également faibles, un peu plus élevées chez les Synodontis, plus gras et plus hauts dans la chaîne alimentaire du lac que les Oreochromis, consommateurs primaires. Aucun risque pour la santé humaine n'est identifié pour des consommations normales ou même importantes de ces poissons.

5 LES ÉLÉMENTS DU FONCTIONNEMENT ÉCOLOGIQUE DES PRINCIPAUX SYSTÈMES AQUATIQUES

Dans un état encore naturel pour la majorité, les systèmes aquatiques superficiels du Tchad rendent à la société de nombreux services, dont la pêche est l'exemple le plus évident. Il est donc important de connaître le fonctionnement de ces systèmes afin de les prendre en compte dans des schémas d'aménagement. Ce fonctionnement est contrôlé pour l'essentiel par le régime hydrique couplé avec le rythme des saisons.

5.1 La biodiversité, reflet de l'environnement

La variabilité saisonnière et interannuelle des conditions de milieu, présentée comme un inconvénient en matière d'usages, doit être considérée comme un facteur de la biodiversité. Les peuplements végétaux et animaux des différentes zones du Tchad sont des produits de leur environnement et de sa variabilité. C'est celle-ci qui sélectionne les espèces et leur permet de se succéder les unes aux autres et de constituer ainsi des peuplements en équilibre dynamique. En ce qui concerne la biocénose aquatique, largement régulée par le régime hydrique, une moindre variabilité saisonnière ou interannuelle donnerait à quelques espèces la possibilité de dominer les peuplements tandis que d'autres disparaîtraient. De nombreuses plantes aquatiques, par exemple, ne se reproduisent que si le sédiment a été exondé pendant une période : elles disparaissent des zones inondées en permanence (exemple, l'*Aeschynomene elaphroxylon*). Beaucoup d'espèces de poissons ont un cycle de reproduction réglé par la crue du fleuve et la croissance des jeunes est assurée par les plaines d'inondation. Lorsque les crues sont insuffisantes pour inonder les plaines, le renouvellement du stock est **très fortement**

diminué (exemple, l'Alestes baremoze). Une forte régularisation du cours fluvial, comme dans la basse vallée du Fleuve Sénégal, perturbe fortement les peuplements de poissons : la biomasse a diminué ainsi que la diversité du peuplement et les pêcheurs ont quitté la région.

La diversité des espèces aquatiques dépend donc de la conservation du fonctionnement naturel des systèmes, en premier lieu réglé par le cycle hydrologique.

Les systèmes aquatiques permettent également la conservation de la faune terrestre. En zone saharienne, rappelons que la présence de l'eau de surface ou subaffleurante permet la présence d'espèces végétales et animales localisées loin de leur aire normale de répartition et parfois endémiques. C'est, par exemple, le cas de la Guelta et de l'Ouaddi Archéi (réserve de faune) avec la présence de crocodiles (*C. niloticus*), de singes et de quatre espèces de poissons, dont une endémique (*Sarotherodon borkouanus*).

La disparition de l'eau de surface lors d'épisodes de sécheresse est un élément de risque pour la faune sauvage. En avril 1999, des gazelles sont venues chercher de l'eau dans des villages du nord du Kanem, phénomène qui ne s'était pas produit depuis la sécheresse de 1940.

La zone sahélienne est particulièrement riche en espèces inféodées aux milieux aquatiques, avec le Lac Tchad (environ 130 espèces de poissons) et la Réserve de la Biosphère du lac Fitri (zone figurant dans la Convention de Ramsar) qui accueille les oiseaux aquatiques migrateurs.

5.2 Les zones inondables : fonctionnement écologique, conservation et besoins hydriques

Le fonctionnement des plaines inondables des vallées fluviales est rythmé par les crues des fleuves et par les saisons. C'est donc ce rythme qu'il faut maintenir pour conserver ces systèmes productifs.

L'inondation de la plaine commence par les pluies qui permettent aux graminées de se développer et forment les premières mares. Ensuite viennent les débordements du fleuve qui élèvent le niveau de l'eau et apportent les sédiments en suspension, lesquels contribuent à la richesse du milieu. La répartition de la végétation herbacée dépend de la profondeur de l'eau. Plusieurs espèces de poissons se reproduisent dans la zone inondée, en bordure du fleuve. Les jeunes trouvent dans la plaine une nourriture abondante associée aux herbes ainsi qu'une protection contre les prédateurs. Lorsque la plaine se vide à la décrue, vers novembre, ils regagnent le lit du fleuve par les principaux exutoires. La production en poissons des plaines est proportionnelle à la surface inondée.

La faune sauvage terrestre colonise en grandes densités ce biotope abondant en pâturages, et occupe les zones voisines exondées pendant la phase de crue (voir, par exemple, la capacité d'accueil de Waza). Les plaines d'inondation sont également le lieu de reproduction d'échassiers aquatiques qui profitent de la densité des petits poissons pour nourrir leurs jeunes.

Après la décrue, les mares rémanentes abritent les poissons qui n'ont pas rejoint le fleuve et servent d'abreuvoir à la faune terrestre. Dans la région du Bas Chari, entre N'Djaména et le Lac Tchad, ces mares constituent des milieux particulièrement riches en oiseaux. Du côté tchadien, le nombre de ces mares était d'environ 85 en février 1999 et d'un peu plus de 400 en décembre de la même année, à la suite de pluies importantes dans la région, en concordance avec une forte crue du fleuve.

Au total, le rythme climatique saisonnier est donc lié au cycle des crues pour générer le cycle biologique des plaines d'inondation. Bien que l'expérience ait montré que l'absence de crues certaines années ne crée pas de dégradation irréversible en conditions naturelles, la sécheresse rend ces systèmes vulnérables lorsqu'il y a surexploitation par l'homme pendant ces périodes.

5.3 Les poissons dans le système fluvio-lacustre du Lac Tchad

La diversité spécifique de poissons (nombre d'espèces présentes) n'est pas altérée par la réduction du Lac Tchad. Les poissons sont plus dépendants de l'existence du fleuve que de celle du lac à tel point que Daget (1967) estimait que le lac « au point de vue écologique, se rapproche davantage des zones d'inondation des fleuves tropicaux que d'un véritable lac ». On compte 135 espèces dans le système Chari-Lac Tchad.

Le passage de l'état de Tchad Normal à celui de Petit Tchad a eu par contre des conséquences sur les proportions des différentes espèces. Certaines ont mis à profit les conditions marécageuses pour se développer en grandes quantités. Ce sont les cichlidés (appelés localement « carpes ») et les siluriformes (poissons-chats) ou les mormyres, bien adaptés aux eaux pauvres en oxygène mais riches en micro-algues et en larves d'insectes.

Pour les poissons de pleine eau, le milieu est maintenant restreint aux eaux libres du lac (environ 1 500 km²) et au cours des fleuves. Il semble que ce volume disponible soit suffisant. Le danger éventuel vient de la pêche.

Pour d'autres espèces, le cycle de reproduction passe nécessairement par une phase fluviale, qui fait également intervenir les plaines d'inondation. C'est en particulier le cas de l'*Alestes baremoze* (salanga). Le cycle biologique normal de ces poissons consiste en une migration depuis le lac vers les zones de débordement des fleuves dans les plaines d'inondation où a lieu la reproduction. Les juvéniles se développent dans la plaine inondée où ils bénéficient d'une nourriture abondante associée aux graminées et d'une protection relative contre la prédation. Contrairement à des milieux lacustres classiques, le taux de réussite de la reproduction est ici assez élevé. Lorsque les eaux baissent dans le yaéré, les jeunes poissons se rassemblent pour la plupart dans les drains naturels de la plaine et regagnent le fleuve (cas du Logone-Gana et du Logone-Birni) ou directement le lac (cas du Grand Yaéré du Nord Cameroun et de l'El Beïd). Ils sont alors en concentrations importantes et soumis à une forte pression de la pêche ou de la prédation par les poissons carnivores. La production de poissons dans les plaines inondées est directement liée à l'importance de l'inondation. L'exemple de 1989 et de 1999 est à cet effet intéressant : la pêche du salanga (*Alestes baremoze*) a été notable dans le Chari l'année subséquente aux seules crues significatives du fleuve depuis une vingtaine d'années. Le temps de réaction des populations de poissons est donc très rapide. À l'inverse, lorsque la crue est trop faible pour que des déversements aient lieu dans les plaines, seule une petite fraction de la population de poissons se reproduit avec succès dans le lit majeur et assure ainsi la pérennité de l'espèce.

Lorsqu'il s'agit du Lac Tchad, il faut donc considérer **l'ensemble fluvio-lacustre, incluant les yaérés**, comme unité d'espace du stock de poissons. Plus en amont dans le bassin, les connexions entre le lit fluvial et les zones inondées ont un rôle équivalent.

Dans les bassins de rivières temporaires, qui disposent souvent de zones inondables, le nombre d'espèces présentes est moins élevé. La période critique se situe en saison sèche quand la rivière est limitée à quelques points d'eau isolés dans lesquels se réfugie le stock reproducteur. Il serait important de mieux identifier ces refuges généralement mal connus afin de pouvoir les protéger, ainsi que les stocks. Les modes traditionnels de gestion des pêches permettent encore, lorsqu'ils continuent d'être appliqués, la préservation interannuelle de ces stocks.

La question de la surexploitation du système fluvio-lacustre est discutée plus loin. Notons dans un premier temps qu'il ne semble pas y avoir de surexploitation, au sens biologique ou économique, des principales espèces d'intérêt commercial du Lac Tchad. Un programme de suivi de la pêche lacustre a été mis en place récemment (programme de recherche européen). Il devrait permettre de préciser ce point par une étude des distributions de taille des captures des principales espèces commerciales.

5.4 La pêche au Tchad

Une zone de production importante de poissons est constituée par le Lac Tchad avec la partie aval du Chari et du Logone et leurs plaines d'inondation jusqu'à environ la latitude 10° N. La biologie des pêches de cette zone a été bien étudiée, mais ce n'est pas la seule à prendre en compte : il faut aussi considérer les cours plus amont de ces deux fleuves, le Mayo-Kebbi avec les lacs toubouris, le lac Fitri

et, enfin, la zone d'inondation des Barh Salamat, Keïta et Aouk. Cette dispersion des régions de production dont certaines transfrontalières ainsi que le caractère informel de circuits commerciaux complexes qui évitent les points de contrôle et de douane font que les estimations de la production de la pêche au Tchad sont difficiles.

Environ la moitié de la production provient du système Bas Chari-Lac Tchad; l'autre moitié vient des vallées fluviales, de leurs plaines inondables et des lacs associés.

Une relation directe entre la production par pêche et la surface inondée d'une plaine d'inondation a été mise en évidence dans le cas du Grand Yaéré du Nord Cameroun. Des relations du même type existent dans d'autres régions tropicales. On peut donc penser que la production par pêche des zones inondables du Tchad est une fonction directe de la surface inondée au cours de l'année.

Une valeur moyenne de production de plaine inondée, dans les conditions climatiques du Tchad, est de l'ordre de 50 kg/ha par an. Il s'agit ici de plaines inondables directement liées à un système fluvial. Pour une surface totale inondée de 94 000 km² en période humide, estimée ici à 20 000 km² reliés aux fleuves en phase de sécheresse relative actuelle, la production potentielle annuelle des zones inondables du Tchad serait actuellement de l'ordre de 100 000 tonnes.

De même, les variations d'extension d'inondation dans la cuvette nord du Lac Tchad, entre 0 km² en année sèche et environ 5 000 km² en année humide, peuvent engendrer des variations de production par pêche de 0 à 25 milliers de tonnes, avec une importance particulière pour le Niger dont la fraction du Lac Tchad n'est pas inondée tous les ans. Ces valeurs, indicatives, dépendent de la bonne santé des écosystèmes (absence de pollution), de leur bon fonctionnement hydrique et de leur connectivité.

Le projet FIMS (Fisheries Investigations Monitoring Service), qui avait débuté au Nigéria, s'étend à partir de l'an 2000 pour sa phase 3 au Bassin Conventionnel. Dans ce projet, financé par la Commission des Communautés Européennes, l'objectif est de suivre les variations de l'activité et de la production de la pêche dans le Lac Tchad et la basse vallée du Chari en sélectionnant quelques points d'observation représentatifs. Il n'est donc pas question de rechercher une approche exhaustive hors d'atteinte avec des moyens limités, mais de suivre une évolution de l'activité de pêche et des stocks de poissons. Dans la partie tchadienne, le village Kinasseirom a été choisi comme observatoire. Un appel d'offres est par ailleurs lancé par la BAD pour obtenir un diagnostic du secteur de la pêche au Tchad.

On reconnaît depuis longtemps que les techniques traditionnelles de séchage ou fumage du poisson ne permettent pas une conservation convenable et que les pertes lors du transport et dans les circuits de commercialisation sont importantes. Des efforts sont faits pour vulgariser des techniques plus performantes. C'est le meilleur moyen d'améliorer la production réellement utilisable par le consommateur. La construction de la route qui relie N'Djaména à Guitté, sur la rive sud du Lac Tchad, a par ailleurs montré l'intérêt des infrastructures routières pour valoriser les productions, en particulier de la pêche qui alimente la capitale en poissons frais.

Une gestion nouvelle de la pêche a été tentée dans le lac Léré sur l'initiative des pêcheurs en comportant la mise en réserve d'une partie de ce plan d'eau. À l'usage, les pêcheurs ont reconnu l'utilité de ce mode de gestion et noté la réapparition de certaines espèces. L'effet de la variabilité climatique ou du régime hydrique sur ces changements reste à préciser. Il est toutefois intéressant de noter qu'une petite communauté peut s'accorder sur une gestion commune. L'expérience sera suivie jusqu'en 2006 dans le cadre d'un projet plus large de la coopération allemande.

5.5 Le système Batha-lac Fitri

Le fonctionnement écologique du lac Fitri n'a pas fait l'objet d'observations aussi détaillées que celui du Lac Tchad, mais les données disponibles peu nombreuses indiquent une grande similitude : on retrouve au lac Fitri les mêmes espèces qu'au Lac Tchad, peut-être en diversité moins grande en ce qui a trait aux peuplements d'algues et de plantes supérieures, de micro-crustacés et de poissons.

Le régime temporaire du Batha se traduit par un étiage marqué du lac, mais la zone périphérique de décrue présente les mêmes caractéristiques qu'au Lac Tchad.

5.6 Les lacs du Mayo-Kebbi

Les lacs toubouris (Fianga, Tikem et N'Gara) fonctionnent comme de grandes mares permanentes des plaines d'inondation, avec le même régime hydrique. Leur faune et leur flore sont composées d'espèces présentes dans le Logone.

5.7 Les ouaddis du Kanem et de la préfecture du Lac

Ces ouaddis, isolés les uns des autres et sans liaison avec un grand bassin fluvial, sont susceptibles d'assèchement temporaire. Leur faune et leur flore sont donc pauvres en espèces, d'autant plus que la composition chimique de l'eau, parfois très fortement chargée en carbonate de sodium, crée un élément limitant supplémentaire pour la diversité. Les macrophytes sont limités aux Typha et Phragmites; les peuplements animaux comportent quelques espèces de zooplancton et les peuplements de micro-algues sont souvent monospécifiques, donnant lieu à l'exploitation du dihé. Ces ouaddis abritent parfois quelques oiseaux aquatiques.

5.8 Les oasis et les lacs de l'Ennedi, du Borkou et du Tibesti

On ne dispose sur ces milieux que de connaissances ponctuelles, la plupart anciennes, résultant d'observations très localisées dans le temps (listes d'espèces à un moment donné) ou dans l'espace. L'exemple de ce type de connaissances est celui de listes, probablement incomplètes, d'espèces de poissons ou le signalement du crocodile *C. niloticus* dans les gueltas d'Archéi et de Beskéré. Des invertébrés et mollusques ont été décrits par Gauthier (1939) et les micro-algues, par Compère (1967 et 1970). Il reste à comprendre les relations entre les organismes actuellement présents et leur milieu, à évaluer les ressources, les possibilités d'exploitation et les risques éventuels.

LES RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINE

6 LE RAPPEL DE LA GÉOLOGIE DU TCHAD

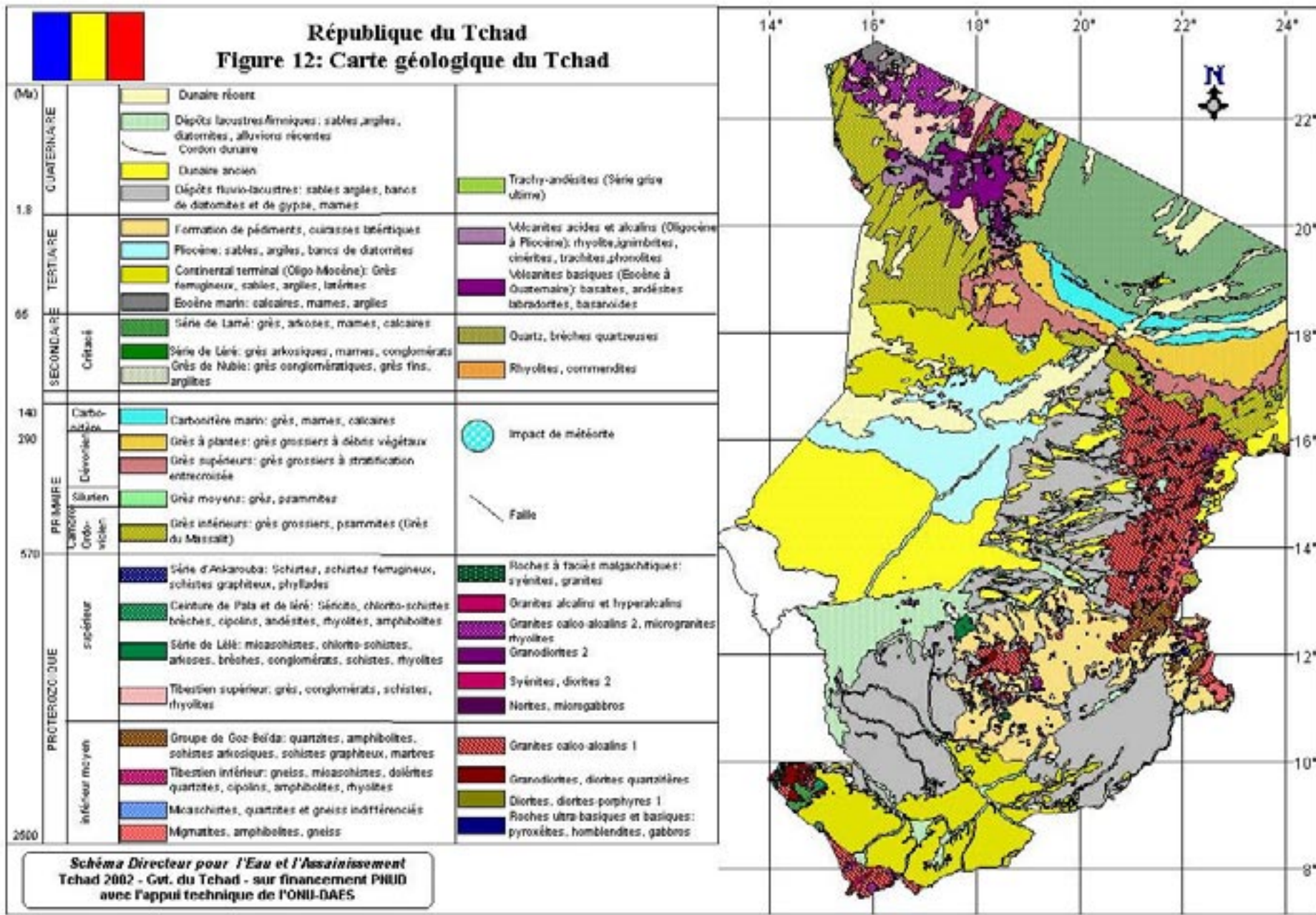
Des points de vue géomorphologique, lithologique et structural, le Tchad est constitué des unités géologiques suivantes (voir figure 12) :

- les massifs du Tibesti et de l'Ennedi, au nord;
- le plateau de Ouaddaï, à l'est;
- le Massif Central Tchadien, au Guéra, centre-est;
- le massif de Yadé et le batholite du Mayo-Kebbi;
- le bassin Crétacé-Tertiaire-Quaternaire, à l'ouest et au sud.

Le massif du Tibesti, au nord-ouest, atteint 3 415 m à l'Emi Koussi, le sommet le plus élevé de l'Afrique saharienne. Il est composé de terrains précambriens (roches métamorphiques et granitiques), paléozoïques, tertiaires et quaternaires volcaniques. Le massif de l'Ennedi (altitude maximale de 1 415 m) au nord-est, est constitué de terrains paléozoïques sédimentaires. Entre les deux massifs, le bassin des Erdis (400 à 500 m) est constitué essentiellement de terrains d'âge crétacé (Grès de Nubie).

Le plateau du Ouaddaï (entre 800 et 1 300 m d'altitude), le Massif Central Tchadien (400 à 1 600 m), le batholite de Mayo-Kebbi et le massif de Yadé (à 1 163 m, Baïbokoum, Logone oriental) sont constitués de terrains granitiques et métamorphiques précambriens, recouverts localement au Ouaddaï par des grès paléozoïques.

Le bassin Crétacé-Tertiaire-Quaternaire se présente sous la forme d'une plaine à l'altitude moyenne de 300 m; la dépression du Pays-Bas (sud-ouest du Borkou) est la zone la plus basse du bassin (120 m au-dessous du niveau du Lac Tchad). Au sud et à l'ouest du bassin, le socle précambrien-paléozoïque est affecté par d'importantes failles qui donnent lieu à de profondes dépressions (Termit, Niger/Lac Tchad, Bongor/Bouso, Doba/Salamat) ouvertes pendant le Crétacé. Le sous-bassin sud (Doba/Salamat) est rempli de dépôts crétacés et paléogènes. Les parties centrales et nord du bassin ont connu une période de sédimentation plus prolongée comprenant aussi le Néogène et le Quaternaire. Les puissances maximales de sédiments sont de 13 000 m pour Termit/Lac Tchad et de 6 000 à 7 000 m pour Bongor, Doba et Salamat.



6.1 La description des principales formations géologiques

6.1.1 En zone saharienne

En zone saharienne, on distingue, des plus anciennes aux plus récentes, les formations géologiques énumérées ci-après (voir figure 12).

Les formations précambriennes

- Au Tibesti - présence de roches métamorphiques (micaschistes, quartzites, amphibolites, gneiss, schistes, etc.) : Tibestien inférieur et Tibestien supérieur; ce dernier étant attribué au Précambrien (1 300 MA³ à 600 MA).
- Au Nord Ouaddaï - présence de roches granitiques.

³ MA = millions d'années

La perméabilité de ces formations est d'origine secondaire : failles, zones de fracture, zones d'altération, etc.

Les formations primaires

L'orogénèse panafricaine (750 MA à 600 MA) a provoqué la création d'un important bassin qui a été comblé à partir du début du Cambrien par des dépôts argilo-gréseux d'origine continentale. Deux grands ensembles gréseux ont été définis. Il s'agit :

- des grès de la série des Tassilis, allant du Cambrien au Dévonien inférieur; qui reposent en discordance sur le socle granitique;
- des grès à plantes du Dévonien moyen-supérieur.

Les dépôts supérieurs suivants sont constitués de calcaires, de marnes et de grès. Leur origine marine est liée à la transgression carbonifère (Dinantien). Les affleurements se rencontrent dans la dépression du Mourdi.

L'ensemble des « Grès Primaires » dépasse 1 000 m dans certaines parties du bassin. Les formations sont souvent douées d'une bonne perméabilité liée à la fissuration et à la fracturation consécutives aux actions tectoniques.

Les formations secondaires

Elles constituent l'ensemble des Grès de Nubie, souvent composé d'alternances de grès et d'argiles, avec niveaux ferrugineux. La puissance totale de cet ensemble peut dépasser 700 m. La période de dépôt est postérieure au Dinantien; elle semble s'achever au Crétacé (Sénonien).

Les bancs gréseux se caractérisent, a priori, par une perméabilité préférentielle.

Les formations tertiaires et quaternaires

Les formations tertiaires comportent au nord du Tibesti des calcaires, des marnes et des grès correspondant à la transgression lutétienne. Ces dépôts en marquent la limite méridionale.

Les formations volcaniques

Les formations volcaniques sont très répandues dans le Tibesti; il y en a aussi au Ouaddaï. Au Tibesti, elles sont principalement d'âge tertiaire et d'âge quaternaire. Le volume global du volcanisme est estimé entre 5 000 et 6 000 km³.

Les formations les plus anciennes (tertiaires) sont constituées par des basaltes et des ignimbrites presque horizontaux, d'une épaisseur pouvant atteindre jusqu'à 300 m. Les grands volcans centraux y sont postérieurs. On y distingue des strato-volcans basaltiques et le volcanisme acide de leurs caldérans, avec des diamètres entre 30 et 60 km, des dômes de soulèvement et, enfin, des volcans rhyolitiques.

Le tableau 6 présente la colonne stratigraphique du massif du Tibesti-Ennedi.

6.1.2 En zone sahélienne

La région reçoit des précipitations annuelles comprises entre 200 et 900 mm. Il s'agit d'une région aride et semi-aride caractérisée par d'importantes reprises des eaux souterraines par évapotranspiration; sa limite méridionale correspond sensiblement au 11^e parallèle nord.

La région comprend la partie principale des massifs du Ouaddaï et du Guéra. Les altitudes y dépassent 600 m, avec un plateau dont l'altitude varie entre 800 m et 1 000 m dans le Ouaddaï alors que le Guéra culmine à 1 613 m (au Pic de Guéra). Vers l'ouest, le piémont passe à la plaine du bassin tertiaire-quadernaire (Chari-Baguirmi et Kanem) située à une altitude inférieure à 325 m. Des formations géologiques variées se rencontrent en zone sahélienne : roches éruptives et métamorphiques précambriennes, dépôts lacustres, etc.

On distingue en zone sahélienne les formations rocheuses énumérées ci-après (des plus anciennes aux plus récentes).

Les formations précambriennes

Le massif du Ouaddaï est constitué, pour l'essentiel, de granites calco-alcalins souvent orientés et concordants. Ces roches anciennes peuvent être recoupées par de petits massifs discordants à bords circonscrits, homogènes et non orientés. D'autres granites sont présents : il s'agit de roches alcalines ou calco-alcalines. Enfin, les roches filoniennes peuvent être extrêmement développées. Elles sont constituées le plus souvent de microgranites, mais on trouve également des pegmatites et des dolérites; les filons de quartz sont fréquents. La mise en place des systèmes filoniens est à attribuer aux deux grandes phases tectoniques qui ont marqué la région : le Panafricain (750 MA à 600 MA) et le Maastrichtien (70 MA à 65 MA). Le Ouaddaï méridional, au sud du 13^e parallèle, montre d'importants affleurements métamorphiques avec des quartzites, des schistes arkosiques de schistes graphiteux, des marbres et des micaschistes.

Au Guéra, les principaux affleurements constituent le Massif Central Tchadien, lequel comprend trois massifs principaux (Abou Telfan, Kengas et Melfi) et de nombreux petits massifs secondaires séparés par des zones d'arène sableuse. L'altitude moyenne de la plaine environnante se situe entre 400 et 500 m. À la périphérie, le massif s'ennoie sous les formations sédimentaires de la cuvette tchadienne. Des roches métamorphiques, comprenant des quartzites, des micaschistes, des gneiss, sont également présentes.

Tout comme au Tibesti, l'intérêt hydrogéologique des formations précambriennes est limité à leur partie superficielle où un certain degré de fissuration et de fracturation et/ou d'altération leur confère une faible perméabilité.

Tableau 6 : Colonne stratigraphique du massif du Tibesti-Ennedi

| Description | Puissance (m) | Âge | Perméabilité |
|--|----------------------|------------------------|--|
| 10. VOLCANIQUE – basaltes, rhyolites, trachy-andésites, ignimbrites | 1 000 | Tertiaire, Quaternaire | Perméabilité variable |
| 9. CRÉTACÉ (Grès de Nubie) – grès, alternances d'argilites et grès | > 700 | Albien – Sénonien | Perméabilité variable |
| 8. JURASSIQUE (série de Soeka) – argilites, grès | 100 ? | | Perméabilité faible |
| ~~~~~ (discordance) | | | |
| 7. PERMOTRIAS – grès | 100 | | Perméabilité basse à moyenne |
| ~~~~~ (discordance) | | | |
| 6. CARBONIFÈRE MARIN – calcaires bleus, marnes vertes, grès | 300 ? | | Perméabilité variable |
| 5. DÉVONIEN SUPÉRIEUR – VISÉEN (grès à plantes) – grès grossiers ferrugineux – grès tendres, grès à plaquettes | 500 - 600 50 | | Perméabilité élevée Perméabilité élevée à moyenne |
| 4. DÉVONIEN INFÉRIEUR (grès supérieurs) – grès à stratifications entrecroisées | 100 ? | | Perméabilité élevée |
| 3. GOTHLANDIEN (grès moyens) – grès fins psammitiques peu puissants | 30 | | Perméabilité basse à moyenne |
| 2. CAMBRO-ORDOVICIEN (grès inférieurs) – grès grossiers, friables et sablonneux, stratifications entrecroisées – grès grossiers, conglomérats, stratifications entrecroisées | 45 - 140 45 - 250 | | Perméabilité élevée Perméabilité élevée |
| ~~~~~ (discordance) | | | |
| 1. PRÉCAMBRIEN (Protérozoïque moyen ou inférieur) – conglomérat de base, schistes et grès arkosiques, rhyolites interstratifiées | | Tibestien supérieur | Perméabilité par fissuration |
| ~~~~~ (discordance) | | | |
| – quartzites, schistes, cipolins, amphibolites, pyroxénites, gneiss | | Tibestien inférieur | Perméabilité par fissuration |
| – les séries métamorphiques sont traversées par des granodiorites et granites alcalins | | | Perméabilité par fissuration |

Source : SDEA 2000

Les formations primaires

Divers lambeaux gréseux ont été reconnus entre les 12^e et 14^e parallèles, le long de la frontière soudanaise. La formation des « Grès du Massalit » repose en discordance sur le socle précambrien et occupe généralement les parties basses de la topographie actuelle. Ce sont des grès psammitiques ainsi que des grès grossiers à stratifications entrecroisées. Il existe par ailleurs des dykes de grès silicifiés, témoins de l'ancienne couverture gréseuse qui s'étendait sur tout le Ouaddaï.

L'intérêt hydrogéologique des formations est local.

Les formations secondaires

Les formations secondaires et plus précisément crétacées ont été mises en évidence par des forages profonds de recherche d'eau et surtout de pétrole. Dans la région sahélienne considérée, les formations ont été reconnues dans les fossés tectoniques de Bongor/Bouso et de Termit/Lac Tchad. Par ailleurs, on citera l'attribution au Crétacé de grès affleurant dans le Nord Ouaddaï (Guéréda), dénotant l'extension méridionale des Grès de Nubie.

6.1.3 En zone soudanaise

Cette zone comprend le territoire tchadien appartenant aux bassins des fleuves Chari et Logone. Il s'agit des parties sud et sud-ouest du pays.

Les formations géologiques affleurantes sont constituées de roches précambriennes en bordure du bassin et de formations crétacées et tertiaires (Continental Terminal ou CT et Pliocène), sous forme de plateaux. Le recouvrement alluvial est quaternaire. Les dépôts secondaires (crétacés) sont bien développés dans les fossés tectoniques. Le tableau 7 décrit la colonne stratigraphique de la partie centrale du bassin du Lac Tchad.

Les formations précambriennes et paléozoïques

Le Précambrien et partiellement le Paléozoïque constituent le substratum des terrains sédimentaires du bassin crétacé-tertiaire-quaternaire. Il se trouve à des profondeurs variables : entre 200 et 600 m pour la grande partie du bassin et à grande profondeur pour les fossés tectoniques (10 000 m au Termit/Lac Tchad, 6 000 m à Bongor/Bouso, entre 6 000 et 7 000 m pour Doba/Salamat).

Les formations secondaires

Les formations secondaires ont été reconnues au Mayo-Kebbi sous la forme de dépôts crétacés. Ce sont :

- la série de Léré (Crétacé inférieur : Antéaptien-Albien) repose en discordance sur le Précambrien, en étant composée de conglomérats surmontés de grès grossiers, puis de grès fins en alternance avec des marnes vertes;
- la série de Lame (Crétacé supérieur : Cénomaniens-Turonien) montre des conglomérats grossiers, au-dessus des calcaires à lumachelles témoins d'une transgression marine, puis des grès, des calcaires et des marnes correspondant à des conditions lagunaires et continentales.

Les formations crétacées ont été également reconnues par des sondages de recherche pétrolière dans plusieurs bassins du sud et de l'ouest du pays. Ces bassins (Doba/Salamat, Bongor/Bouso, Termit/Lac Tchad) sont le résultat d'un phénomène tectonique majeur qui a marqué l'ensemble de la région avec l'ouverture des fossés au Néocomien, entre 141 MA et 118 MA, lors du démantèlement du continent de Gondwana.

L'intérêt hydrogéologique des formations secondaires porte essentiellement sur les sables cénomaniens du bassin du Salamat.

Tableau 7 : Colonne stratigraphique de la partie centrale du bassin du Lac Tchad

| Description | Épaisseur (m) | Âge | Perméabilité |
|--|--|--|---|
| 5. QUATERNAIRE – sables – argiles, gypse, diatomites, sables (série de Moji) – alternance de sables et argiles | 80-100 10- 20 80-100 | Pléist.sup. (Ogolien) Pléistocène supérieur Pléistocène inf./moyen | Perméabilité moyenne à élevée Perméabilité limitée Perméabilité moyenne |
| ~~~~~(discordance) | | | |
| 4. NÉOGÈNE – argiles avec intercalations sableuses – sables avec intercalations argileuses – sables avec intercalations argileuses | 260-300 80-145 110-140 | Pliocène moyen/supér. Pliocène inférieur Miocène (CT) | Perméabilité basse Perméabilité moyenne Perméabilité moyenne |
| ~~~~~(discordance) | | | |
| 3. PALÉOGÈNE (bassin de Termit, Niger) – argilites avec intercalations de sables/grès sur la partie inférieure – sables massifs | 1000 200 | Éocène-Oligocène(CT) Paléocène (CT) | Perméabilité variable, limitée Perméabilité moyenne |
| ~~~~~(discordance) | | | |
| 2. CRÉTACÉ SUPÉRIEUR (bassin de Termit, NNO du Lac Tchad) – sables massifs et intercalations argileuses – argilites avec intercalations de grès, limolites, calcaires – argilites | 420 1 530 260 | Maastrichtien (CT) Turonien-Sénonien Cénomaniens | Perméabilité moyenne Perméabilité basse Perméabilité basse |
| ~~~~~(discordance) | | | |
| 1. JURASSIQUE/CRÉTACÉ INFÉRIEUR (bassin de Termit) – grès | > 500 | Albien | Perméabilité moyenne |
| ~~~~~(discordance) | | | |
| Base : Précambrien, Paléozoïque (grès primaires) | épaisseur maximale de sédiments sur le socle au fossé de Termit : ~ 12 000 m | | |

Source : SDEA 2000

Les formations tertiaires

Au **sous-bassin de Doba/Salamat**, les formations sont constituées essentiellement du Continental Terminal (CT). Il s'agit de sables et de grès à stratifications entrecroisées, d'argiles versicolores, de lentilles de kaolin, de niveaux ferrugineux concrétionnés ou pisolithiques.

La formation du CT constitue la partie supérieure du remplissage du sous-bassin avec une épaisseur pouvant dépasser 500 m. L'âge des dépôts a été attribué à l'Éocène supérieur-Miocène ou Oligocène-Miocène. Mais les sondages pétroliers ont montré que les dépôts du CT ont pu commencer dès le Maastrichtien.

À la **cuvette au sud de Faya** (Borkou, zone saharienne) et sur les grès dévoniens, le CT gréseux et argileux atteint une épaisseur comprise entre 10 m et 350 m. Dans la **partie centrale du Pays-Bas** (sud-ouest du Borkou), le CT présente des dépôts gréseux à argileux, souvent avec des cuirasses ferrugineuses rattachées à l'ensemble « Continental Terminal ». Ces dépôts sont attribués à la période Éocène supérieur-Miocène. Enfin, la **région de Koro Toro** a connu au Pliocène une sédimentation d'origine fluvio-lacustre constituée d'alternances d'horizons sableux et argileux. La présence actuelle d'eau à faciès sulfatésodique dénote l'existence de périodes arides lors de la sédimentation.

Au **Batha** (zone sahélienne), le CT présente un faciès argileux avec quelques intercalations sableuses et une épaisseur comprise entre 50 et 300 m. Au **Lac Tchad**, le CT reposant sur le socle précambrien, atteint une épaisseur de 100 à 200 m à Kousseri et à Bol.

Au **fossé tectonique de Termit/Lac Tchad**, le CT, d'une épaisseur de 1 400 m, est reconnu à partir de 450 m de profondeur. Il est constitué par quelque 100 à 200 m de sables, attribués au Miocène, qui reposent sur des matériaux argileux contenant des intercalations sableuses et gréseuses de l'Oligocène. Les sables, d'une épaisseur d'environ 100 m, sont recouverts d'une couche argileuse de quelque 300 m (Pliocène moyen-supérieur).

Les formations quaternaires

Les déterminations paléontologiques, les études lithostratigraphiques et les datations ont permis de reconnaître les grandes unités quaternaires du Tchad. Les formations fluviolacustres sont constituées, comme au Crétacé et au Tertiaire, d'alternances d'horizons de sables et d'argiles. Les unités reconnues sont les suivantes :

- le Villafranchien supérieur a été reconnu à l'est de Koro Toro et dans le Barh El Ghazal. Les dépôts sont d'origine fluviatile ou fluviolacustre : sables, silts, argiles à diatomées;
- le Pléistocène inférieur correspond à une sédimentation essentiellement sableuse faisant suite à une longue période de dépôts argileux (Pliocène moyen);
- le Pléistocène moyen comprend des couches lacustres ou limniques à des intercalations sableuses;
- le Pléistocène supérieur, période soumise à des alternances climatiques, a donné lieu aux formations suivantes :
 - ▶ des dépôts interglaciaires (sédimentation fluviolacustre), à des reprises par des conditions froides et d'érosion éolienne. À titre d'exemple, citons la série du Moji constituée de marnes, de sables éoliens, des formations gypsifères;
 - ▶ les Sables Ogoliens, d'âge Würmien;
 - ▶ la sédimentation lacustre, du Pléistocène terminal;
- l'Holocène inférieur et moyen, donnant lieu à des dépôts lacustres et alluviaux.

Les formations du Quaternaire constituent d'excellents réservoirs aquifères.

6.2 Un bref historique géologique

Le complexe amphibolo-gneissique du Mayo-Kebbi constitue vraisemblablement la formation géologique la plus ancienne du Tchad; il date de l'Archéen (Précambrien D, plus de 2,6 milliards d'années). Ce socle ferait donc partie du craton congolais pour lequel des âges supérieurs à deux milliards d'années ont été obtenus au Cameroun. D'autres formations du socle correspondent au Protérozoïque supérieur et à la base du Paléozoïque; elles sont dues à l'orogénèse et à la granitisation panafricaines. Cet événement tectonique majeur est à l'origine de la création du bassin des Erdis et des pré-bassins du sud du Tchad.

Du Paléozoïque remonte le début du remblai (d'origine continentale) du bassin des Erdis. La couverture gréseuse s'étendait probablement du Tibesti jusqu'au Ouaddaï. La sédimentation continentale du BET a été suivie par une sédimentation marine liée à la transgression carbonifère; les dépôts se rencontrent à l'affleurement dans la dépression de Mourdi.

Au Mésozoïque, les formations les plus anciennes (Permotrias) ont été mises en évidence sur le flanc méridional du bassin des Erdis. Il s'agit de grès constituant la poursuite de la sédimentation du Primaire et la base de la série des Grès de Nubie. On constate l'existence au Crétacé inférieur (Néocomien) d'un événement tectonique considérable qui a provoqué l'ouverture des grabens dans le sud et l'ouest du Tchad, par rejeu des directions SSO-NNE panafricaines. La sédimentation du Crétacé inférieur y est constituée de dépôts à prédominance continentale : sables, grès, argiles. Les mêmes faciès terrigènes se retrouvent dans le Crétacé supérieur; mais des influences marines ont été mises en évidence au nord du Lac Tchad.

Des mouvements tectoniques, en particulier de subsidence, ont affecté en plusieurs phases le Crétacé. Il en est résulté des puissances de sédiments considérables : plus de 6 000 m dans les bassins de Bongor, de Doba et du Salamat, et plus de 12 000 m au bassin de Termit/Lac Tchad. Les événements tectoniques se sont également traduits par la mise en place de roches éruptives au Nord Cameroun, rhyolithes de l'Hadjer Bigli (en bordure sud-est du Lac Tchad), datées de 77 MA à 67 millions d'années (69 MA, c'est-à-dire Maastrichtien, pour l'Hadjer Bigli).

La phase cassante correspondante est probablement à l'origine de nombreuses venues basaltiques, de brèches, de failles et de filons de quartz au Ouaddaï.

Les formations sédimentaires tertiaires correspondent essentiellement au Continental Terminal constitué de dépôts sableux, gréseux et kaoliniques à faciès sidérolithique. Elles proviennent de l'altération, sous climat tropical humide ou équatorial, des roches principalement éruptives situées à la bordure des bassins et de leur couverture sédimentaire. Les phénomènes d'altération semblent avoir commencé au Maastrichtien.

La sédimentation dans les bassins s'est effectuée en alternance de dépôts détritiques grossiers et de couches limno-lacustres, selon les variations climatiques et les mouvements de subsidence.

L'Éocène est caractérisé par une transgression marine dont les dépôts (calcaires, marnes, grès) se rencontrent au nord du Tibesti. La première phase volcanique du Tibesti serait Paléocène, mais l'ensemble du volcanisme serait postérieur au Lutétien. La période a été marquée par un rejeu des axes tectoniques anciens (panafricains) qui a provoqué la mise en place des « granites ultimes » lors de l'Éocène (55 MA-37 MA au Cameroun).

Certaines roches volcaniques peuvent être encore plus récentes au Tibesti : de 7 MA à 9 MA, c'est-à-dire correspondant au Miocène supérieur. Diverses failles affectent d'ailleurs le CT du Borkou. Des phénomènes de subsidence marquent, dans le bassin du Lac Tchad, la sédimentation du Pliocène.

L'histoire géologique du Quaternaire n'a pu être établie que dans le bassin du Lac Tchad, le seul ayant fait l'objet de diagraphies géophysiques. Les alternances lithologiques se confondent avec les événements climatiques de l'hémisphère nord; ainsi, les périodes glaciaires se traduisent par des périodes arides au sud, alors que les périodes chaudes et humides au nord provoquent une sédimentation lacustre au sud.

Le Villafranchien supérieur a connu une sédimentation de type fluviale et lacustre, le paysage étant celui d'une steppe arborée à laquelle était associée la forêt-galerie. Le Pléistocène inférieur (1,8-0,7 MA) correspond à une sédimentation sableuse après une longue période de dépôts argileux du Pliocène. La période aride a coïncidé avec la glaciation Günz sur l'hémisphère nord.

Le Pléistocène moyen correspond à des périodes de sédimentation fluvio-lacustre et des périodes arides. Les grandes périodes arides coïncident aux grandes glaciations de l'hémisphère nord.

Le Pléistocène supérieur (13 000 ans-12 000 ans) a été une période soumise à de grandes variations climatiques. La période comprise entre 20 000 BP et 15 000 BP a connu des conditions arides particulièrement intenses correspondant aux froids würmiens et a vu la création de l'immense erg ogolien sur une grande partie de l'Afrique de l'Ouest, en particulier l'ensemble dunaire du Manga où les dunes atteignaient des hauteurs de quelque 80 m à 100 m. Cet épisode qui a connu son paroxysme à 17 000 BP a transformé une grande partie du continent africain en un vaste erg et a donc provoqué l'érosion intense de la zone saharienne actuelle. Cet épisode a marqué de façon durable le paysage tchadien en créant l'erg du Kanem.

C'est au Pléistocène terminal (15 000 BP-12 000 BP) que la planète a connu un réchauffement général mettant fin aux temps glaciaires du Würm. Le nouvel optimum climatique s'est traduit par d'abondantes précipitations sur l'Afrique, l'eau météorique provenant de la fonte des couvertures glaciaires nord-américaines et eurasiennes. Le phénomène s'est accentué après 12 000 BP, provoquant la création de vastes étendues lacustres.

L'Holocène inférieur (12 000-9 200 BP) correspond à la poursuite de l'optimum climatique commencé à 15 000 BP (Alleröd, puis préboréal); les calcaires situés en contrebas de l'Angamma datent de cette époque. L'optimum se traduit par des conditions particulièrement humides provoquant la

mise en place vers 11 000 BP d'un très vaste lac de 330 000 km² sur le bassin tchadien : le Méga Tchad, immense étendue d'eau allant de Bongor à Faya, du Batha au Manga dont le niveau de l'eau se situait à + 325 m, ce qui indique une hauteur d'eau de quelque 160 m au centre du Pays-Bas. L'époque humide a permis la sédimentation de dépôts lacustres et alluviaux au Tibesti. Le Méga Tchad s'est maintenu de 7 800 à 6 300 BP, à l'exception de deux épisodes secs : 7 300 BP à 6 900 BP et vers 6 500 BP.

La fin de l'Holocène moyen, vers 5 000 BP, voit le retour de conditions climatiques sèches qui amènent l'abaissement du niveau du lac. Au Pays-Bas, des calcaires et des argiles ont pu se former dans les bas-fonds. Ces mares ont fini par disparaître en particulier lors de la période sèche du 13^e siècle AD. Une phase désertique, encore plus grave, a affecté l'ensemble de la région au 13^e siècle.

L'histoire géologique depuis 60 000 ans présente un intérêt particulier pour la détermination des périodes d'alimentation des aquifères. Un résumé des principaux événements est présenté ci-après :

- 60 000-58 000 BP, période aride;
- 58 000-46 000 BP, optimum climatique; alimentation des nappes profondes du Tertiaire du bassin du Lac Tchad;
- 46 000 BP-40 000 BP, période aride;
- 40 000 BP-33 000 BP, optimum climatique; alimentation des nappes profondes du bassin du Lac Tchad;
- 33 000 BP-25 000 BP, période aride (dépôt de la série du Moji et création d'ensembles dunaires);
- 25 000 BP-20 000 BP, dernier optimum climatique du Pléistocène supérieur;
- 20 000 BP-15 000 BP, importante période sèche correspondant à la glaciation Würm-Wisconsin; création de l'erg ogolien;
- 15 000 BP, début du réchauffement de la planète et d'un nouvel optimum climatique;
- 12 000 BP, limite Pléistocène terminal-Holocène inférieur; les conditions atmosphériques sont de plus en plus humides. Premier Méga Tchad vers 11 000 BP (à la fin de l'optimum Alleröd);
- 9 000 BP-4 600 BP, Holocène moyen; conditions particulièrement humides : Méga Tchad, alimentation de la nappe des Grès Primaires (Borkou);
- à partir de 5 400 BP, début de la dernière grande période sèche, montrant toutefois un optimum entre 3 500 et 3 200 BP, et assurant la recharge des nappes phréatiques en zone sahélienne (Batha, Chari-Baguirmi);
- le dernier millénaire se caractérise par des alternances climatiques de quelques décennies se traduisant par sept « cycles transgression-régression » du Lac Tchad;
- on note des périodes sèches marquées au 13^e siècle et surtout au 17^e siècle, avec l'assèchement total du Lac Tchad au début du 15^e siècle.

7 LES GRANDES UNITÉS HYDROGÉOLOGIQUES

La présente section synthétise l'ensemble des données disponibles sur les principaux aquifères. Le Tchad possède de vastes régions constituées de formations sédimentaires (sables, grès), servant de sièges d'aquifères continus sous les formes suivantes :

- nappes libres (souvent désignées sous le terme « nappe phréatique »);
- nappes profondes captives ou semi-captives, artésiennes sous certaines conditions hydrauliques et topographiques.

Les aquifères continus représentent presque les trois quarts de la superficie totale du pays; ils sont répartis dans les trois zones géoclimatiques, mais principalement rencontrés au nord, à l'ouest et au sud du Tchad.

D'autres régions sont moins privilégiées car leur substratum est composé de roches éruptives et/ou métamorphiques souvent d'âge précambrien, dans lesquelles l'eau souterraine ne peut se rencontrer que dans les zones d'altération et dans les axes de fracturation affectant le socle rocheux (aquifères discontinus). La superficie occupée par ce type d'aquifère représente 340 000 km², soit environ le quart de la superficie du Tchad. Ces aquifères se trouvent principalement dans le massif du Tibesti, le massif central (Guéra) et le Ouaddaï; ils sont également présents dans le sud du Tchad.

La figure 13 présente la carte hydrogéologique du Tchad alors que la figure 14 schématise les grandes unités hydrogéologiques. La figure 15 localise les sections présentées aux figures 16, 17 et 18, correspondant respectivement aux coupes hydrogéologiques Lac Tchad-Faya (nord-est sud-ouest), Waza-Gambir (nord-est sud-ouest) et Lac Tchad-Goré de direction générale nord-sud.

Par ailleurs, pour des raisons de clarté et de compréhension, la description des grandes unités hydrogéologiques est présentée suivant la répartition géoclimatique adoptée, soit les zones saharienne, sahélienne et soudanienne.

La zone saharienne

Cette zone comprend :

- les aquifères discontinus du massif du Tibesti;
- les aquifères discontinus du plateau de Ouaddaï (zone de Biltine);
- l'aquifère des Grès Primaires;
- l'aquifère du Carbonifère Marin;
- l'aquifère des Grès de Nubie;
- le système aquifère multicouches tertiaire-quaternaire (cuvette tchadienne).

La zone sahélienne

Elle regroupe :

- les aquifères discontinus du plateau de Ouaddaï
- les aquifères discontinus du Massif Central Tchadien au Guéra;
- le système aquifère multicouches tertiaire-quaternaire (cuvette tchadienne).

La zone soudanienne

Dans cette zone, on retrouve :

- les aquifères discontinus du socle de Mayo-Kebbi et du massif de Yadé (Baïbokoum);
- l'aquifère crétacé de Mayo-Kebbi;
- le système aquifère multicouches crétacé-tertiaire-quaternaire (cuvette tchadienne).

Du fait que les aquifères de la cuvette tchadienne constituent un système aquifère multicouches réparti dans chaque zone géoclimatique, la description des principales unités hydrogéologiques de ce système fait l'objet d'une section particulière, soit la section 7.4.

Le tableau 8 et la figure 14 présentent la répartition des aquifères par département.

7.1 Les aquifères de la zone saharienne

Les prochaines sections dressent le bilan actuel des connaissances sur chacun des aquifères de la zone saharienne. Le tableau 9 résume leurs principales caractéristiques.

7.1.1 Les aquifères discontinus du massif du Tibesti

Le Tibesti n'a jamais fait l'objet d'études hydrogéologiques systématiques. Les précipitations sur les formations du socle imperméable donnent lieu à des écoulements dans les hautes vallées; l'eau s'infiltré dans les alluvions pour constituer des nappes qui peuvent être continues et pérennes si elles

sont rechargées suffisamment chaque année. Les ressources principales en eau souterraine du Tibesti correspondent aux deux grandes vallées : le Bardagué et le Yébigué (25 zones de résurgence identifiées). En milieu fracturé, les eaux pluviales s'infiltrent jusqu'au substratum imperméable constitué de roches d'origine volcanique. Des sources apparaissent alors dans les vallées.

Les périmètres irrigués traditionnels utilisent conjointement l'eau des sources et l'eau des aquifères contenues dans les alluvions. L'exploitation actuelle des eaux souterraines permet l'irrigation de jardins grâce à l'exhaure au chadouf ou à la traction animale.

Les profondeurs du niveau d'eau varient entre 10 m et 50 m dans le socle fracturé et de 2 m à 10 m dans les alluvions. Le résidu sec est de l'ordre de 0,3g/l à 0,5 g/l et le faciès chimique de l'eau est du type bicarbonaté calco-sodique. La valeur de la lame d'eau infiltrée pour le socle du Tibesti est estimée à 14 mm/an. Il est clair que cette valeur ne peut s'appliquer qu'à l'échelle régionale.

Tableau 8 : Répartition des aquifères par département

| Département (anciennes préfectures) | Zone | Aquifères phréatiques | Aquifères profonds |
|--|----------|--|---|
| Zone saharienne | | | |
| TIBESTI (aquifères discontinus) (BET) | | Alluvions récentes Altérations du socle Socle fissuré | |
| BORKOU (BET) | Faya | Récent | Grès Primaires |
| | Pays-Bas | Pléistocène inférieur Pliocène inférieur Continental Terminal (nord) Grès Primaires | Pliocène inférieur Continental Terminal (nord) Grès Primaires |
| | Mortcha | Alluvions récentes | Pliocène inférieur Continental Terminal (nord) |
| ENNEDI (BET) | Erdis | Grès de Nubie | |
| | Mourdi | Carbonifère Marin | |
| | Ennedi | Alluvions récentes | Grès Primaires |
| Zone sahélienne | | | |
| BILTINE (aquifères discontinus) (Biltine) | | Alluvions récentes Altérations du socle Socle fissuré | |
| OUADDAÏ (aquifères discontinus) (Ouaddaï) | | Alluvions récentes Altérations du socle Socle fissuré | |
| ASSONGHA (aquifères discontinus) (Ouaddaï) | | Alluvions récentes Altérations du socle Socle fissuré | |
| SILA (aquifères discontinus) (Ouaddaï) | | Alluvions récentes Altérations du socle Socle fissuré | |
| GUÉRA (aquifères discontinus) (Guéra) | | Alluvions récentes Altérations du socle Socle fissuré | |
| LAC (Lac) | | Sables Ogoliens Pléistocène inférieur | Pliocène inférieur Cont. Terminal (nord) Crétacé |

Source : SDEA 2001

Tableau 8 : Répartition des aquifères par département (suite)

| Département (anciennes préfectures) | Zone | Aquifères phréatiques | Aquifères profonds |
|--|---|---|--|
| Zone sahélienne | | | |
| KANEM (Kanem) | Nord | Moji Pléistocène inférieur Pliocène inférieur | Pliocène inférieur Cont. Terminal (nord) |
| | Reste | Sables Ogoliens | Moji Pléistocène inférieur Pliocène inférieur Cont. Terminal (nord) |
| BARH EL GHAZAL (Kanem) | Sud | Sables Ogoliens | Moji Pléistocène inférieur Pliocène inférieur Cont. Terminal (nord) |
| | Reste | Moji Pléistocène inférieur Pliocène inférieur | Pliocène inférieur Cont. Terminal (nord) |
| BATHA OUEST (Batha) | Sud | Pléistocène inférieur | Pliocène inférieur Cont. Terminal (nord) |
| | Reste | Pliocène inférieur | Cont. Terminal (nord) Grès Primaires |
| BATHA EST (Batha) | Sud | Alluvions récentes Pléistocène inférieur | Cont. Terminal (nord) |
| | Reste | Alluvions récentes Cont. Terminal (nord) | |
| Cuvette tchadienne (zone sahélienne) | | | |
| HADJER LAMIS (Chari-Baguirmi) | | Pléistocène inférieur Pliocène inférieur | Pliocène inférieur Cont. Terminal (nord) |
| DABABA (Chari-Baguirmi) | Est | Cont. Terminal (nord) | |
| | Reste | Pléistocène inférieur | Pliocène inférieur Cont. Terminal (nord) |
| BAGUIRMI (Chari-Baguirmi) | | Pléistocène inférieur Pliocène inférieur | Pliocène inférieur Continental Terminal (nord) Crétacé |
| BONEYE (Mayo-Kebbi) | | Pléistocène inférieur Continental Terminal (nord) | Pliocène inférieur ? Continental Terminal (nord) Crétacé |
| Cuvette tchadienne (zone soudanienne) | | | |
| SALAMAT (Salamat) | Aboutage, NO Am-Timan (aquifs. discontinus) | Alluvions récentes Altérations du socle fissuré | |
| | Reste Am-Timan Haraze Mangueigne | Quaternaire/Continental Terminal (sud) | Crétacé |
| LAC IRO (Moyen-Chari) | | Continental Terminal (sud) | Crétacé |
| BARH KHÔ (Moyen-Chari) | | Continental Terminal (sud) | Crétacé |
| MANDOUL (Moyen-Chari) | | Continental Terminal (sud) | Crétacé |

Source : SDEA 2001

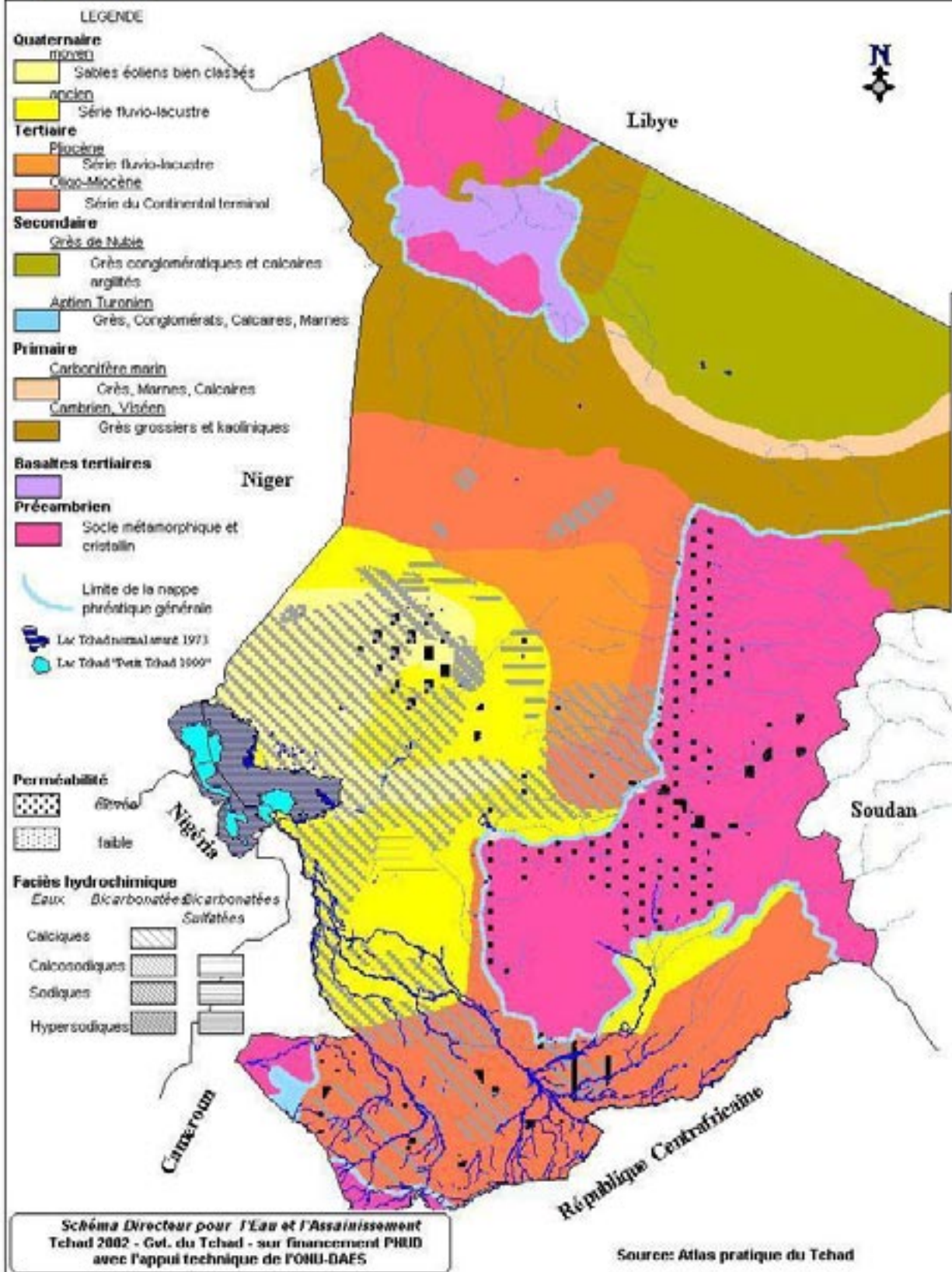
Tableau 8 : Répartition des aquifères par département (suite)

| Département (anciennes préfectures) | Zone | Aquifères phréatiques | Aquifères profonds |
|--|---|---|--------------------|
| Cuvette tchadienne (zone soudanienne) | | | |
| LOGONE ORIENTAL (Logone oriental) | | Continental Terminal (sud) | Crétacé |
| LOGONE OCCIDENTAL (Logone occidental) | | Continental Terminal (sud) | Crétacé |
| MONTS DE LAM (Logone oriental) | Lamannaye Bessao, Baïbokoum (aquifs. discontinus) | Alluvions récentes Altérations du socle Socle fissuré | |
| | Mbaïkoro | Continental Terminal (sud) | Crétacé |
| MAYO DALA (Mayo-Kebbi) | Léré, Lagon, Pala (aquifs. discontinus) | Alluvions récentes Altérations du socle Socle fissuré | |
| | Gagal | Continental Terminal (sud) | Crétacé |
| KABIA (Mayo-Kebbi) | Fianga, Gounou Gaia | Continental Terminal (sud) | |
| | Binder | Alluvions récentes Altérations du socle Socle fissuré | |
| TANDJILÉ EST (Tandjilé) | | Continental Terminal (sud) | |
| TANDJILÉ OUEST (Tandjilé) | | Continental Terminal (sud) | |

Source : SDEA 2001



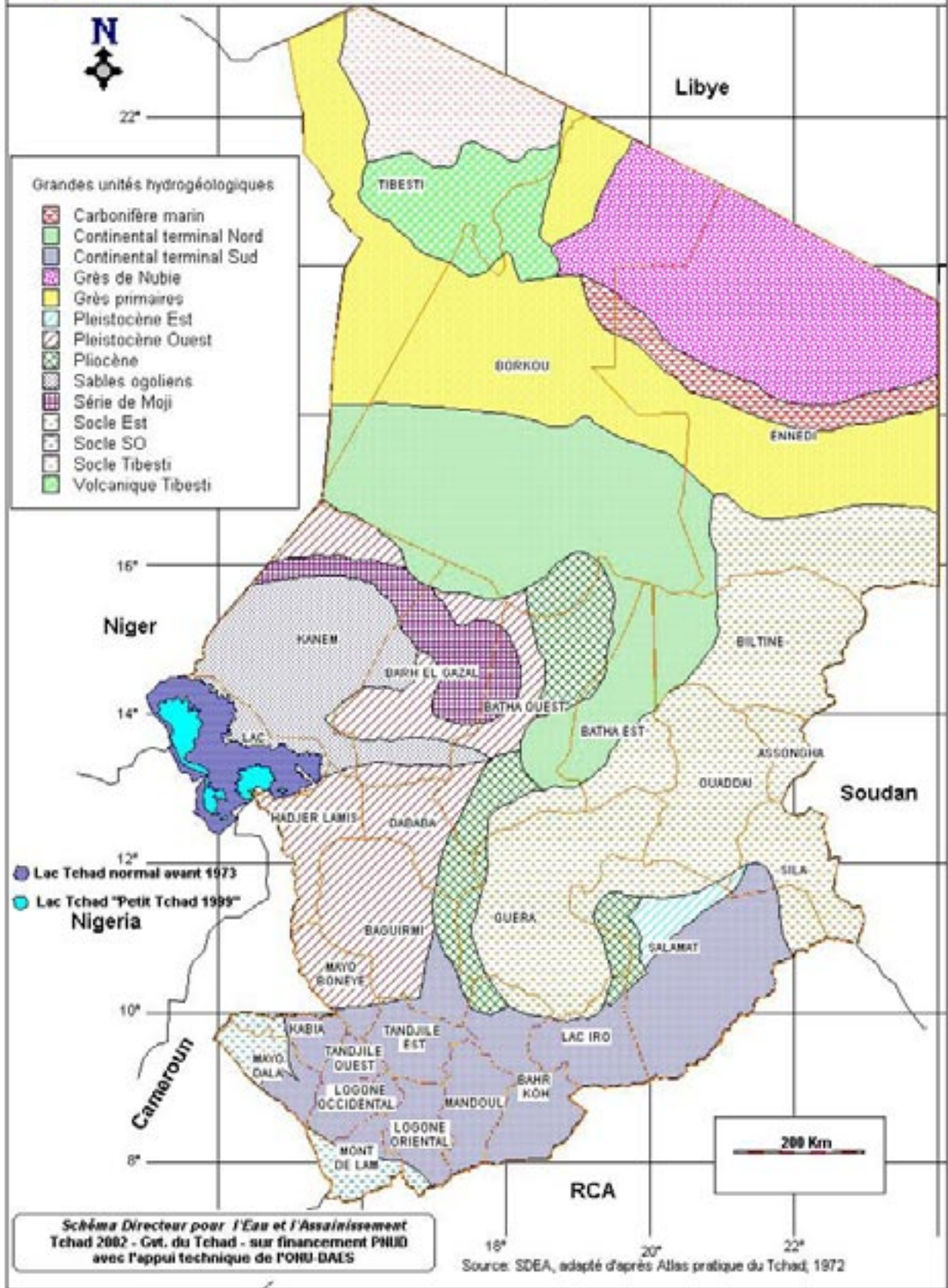
République du Tchad
Figure 13: Carte hydrogéologique du Tchad





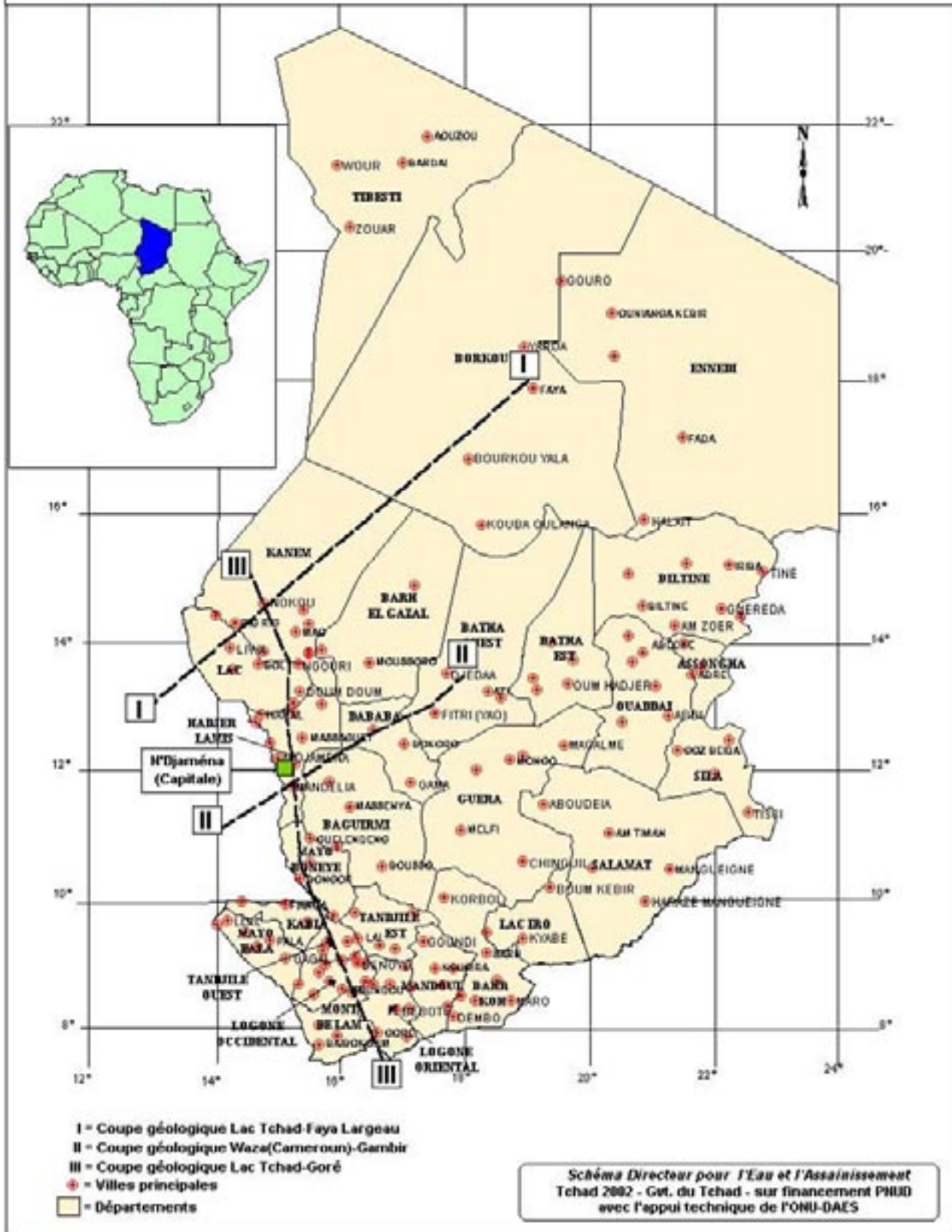
République du Tchad

Figure 14 : Localisation des grandes unités hydrogéologiques





République du Tchad
Figure 15 : Localisation des sections hydrogéologiques





République du Tchad
Figure 16: Section hydrogéologique I Lac Tchad-Faya Largeau

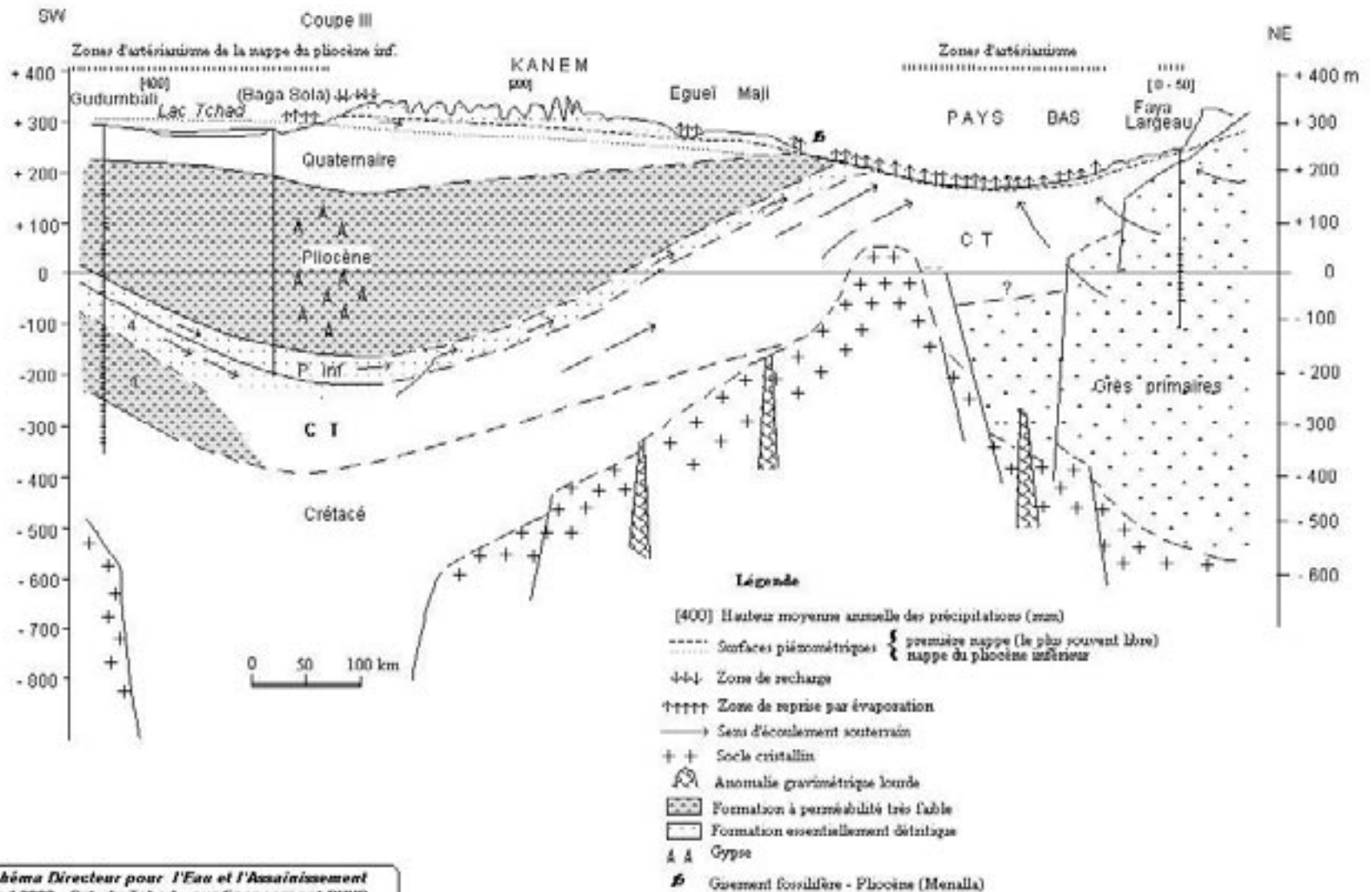


Schéma Directeur pour l'Eau et l'Assainissement Tchad 2002 - Gut. du Tchad - sur financement PNUD avec l'appui technique de l'ONRI-DALS

Source: Rapport Dichtl



République du Tchad
Figure 18: Section hydrogéologique (III) Lac Tchad - Goré

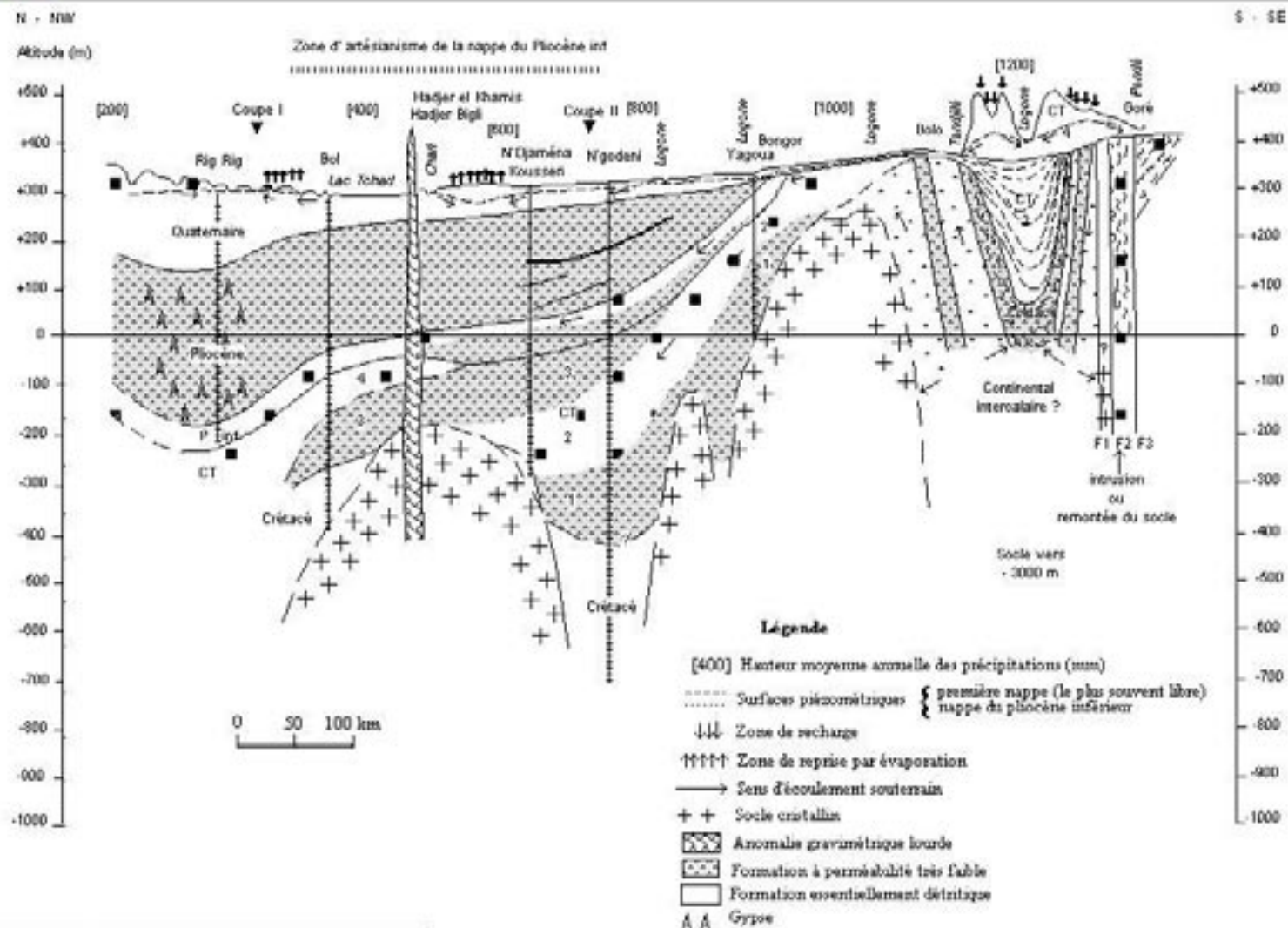


Schéma Directeur pour l'Eau et l'Assainissement
Tchad 2002 - Gut. du Tchad - sur financement PNUD
avec l'appui technique de FONU-DAES

Source: Rapport Dichtl

7.1.2 L'aquifère des Grès Primaires

Comme le montre la carte hydrogéologique (figures 13 et 14), l'aquifère des Grès Primaires couvre une superficie d'environ 115 000 km², sur le piémont du massif du Tibesti et, vers le sud-est, sur une grande partie de l'Ennedi.

L'aquifère est contenu dans des grès grossiers ferrugineux à stratifications entrecroisées d'âge cambro-ordovicien à dévonien supérieur. Leur épaisseur est de 800 à 1 200 m. Les grès reposent en discordance sur le socle précambrien. Ils peuvent être surmontés de terrains secondaires ou tertiaires. La perméabilité est attribuable à la fissuration. L'aquifère a un caractère libre à captif.

C'est du Borkou que proviennent les principales connaissances sur l'aquifère des Grès Primaires. Il a été reconnu notamment dans la cuvette de Faya où l'existence de puits pérennes a permis de déduire la présence d'une nappe généralisée. Localement, l'aquifère se décharge par des sources importantes, comme à Faya et dans la vallée de Tigui.

En fonction de la topographie, la profondeur du niveau de l'eau peut varier entre 80 m et l'artésianisme. Les débits spécifiques atteignent des valeurs comprises entre 3 m³/h/m et 37 m³/h/m. La perméabilité provient de l'importante fracturation des roches. La transmissivité est évaluée à 200 m²/j alors que la porosité, pour la partie libre de l'aquifère, est estimée entre 5 % et 10 %.

Malgré le peu de données, il semble que l'eau souterraine s'écoule en direction de la dépression du Pays-Bas où elle alimente la nappe de l'ensemble tertiaire.

L'eau est très faiblement minéralisée (résidu sec inférieur à 300 mg/l); le faciès chimique est bicarbonaté sodique. Le pH est acide (de l'ordre de 6) et à l'occasion l'eau peut montrer une forte concentration en fer.

Les radio datations effectuées sur l'eau des forages artésiens de Faya indiquent une période d'infiltration des eaux météoriques entre 9 600 BP et 7 500 BP, c'est-à-dire au début de l'optimum climatique de l'Holocène moyen.

Il n'y a pas de données disponibles qui permettent d'évaluer la recharge actuelle de l'aquifère. Compte tenu de la relation pluies-évapotranspiration et de la rareté des écoulements superficiels, les ressources renouvelables de l'aquifère, dans le cas où elles existent, sont très limitées. Cependant, en posant l'hypothèse que les données recueillies à Faya (transmissivité, stockage) s'appliquent à l'ensemble de l'aquifère, les réserves d'eau emmagasinées dans les Grès Primaires sont alors très importantes. Pour un rabattement régional de 10 mètres du niveau piézométrique, les réserves exploitables seraient comprises entre 57,5 milliards de m³ et 115 milliards de m³.

A priori, la mobilisation des réserves de l'aquifère nécessitera des forages d'environ 400 m de profondeur; ce qui permettra de capter au moins 100 m de grès fissurés saturés. Les débits prévisionnels varient entre 200 m³/h et 400 m³/h par forage. Au plan de la qualité, l'eau est légèrement acide et, pour les besoins humains, peut nécessiter un traitement contre le fer.

Compte tenu de la recharge très limitée et du manque de connaissances sur la capacité régionale de stockage et sur la dynamique de l'aquifère, la mobilisation des ressources en eau devra être menée avec beaucoup de prudence et surtout précédée d'études hydrogéologiques conséquentes.

7.1.3 L'aquifère du Carbonifère Marin

Le Carbonifère Marin, d'une puissance de 300 m, affleure dans la dépression de Mourdi (partie centrale de l'Ennedi) au nord des Grès Primaires sur une bande est-ouest de 19 000 km² d'extension (figures 13 et 14). Le rôle hydrogéologique des grès et des calcaires présents dans la formation n'est pas connu. Le potentiel en eau souterraine semble faible; une évaluation préliminaire des réserves exploitables l'estime entre 1,9 et 4,75 milliards de m³ (Mm³)⁴ pour un rabattement de 5 mètres de la surface piézométrique.

⁴ Mm³ = milliard de mètres cubes

7.1.4 L'aquifère des Grès de Nubie

La formation des Grès de Nubie affleure au plateau des Erdis (parties nord du Borkou et de l'Ennedi) et au Tibesti (affleurements isolés), sur une superficie de 73 000 km². Au nord et au nord-est, la formation s'étend vers la Libye, le Soudan et l'Égypte.

L'aquifère est contenu dans des grès comprenant des alternances d'argilites et de silts d'âge crétacé (Albien-Sénonien), d'une épaisseur supérieure à 700 m. La formation repose en discordance sur les formations précambriennes et paléozoïques. La géologie et l'hydrogéologie de l'aquifère au Tchad sont mal connues. Les levés géologiques et les prospections géophysiques montrent un ensemble lithologique comportant des horizons perméables en alternance avec des horizons imperméables.

Quelques forages de 150 m de profondeur, réalisés à la frontière tchado-libyenne, fournissent des débits compris entre 15 m³/h et 25 m³/h. Le débit spécifique est de 0,5 m³/h/m. Deux forages récents, de 142 m de profondeur, exécutés pour l'approvisionnement en eau de Ounianga Kébir et de Gouro ont respectivement un niveau d'eau à 8 m de profondeur et + 0,4 m (artésien) et un débit de 32 m³/h et 40 m³/h pour un rabattement de 5 m. En complément d'information, les forages de Koufra (Libye, à 450 km au nord-est de la frontière tchadienne) ont des profondeurs comprises entre 300 et 400 m; ils fournissent des débits de 135 m³/h à 300 m³/h, avec débits spécifiques élevés (10-50 m³/h/m).

L'ensemble de la nappe a fait l'objet d'esquisses piézométriques pas toujours concordantes. On peut toutefois penser qu'il existe dans la zone frontalière entre la Libye et le Tchad une ligne de partage des eaux souterraines à une cote piézométrique dépassant + 450 m, avec une direction d'écoulement, d'une part, nord-est vers l'oasis de Koufra (+ 375 m environ), d'autre part, sud-ouest vers le Pays-Bas (+ 170 m). On estime que la profondeur du niveau piézométrique varie entre 100 m et l'artésianisme.

Les seules données hydrochimiques disponibles concernent le lac Yoan à Ounianga Kébir. L'eau des sources y est douce avec un résidu sec inférieur à 300 mg/l. Aucune radio datation de l'eau n'est disponible. Il est cependant vraisemblable que la période d'infiltration des eaux météoriques corresponde à l'optimum climatique de l'Holocène moyen.

L'exploitation actuelle de l'aquifère des Grès de Nubie au Tchad est pratiquement inexistante. Par contre, à Koufra en Libye, d'importants prélèvements d'eau y sont effectués dans le cadre du « River Project » qui a pour objet le transfert d'eau vers le nord. Il s'agit de l'exploitation des réserves à long terme, ayant une incidence importante sur la baisse pluriannuelle des niveaux piézométriques de l'aquifère en Libye; l'eau est de faible salinité et de pH acide.

Considérant que les précipitations dans cette partie du Tchad ne dépassent que rarement les 20 mm/an, on peut présumer que la recharge de l'aquifère est inexistante ou du moins très réduite. Une évaluation préliminaire estime les réserves exploitables dans la partie tchadienne de l'aquifère entre 36 Mm³ et 73 Mm³ pour une baisse régionale de 10 m du niveau piézométrique.

Une éventuelle mobilisation des ressources de l'aquifère devrait prévoir des forages de 350 m de profondeur. Cependant, avant toute intervention de ce type, la réalisation d'études hydrogéologiques complètes est primordiale.

7.1.5 Les aquifères de la cuvette tchadienne au nord du Lac Tchad

Un système aquifère multicouches continu, présent sur les parties sud et ouest du Tchad, s'étend en zone géoclimatique saharienne sur environ 200 000 km². Ce sont :

- l'aquifère des Sables Ogoliens (Kanem);
- l'aquifère de la série de Moji (Kanem);
- l'aquifère du Pléistocène inférieur (Kanem, Batha);
- l'aquifère du Pliocène inférieur (Kanem, Batha);
- l'aquifère du Continental Terminal (nord) (Borkou, Kanem, Batha).

Ce système aquifère est décrit à la section 7.4.

⁵Mm³ = milliard de mètres cubes

Tableau 9 : Caractéristiques des aquifères de la zone saharienne

| Aquifère | Unité hydrog. | Localisation | Superficie (km ²) | Lithologie | Épaisseur (m) | Type aquifère | Paramètres hydrauliques | Hydrochimie | Piézométrie | Recharge | Décharge | Observations |
|---|------------------------|-----------------------|-------------------------------------|--|-----------------|---|---|---|-------------------------------|--|------------------------------|---|
| GRÈS DE NUBIE (Jurassique-Crétacé) | Massifs Ennedi-Tibesti | Borkou Ennedi | 73 000 (plateau des Erdis) | Alternance hétérogène de grès et argiles | 700-1 500 | Libre à captif | Qs : 0,5-6 m ³ /h/m | Sources : RS : 300 mg/l bicarb. calco-sod.-sodique | Écoulement : SO | Réduite (pluies <100 mm/an) | Sources, vers Grès Primaires | |
| GRÈS PRIMAIRES (Cambrien-Dévon.-Viséen) | Massifs Ennedi-Tibesti | Tibesti Borkou Ennedi | 115 000 (affleurement) | Essentiellement gréseuses | 800-1 200 | Aquifère régional; perméabilité par fissuration; libre à captif | T : ~200 m ² /j; Qs : 3-30 m ³ /h/m; porosité (libre) : ~5 à 10 % | RS < 0,3 g/l bicarb.calc.-sodiq pH ~6; fer parfois en excès | Artésianisme Faya; écoulm. SO | Réduite (pluies <100 mm/an); provenant des Grès de Nubie | Sources, vers Pays-Bas | |
| PETITS AQUIFÈRES DU TIBESTI (Précambrien à Quaternaire) | Massif Tibesti | Tibesti | 50 000 (petits aquifères discontn.) | Roches éruptives, métamorph. et volcaniq. Fissurées, alluvions | Alluvions 10-20 | Alluvions : libre Socle : captif | | RS : probable 0,3 - 0,5 g/l, bicarbonatée calco-sodique | | Réduite, (pluies : 20- 50 mm/an), infiltr. crues | Sources, vers Grès Primaires | Socle altéré et fissuré, drainé par les alluvions |

Source : SDEA 2001

7.2 Les aquifères de la zone sahélienne

Les prochaines pages décrivent les principaux aquifères reconnus en zone sahélienne. Le tableau 10 résume leurs grandes caractéristiques.

7.2.1 Les aquifères discontinus du plateau de Ouaddaï

Comme le montre la carte hydrogéologique, l'ensemble de Ouaddaï, d'une superficie de 100 000 km², appartient à la zone sahélienne avec une légère partie, au nord, en zone saharienne. Avec des précipitations annuelles comprises entre 100 mm au nord et 800 mm au sud, il est clair que les conditions de gisement de l'eau souterraine ne sont pas identiques du nord au sud.

La carte géologique à la figure 12 montre que la grande majorité des roches du Ouaddaï est constituée de granitoïdes. On rencontre également (zone de Goz-Béida) des terrains métamorphiques du Protérozoïque inférieur-moyen : quartzites, schistes arkosiques, schistes graphiteux, marbres et amphibolites. Dans la zone d'Adré, le socle est couvert par les grès inférieurs du Cambro-Ordovicien. La perméabilité de ces formations géologiques est directement liée au degré de fracturation des roches et/ou de leur altération.

En outre, des formations alluviales recouvrent, dans les vallées, le socle cristallin. Ces alluvions (Holocène moyen) sont généralement constituées de matériaux grossiers à la base, lesquels sont surmontés par des dépôts limoneux de l'Holocène supérieur. L'épaisseur des alluvions varie entre 9 m et 33 m.

Les recherches hydrogéologiques des années 50 ont porté principalement sur les nappes alluviales, exploitées traditionnellement par des puits. Il s'agissait alors de reconnaître la morphologie des vallées. À partir de 1973 et à l'aide de la technique de forage du marteau fonds de trou, des sondages ont été réalisés dans les terrains cristallins. Le taux de réussite moyen des trois campagnes de forages d'eau réalisées dans le cadre de projets d'hydraulique villageoise au Ouaddaï se situe entre 40 % et 45 %, ce qui a priori est faible.

Une analyse des résultats de 350 forages d'eau (40 à 60 m de profondeur) réalisés dans le Ouaddaï géographique arrive aux conclusions énumérées ci-après :

- La répartition des potentialités en eau souterraine obéit essentiellement à la morphologie, à la nature lithologique des roches et à la pluviométrie.
- Le taux de réussite des forages dépend en grande partie des précipitations annuelles. Ainsi, le taux de réussite est :
 - ▶ de 14 % à 50 % dans les zones où les précipitations annuelles sont inférieures à 400 mm. Dans ce contexte, les plateaux offrent les meilleurs taux de réussite alors que, sur les glacis et les piémonts, le taux de réussite est beaucoup plus bas;
 - ▶ de 15 % à 78 % dans les zones de précipitations annuelles supérieures à 400 mm. Dans ce contexte, les glacis et les piémonts donnent des taux de réussite supérieurs aux versants.
- L'eau souterraine est essentiellement captée dans les zones de fracture du socle cristallin ou dans les alluvions des ouaddis. La zone d'altération est stérile.

Il n'existe que peu d'informations sur la productivité des forages. Des données sont disponibles au Kapka Nord où le débit spécifique de quelques forages est de l'ordre de 2 m³/h/m (valeur médiane). Le résidu sec des eaux souterraines s'étale entre 0,1 g/l et 0,5 g/l. Le faciès chimique est bicarbonaté calco-sodique. La teneur en ion NO₃⁻ est parfois excessive.

Il est évident pour des raisons hydrogéologiques (recharge préférentielle, perméabilité de l'aquifère, profondeur des niveaux d'eau) que les recherches doivent être orientées sur la mise en évidence des nappes alluviales.

Des profondeurs maximales de 100 m pour les forages dans le socle et de 10 à 20 m pour les forages dans les alluvions doivent être envisagées. Les débits prévisibles varient entre 1 m³/h et 2 m³/h (maximum 10 m³/h) dans les granites fissurés, et de 1 m³/h à 10 m³/h dans les alluvions.

On ne saurait clore cette partie sans rappeler que les ressources en eau souterraine sont, dans cette région, particulièrement dépendantes des conditions climatiques. Étant donné les contraintes, le captage des eaux souterraines au Ouaddaï nécessite l'utilisation des techniques de pointe pour la prospection hydrogéologique telles que les études microtectoniques, géophysiques (sismiques, électriques), la prospection au radon et, le cas échéant, la recharge artificielle de l'aquifère et la mise en place des barrages souterrains.

Une évaluation du potentiel hydrogéologique au niveau régional est nécessaire.

7.2.2 Les aquifères discontinus du Massif Central Tchadien

Le substratum du Guéra est formé par des granites, couverts dans les plaines et les vallées par les formations quaternaires. On y retrouve par conséquent les aquifères discontinus du socle cristallin et les aquifères contenus dans les alluvions. Tout comme au Ouaddaï, la partie supérieure des alluvions est limoneuse, ce qui constitue une contrainte à la recharge. L'épaisseur maximale des alluvions est de 30 m. L'épaisseur des altérites varie entre 6 m et 54 m.

La profondeur des puits captant les granites fissurés ou altérés va de 10 m à 15 m; elle peut parfois atteindre 30 m. Les résultats de deux campagnes de construction de forages d'eau réalisées au Guéra, dans le cadre de programmes d'hydraulique villageoise, montrent un taux moyen de réussite (forage productif) compris entre 45 % et 56 %. La profondeur atteinte par ces forages varie de 33 m à 73 m.

Une analyse des résultats de 210 forages arrive aux constats suivants :

- le taux de réussite des forages dans les zones de glacis, de piémonts ou des bas niveaux **non érodés** est de l'ordre de 70 à 75 %; celui des zones **érodées** est de 20 à 30 %;
- les forages captent les granites altérés partiellement saturés et les granites fissurés. Les granites altérés donnent lieu à un aquifère perché qui recharge la zone fissurée. Si la zone altérée est absente, la recharge de la zone fissurée est fortement diminuée;
- le taux de réussite des points d'eau construits dans les ouaddis est de 50 %.

Les valeurs médianes des débits spécifiques des forages sont assez basses (0,1 m³/h/m à 0,2 m³/h/m). Cependant, il existe quelques zones où les valeurs des débits spécifiques sont plus élevées : Mongo (jusqu'à 1,2 m³/h/m) et Mangalme (3,2 m³/h/m).

Le résidu sec des eaux souterraines est inférieur à 0,25 g/l. Le faciès chimique des eaux est bicarbonaté calco-sodique.

Considérant la nature essentiellement granitique de la région, les recherches pour implanter les forages d'eau doivent nécessairement être orientées sur la mise en évidence des axes de fracturation ou des zones d'altération du socle cristallin.

Des profondeurs maximales de forage de 100 m sont à prévoir dans les zones du socle cristallin et de 10 m à 25 m dans les zones alluvionnaires. Les débits attendus varient de 1 m³/h à 10 m³/h pour les points d'eau dans les alluvions et de 1 m³/h à 5 m³/h dans les granites.

7.2.3 Les aquifères de la cuvette tchadienne

Tout comme en zone saharienne, un système aquifère multicouches continu, présent dans les parties sud et ouest du Tchad, s'étend en zone sahélienne sur 70 000 km². Il est constitué de plusieurs aquifères régionaux interconnectés, ce qui lui confère une unité hydrogéologique et hydrodynamique.

Les aquifères régionaux présents en zone sahélienne sont les suivants :

- l'aquifère des Sables Ogoliens (Kanem, Lac);
- l'aquifère de la série de Moji (Kanem, Lac);
- l'aquifère du Pléistocène inférieur (Chari-Baguirmi, Kanem, Batha);
- l'aquifère du Pliocène inférieur (Chari-Baguirmi, Kanem, Batha);
- l'aquifère du Continental Terminal Nord (Chari-Baguirmi, Lac, Kanem, Batha).

Seuls les aquifères des Sables Ogoliens et de la série de Moji sont décrits dans les prochaines sections. Les autres aquifères précités, inclus dans la cuvette tchadienne, sont traités à la section 7.4.

7.2.3.1 L'aquifère de la série de Moji

L'aquifère de la série de Moji correspond à la nappe phréatique située au Nord Kanem (Egueï, Moji), en pays soulia (zone Kanem-Batha) et sur plusieurs secteurs du Chari-Baguirmi. La superficie occupée par l'aquifère est d'environ 20 000 km².

Les dépôts de cette série, formés durant la période 46 000 BP à 25 000 BP dans des conditions climatiques arides, sont constitués de niveaux gréseux à ciment calcaire, de marnes et d'argiles. Des précipitations de gypses peuvent également être rencontrées. L'épaisseur des grès est de 10 m à 20 m.

La dissolution des sels précipités fournit des eaux souvent inutilisables. Les résidus secs dépassent fréquemment 5 g/l et peuvent même dépasser 8 g/l. Le faciès sulfaté sodique de l'eau est caractéristique de la formation.

7.2.3.2 L'aquifère des Sables Ogoliens

Les Sables Ogoliens constituent l'aquifère phréatique des régions situées à l'ouest et au sud du Kanem (voir figures 13 et 14). Les limites de l'aquifère sont :

- au nord, jusqu'au 16^e parallèle (au-delà, l'aquifère phréatique est constitué par la série de Moji);
- vers l'est, jusqu'au 17^e méridien (au-delà, l'eau souterraine est rencontrée dans les formations du Pléistocène moyen);
- vers le sud, jusqu'au 13^e parallèle (à partir de ce parallèle, l'eau souterraine se situe dans les formations du Pléistocène moyen).

Plusieurs forages ont permis de reconnaître les Sables Ogoliens. Ils reposent sur les formations de la série de Moji (à Bol, Rig Rig) ou sur les sables du Pléistocène inférieur (à Keliganga, Ngouri). Les courbes granulométriques montrent des sables fins à moyens (0,1 mm - 0,5 mm). La fraction argileuse peut être absente. L'épaisseur de la formation varie entre 20 m et 70 m.

Les Sables Ogoliens se caractérisent par leur perméabilité élevée : plusieurs forages ont fourni des valeurs de transmissivité supérieures à 1 000 m²/jour. Le débit spécifique des ouvrages villageois dépasse souvent 10 m³/h/m, malgré la faible pénétration des forages dans l'aquifère.

Les eaux sont peu minéralisées, ayant un résidu sec inférieur à 400 mg/l et même inférieur à 150 mg/l sur de vastes secteurs. Leur faciès est bicarbonaté calco-sodique. Certaines dépressions peuvent toutefois montrer de fortes salures correspondant à la dissolution de sels carbonatés sodiques précipités lors des épisodes arides de l'Holocène. Les bovins s'abreuvent à ces eaux lors de la cure annuelle de « natron ».

L'aquifère est rechargé par les pluies même si celles-ci sont faibles (hauteur moyenne annuelle à Mao de 286 mm sur 41 années observées). Cette recharge est à l'origine des dômes piézométriques de Kimi Kimi (avec une cote piézométrique maximale + 313 m, soit environ 30 m au-dessus du niveau moyen du Lac Tchad) et de celui du Harr; au sud de Moussoro, où les cotes peuvent dépasser + 290 m. L'infiltration efficace a été quantifiée par modélisation du bilan hydrométéorologique sur la base des observations recueillies au cours de la période de 1963 à 1965 à Ngouri. Les paramètres suivants ont été obtenus (au pas de temps mensuel) :

- pluie moyenne annuelle de 310 mm;
- pluie efficace annuelle de 78 mm, soit 25 % de la pluie;
- infiltration efficace annuelle de 68 mm, soit 22 % de la pluie.

Les pertes par évapotranspiration se manifestent dans la vallée du Barh El Ghazal (où les cotes sont inférieures à + 260 m). Les reprises par évapotranspiration sont également présentes au plateau ogolien de Bir Louri, au sud de Mao, où les niveaux d'eau ne montrent aucune remontée liée aux pluies et où, au contraire, des baisses continues ont été mesurées entre 1963 et 1984. La baisse moyenne annuelle, proche de 10 cm, amène à relativiser la lame d'eau de 68 mm déterminée pour l'infiltration efficace dans l'ouaddi de Ngouri.

Une estimation régionale de la recharge et de l'exfiltration réalisée en 1992 par la modélisation de l'aquifère phréatique a évalué la recharge par infiltration des pluies sur les Sables Ogoliens entre 10 mm/an et 15 mm/an. La bonne perméabilité des sables éoliens permet d'assurer une certaine recharge à la différence des zones plus méridionales où les sédiments fluvio-lacustres moins perméables limitent l'infiltration.

Dans la préfecture du Lac, une étude de l'aquifère des Sables Ogoliens dégage les caractéristiques suivantes :

- débit transité par l'aquifère (épaisseur 80 m, largeur 200 km) de 12 millions de m³/an;
- ressources renouvelables variant de 180 millions de m³/an à 360 millions de m³/an en année normale;
- réserves exploitables de 3,6 Mm³, pour 5 m de rabattement.

En attendant une étude complète du potentiel de l'aquifère, la nécessité d'une surveillance rigoureuse de l'évolution piézométrique s'impose. Par ailleurs, du fait de la perméabilité élevée des Sables Ogoliens et de la profondeur souvent faible de la surface piézométrique; l'aquifère est particulièrement vulnérable aux pollutions superficielles.

À l'exception de quelques dépressions interdunaires contenant des évaporites, les Sables Ogoliens fournissent une eau peu minéralisée, à faciès calcique ou calco-sodique, de bonne qualité chimique pour la consommation humaine et l'irrigation.

Tableau 10 : Caractéristiques des aquifères de la zone sahélienne

| Aquifère | Unité hydrog. | Localisation | Extension au Tchad (km²) | Lithologie | Épaisseur (m) | Autres Caractéristiques | Paramètres hydrauliques | Hydrochimie | Piézométrie | Recharge | Décharge | Observations |
|---|---|--|--------------------------------------|--|---------------------------------------|--|---|--|-------------|--|--|---|
| PETITS AQUIFÈRES DU OUADDAÏ (Précambrien à Quaternaire) | Massif Ouaddaï | Ouaddaï, Biltine | 100 000 (petits aquifs. discontinus) | Alluvions altérites Granites fissurés | Alluvions Max. 9-33 Altérites 0-36 | Alluvions : libre Granites : captif | Alluvions Qs : 2-10 m³/h/m granites : Qs : 0,5-2 m³/h/m | RS : 0,1-0,5 g/l Bicarb.calc.-sod., Teneur en NO ₃ : parfois excessive | | Limitée, (pluie 100- -700 mm/an), infiltr. crues | Sources Évapotrans. Exploitation | Points d'eau plus productifs : sur l'amont des alluvions rechargés par les crues |
| PETITS AQUIFÈRES DU GUÉRA (Précambrien à Quaternaire) | Massif Guéra | Guéra | 40 000 (petits aquifs. discnt) | Alluvions altérites Granites fissurés | Alluvions 10-30 Altérites 6-50 | Alluvions : libre Granites : captif | Qs (alluvions) : 1-5 m³/h/m Qs (granites) : 0,1-1 m³/h/m | RS : < 0,25 g/l, Bicarbonatée calco-sodique | | Infiltr. pluie (P : 500-1 000) infiltration crues | Évapotrans. Exploitation Sources | |
| SABLES OGOLIENS (Pléistocène supérieur) | Bassin Qt-Terc. Au nord Lac Tchad | Lac, Kanem | 40 000 | Sables éoliens | 20-60 | Libre | Perméabilité élevée T : 300-1 000 m²/j Qs : 10 m³/h/m | RS : < 0,4 g/l, Bicarbonatée calc.- calcosod. | | 10-15 mm sur dômes piézométriq. | Vers NE et sud | Suivi piézométr. régulier recommandé |
| SÉRIE DE MOJI (Pléistocène supérieur) | Bassin Qt-Terc. Au nord Lac Tchad | Nord et est du Kanem | 20 000 | Calcaires, marnes, grès (variabilité latérale) | 10-20 | Semi-captif à libre | Perméabilité faible | RS fréquem. 5 g/l peut arriver parfois à 8 g/l, sulf. sodique | | Limitée | | Peu connu |
| PLÉISTOCÈNE INFÉRIEUR | Bassin Qt-Terc. Au nord Lac Tchad | Kanem, Lac, Batha, Ch-Baguirmi, Boneye | | | | | | | | | | Voir tableau 11 |
| PLIOCÈNE INFÉRIEUR | Bassin Qt-Terc. Au nord Lac Tchad | Kanem, Lac, Batha, Ch-Baguirmi, Boneye | | | | | | | | | | Voir tableau 11 |
| CONTINENTAL TERMINAL (nord) (Miocène) | Bassin Qt-Terc. Au nord Lac Tchad | Pays-Bas, Mortcha, Batha | 80 000 | Lentilles sable entre argiles | Batha : Lentilles 6 – 15 | Semi-captif | Perméab. faible Qs : <1-3 m³/h/m, Exceptionnel. jq 5-16 m³/h/m | Pays-Bas : RS : 0,2-3g/l Mortcha, Batha : RS : faible Bicarb.calc.-sod. | | Limitée à très limitée ; Pays-Bas : du sud, des Grès Primaires | Pays-Bas : Évaporation | |

Source : SDEA 2001

7.3 Les aquifères de la zone soudanienne

À l'exception des aquifères de la cuvette tchadienne (décrits à la section 7.4) qui recouvrent une grande partie de la zone soudanienne, les aquifères de cette zone sont constitués des aquifères discontinus du socle du Mayo-Kebbi et de la région de Baïbokoum, des formations crétacées du Mayo-Kebbi et des grès des fossés tectoniques.

7.3.1 Les aquifères discontinus du socle du Mayo-Kebbi

Le socle du Mayo-Kebbi (voir figure 13) est constitué de granites et de terrains métamorphiques (chlorito-schistes, micaschistes, arkoses, brèches, conglomérats, rhyolites, cipolins, andésites, amphibolites) d'âge précambrien. La perméabilité est attribuable aux zones de fracturation et d'altération superficielles des roches. Dans les vallées, le Quaternaire alluvial couvre le socle précambrien et présente des couches sableuses de 10 à 25 m d'épaisseur et de bonne perméabilité.

La région appartient à la zone tropicale humide; elle reçoit en année moyenne 1 m de précipitations. Les nappes sont drainées par les cours d'eau auxquels elles assurent la totalité du débit d'étiage.

En zone de socle, les forages ont une profondeur moyenne de 40 mètres et des débits spécifiques de 0,18 m³/h/m (valeur médiane). Dans les alluvions, le débit spécifique est de l'ordre de 9 m³/h/m et la transmissivité de 300 m²/j. La profondeur du niveau d'eau est en général inférieure à 10 m. Le résidu sec des eaux souterraines est inférieur à 0,3 g/l.

7.3.2 Le socle de la région de Baïbokoum

La région de Baïbokoum constitue la partie la plus méridionale du Tchad et s'avère la plus arrosée (1 300 mm de pluies en moyenne par an). Le socle est constitué de granites; on trouve aussi de nombreuses nappes alluviales peu profondes.

En zone de socle, la profondeur maximale des forages est de 100 mètres avec des débits spécifiques de l'ordre du m³/h/m alors qu'en zone alluvionnaire elle est de 25 mètres avec des débits compris entre 1 et 8 m³/h.

L'eau est de bonne qualité.

7.3.3 Les formations crétacées du Mayo-Kebbi

La carte géologique (voir figure 12) montre l'existence de formations d'âge crétacé au Mayo-Kebbi. Ce sont :

- la série de Léré (Créacé inférieur = Antéaptien-Albien), constituée de conglomérats, de grès et de marnes en alternance;
- la série de Lamé (Créacé supérieur = Cénomaniens-Turonien) formée de grès, de marnes et de calcaires.

A priori, les milieux poreux et perméables constituent le siège de nappes localisées bien rechargées par les pluies, reposant sur un substratum imperméable (marnes, formations granitiques). Cependant, aucun aquifère puissant n'a encore été mis en évidence dans les synclinaux du Mayo-Kebbi.

La seule donnée provient de la région de Pala où un ouvrage profond de 153 m a été exécuté en 1998. La diagraphie montre, sous des dépôts tertiaires (CT) situés entre 110 m et 135 m de profondeur, un ensemble sableux ou sablo-gréseux qui pourrait appartenir au Créacé. Un pompage a été effectué en donnant un débit de 7,8 m³/h.

Auparavant, en 1970-1971, un autre ouvrage, qui a atteint le socle cristallin à 135 m et captait six couches sablo-gréseuses entre 44 m et 130 m, a donné un débit de 95 m³/h et un débit spécifique de 8 m³/h/m.

On rappelle qu'au Cameroun, la ville de Garoua est approvisionnée en eau à partir de forages réalisés dans des terrains similaires; leur débit varie de 40 m³/h à 80 m³/h. La transmissivité des grès crétacés captés au Cameroun se situe entre 3 m²/j et 2 000 m²/j (débits spécifiques entre 10,2 m³/h/m et 10,7 m³/h/m).

7.3.4 L'aquifère des grès des fossés tectoniques

Les sondages pétroliers ont mis en évidence dans le fossé tectonique du Salamat (puissance de plus de 200 m) des couches de sables avec des passées argileuses d'âge cénomanien. La formation repose sur les matériaux argilo-sableux du Crétacé inférieur; elle est surmontée de sables tertiaires du Continental Terminal.

L'aquifère est captif et le niveau de l'eau est probablement près de la cote du sol. On peut s'attendre à une transmissivité élevée.

Le fonctionnement, les ressources et la capacité de stockage de l'aquifère ne sont pas connus. L'aquifère n'est pas exploité actuellement.

La très faible densité des sondages et la complexité géologique des fossés ne permet pas actuellement de définir la géométrie de ces réservoirs. La principale contrainte relative à la mise en valeur de ces nappes est leur grande profondeur (plus de 500 m sous les sables du Continental Terminal Sud). La mobilisation des ressources de l'aquifère demanderait des forages d'une profondeur minimale de 600 m.

7.4 Les aquifères de la cuvette tchadienne

Un système aquifère multicouches continu, d'âge tertiaire-quaternaire, est présent sur les parties sud et ouest du Tchad. Il est constitué de plusieurs aquifères régionaux interconnectés, ce qui leur confère une unité hydrogéologique et hydrodynamique. Il est à noter que les aquifères décrits ci-après se répartissent dans les trois zones géoclimatiques : saharienne, sahélienne et soudanienne. Ce sont :

- l'aquifère du Continental Terminal présent dans les trois zones géoclimatiques;
- l'aquifère du Pliocène inférieur surtout présent en zone sahélienne;
- l'aquifère du Pliocène moyen, essentiellement en zone sahélienne;
- l'aquifère du Pléistocène inférieur, essentiellement en zone sahélienne;
- l'aquifère de la série de Moji en zone sahélienne (voir section 7.2.3.1);
- l'aquifère des Sables Ogoliens, surtout présent en zone sahélienne (voir section 7.2.3.2).

Les prochaines sections décrivent sommairement chaque aquifère. Le tableau 11 synthétise leurs principales caractéristiques.

7.4.1 L'aquifère du Continental Terminal

Par suite des mouvements de subsidence du bassin du Lac Tchad, une formation détritique continentale du Maastrichtien-Miocène (Continental Terminal ou CT) a recouvert en discordance les matériaux plus anciens d'âges précambrien, paléozoïque et crétacé. Cette formation s'étend sur une superficie de près de 500 000 km² sur l'ouest du Tchad depuis le Sud Borkou jusqu'à la frontière de la République Centrafricaine (voir figures 12, 13, 14 et les coupes schématiques illustrées par les figures 16, 17 et 18). Le CT affleure sur les bordures nord, sud et est du bassin du Tchad; on le trouve en profondeur au centre de la cuvette (Chari-Baguirmi, Lac, Kanem) où il est surmonté des formations du Pliocène et du Quaternaire plus récentes; vers l'ouest, il s'étend en profondeur au Nord Cameroun, au Nigéria et au Niger.

Le degré de connaissance du CT est variable. Le sud du Tchad est la partie la mieux connue compte tenu des forages pétroliers et des campagnes de forages pour l'approvisionnement en eau potable. Cependant, le CT est moins connu au centre de la cuvette tchadienne et au nord, en zone saharienne, en raison de la profondeur à laquelle repose la formation.

7.4.1.1 Le Continental Terminal dans le secteur de Doba-Salamat

Le sous-bassin de Doba-Salamat, d'une superficie de 145 000 km² en zone soudanienne, correspond à la partie moyenne des bassins des fleuves Logone et Chari et comprend les formations sédimentaires réparties dans les départements suivants : Salamat, Lac Iro, Barh Khô, Mandoul, Logone oriental,

Logone occidentale, Tandjilé Est, Tandjilé Ouest, Monts de Lam, Mayo Dala et Kabia.

Le sous-bassin Doba-Salamat est limité au nord-est, à l'ouest et au sud-ouest par les formations du socle cristallin; au sud-est, il se prolonge en République Centrafricaine. La limite nord-ouest est un seuil granitique en profondeur qui sépare le sous-bassin de la partie centrale du bassin du Lac Tchad. Le centre du sous-bassin, où le CT a la plus grande puissance, coïncide avec le fossé tectonique rempli par des matériaux crétacés.

La partie inférieure du CT, d'une puissance d'environ 800 mètres, est constituée de sables intercalés de lits de silts et d'argiles. La partie supérieure est formée de matériaux argilo-sableux dont la puissance varie entre 70 m et 260 m.

La partie inférieure de la formation CT, peu profonde dans certains secteurs, est du plus grand intérêt hydrogéologique. En effet, les diagraphies ont montré l'homogénéité des horizons de sables, ce qui laisse supposer une perméabilité élevée.

L'aquifère, rechargé par les pluies, se draine vers les cours d'eau permanents. La surface piézométrique de l'aquifère est à faible profondeur dans les vallées (moins de 10 m/sol); elle peut cependant dépasser 80 m dans le secteur des plateaux (région des Koros).

Le résidu sec des eaux souterraines est inférieur à 0,1 g/l; le faciès chimique est bicarbonaté calcique à calco-sodique. Le pH est de l'ordre de 6. Localement, l'eau peut présenter des concentrations en fer nécessitant un traitement.

L'exploitation actuelle est concentrée dans la **partie occidentale** du sous-bassin. Les forages de l'hydraulique villageoise captent en général la partie supérieure du CT. Les débits obtenus vont de 6 m³/h à 12 m³/h et la valeur médiane des débits spécifiques est de 4 m³/h/m.

Des forages, réalisés pour l'approvisionnement en eau des centres urbains (Sarh, Moundou, Koumra, Kélo) ont des débits qui varient entre 17 m³/h et 180 m³/h, avec des débits spécifiques compris entre 4 m³/h/m et 28 m³/h/m.

En ce qui concerne le Salamat, moins connu, la profondeur des puits et des forages captant le CT va de 40 m à 150 m; les niveaux d'eau sont à des profondeurs comprises entre 5 m et 15 m dans les zones de bordure et dépassent 30 m dans la région centrale. Les débits obtenus varient entre 4 m³/h et 9 m³/h, avec des débits spécifiques de 0,7 m³/h à 2,5 m³/h.

La partie profonde de l'aquifère, intéressante pour ce qui est de l'épaisseur importante des sables, mais pas connue du point de vue hydrodynamique, n'est pas exploitée.

Le sous-bassin Doba-Salamat bénéficie de précipitations annuelles supérieures à 950 mm, et l'infiltration efficace est estimée à 170 mm/an, soit environ 15 % des pluies. Une seconde évaluation, au niveau régional, montre des valeurs d'infiltration comprise entre 50 mm/an et 130 mm/an, ce qui correspond à une fourchette de 5 % à 13 % des précipitations efficaces.

À partir de valeurs de recharge du même ordre de grandeur, une étude estime à 12 Mm³/an les ressources en eau renouvelables du CT. Quant aux réserves exploitables, elles sont évaluées entre 72 Mm³ et 145 Mm³ sur la base d'une baisse du niveau piézométrique de 10 m.

7.4.1.2 Le Continental Terminal dans le secteur de Bongor-Bouso

La zone de Bongor-Bouso est localisée au nord du sous-bassin de Doba-Salamat, dans les préfectures du Mayo-Kebbi, du Chari-Baguirmi et de la Tandjilé. Dans ce secteur, le CT repose soit directement sur les granites précambriens ou sur les sédiments crétacés du fossé tectonique de Bongor-Bouso. Il est surmonté par des formations du Pliocène et du Quaternaire (voir figure 18).

Les sondages pétroliers ont traversé les formations du CT à partir de 180 m de profondeur, sur une épaisseur de 100 m à 150 m. Le CT est constitué en grande partie de sables comportant des horizons plus argileux.

Dans cette zone, les caractéristiques de l'aquifère sont peu connues.

7.4.1.3 Le Continental Terminal de la zone centrale du Tchad

Le Continental Terminal de la zone centrale est présent dans les préfectures du Chari-Baguirmi, du Lac et du Kanem, toutes des préfectures incluses dans la zone sahélienne.

La zone centrale de la cuvette tchadienne est formée par des dépôts plio-quadernaires au sud-ouest du Kanem (nord du Lac Tchad), d'une épaisseur comprise entre 560 m et 620 m. Au-dessous de cette couverture, les diagraphies montrent l'existence d'une couche sableuse avec de rares intercalations argileuses du Miocène, d'une puissance d'une centaine de mètres.

Les caractéristiques hydrochimiques de l'aquifère sont inconnues, mais elles sont sans doute assez près de celles du Pliocène inférieur ayant des valeurs de résidu sec comprises entre 600 mg/l et 900 mg/l, et un faciès bicarbonaté à sulfaté sodique. Les eaux de la région centrale de la cuvette datent très probablement des optimums climatiques antérieurs à 33 000 BP.

La contrainte majeure pour l'exploitation de la nappe du CT de la partie centrale de la cuvette est la profondeur de l'aquifère qui nécessite des forages de 200 m à 300 m au sud et entre 650 m et 700 m au centre. La recherche et l'exploitation de cette nappe ne pourraient donc être envisagées que dans le cas où la nappe du Pliocène inférieur ne serait pas à même de répondre à la demande.

7.4.1.4 Le Continental Terminal dans les zones du Pays-Bas et du Mortcha

Ces zones correspondent au Nord Kanem et au Sud Borkou; elles couvrent une superficie de 80 000 km² (voir figures 16 et 17).

Dans la partie méridionale du Borkou, à l'ouest et au nord-ouest du Barh El Ghazal, il existe une nappe phréatique subaffleureante sur l'ensemble du Pays-Bas. Vers l'est et le sud-est (Mortcha), la profondeur de l'aquifère augmente sous les piémonts et dépasse les 100 m en limite orientale, au Nord Batha.

Au **Pays-Bas**, l'aquifère est souvent recouvert par des terrains récents peu puissants. La lithologie et les caractéristiques hydrauliques de l'aquifère sont peu connues. Cependant, la recharge par l'infiltration de la pluie efficace est certainement limitée ou inexistante car les précipitations annuelles sont inférieures à 50 mm. L'aquifère est probablement alimenté latéralement à partir des aquifères sous-jacents : le Pliocène inférieur et les Grès Primaires. Le Pays-Bas étant la zone topographiquement la plus déprimée au nord du Lac Tchad, il constitue la zone de décharge naturelle des aquifères régionaux.

Les résidus secs se situent entre 0,2 g/l et 3 g/l. Des puits traditionnels et des puits cimentés sont, actuellement, les seuls ouvrages de captage qui exploitent l'aquifère au Pays-Bas.

Au **Mortcha**, sous 100 m à 250 m de terrains pliocènes et quadernaires stériles, le CT d'une puissance comprise entre 30 m et 300 m a été reconnu; il est constitué essentiellement d'argiles et de quelques horizons sableux à partir de plus de 100 mètres de profondeur.

Le manque d'informations, la recharge très limitée, le caractère argileux de l'aquifère et le niveau d'eau à plus de 100 m sont des contraintes importantes pour la mobilisation de la ressource. En outre, la qualité de l'eau présente localement des problèmes de salinité excessive.

7.4.1.5 Le Continental Terminal au Batha

La partie supérieure des formations géologiques contient une nappe phréatique sur la bordure orientale du Batha, limite de la cuvette tchadienne, en contact avec le socle granitique des massifs du Ouaddaï et du Guéra. Les ouvrages de reconnaissance et d'exploitation (sondages et puits) ont rencontré sur le socle granitique des sédiments essentiellement argileux de faible productivité. Les eaux sont douces à faciès bicarbonaté calcique à calco-sodique (voir figure 16).

La recharge actuelle de la nappe est limitée et serait liée à l'infiltration des rares pluies ou des crues des ouaddis. Elle est sujette aux reprises de l'évapotranspiration. La profondeur du niveau d'eau se situe entre 60 m et 80 m/sol.

Par ailleurs, plusieurs sondages profonds ont mis en évidence quelques niveaux sableux dans l'ensemble argileux du CT au Batha central et occidental. Ces horizons sableux ont été localisés entre 80 m et 200 m de profondeur; leur puissance varie entre 6 m et 15 m. Le CT, d'épaisseur variable

dépendamment de la topographie du socle, repose directement sur les granites et est surmonté par les formations pliocènes et quaternaires.

La profondeur de niveau d'eau se situe entre 50 m et 100 m sous le sol. La perméabilité des sables est peu élevée; les débits spécifiques sont inférieurs à 4 m³/h/m et souvent moins de 1 m³/h/m. Les débits obtenus varient entre 2 m³/h et 14 m³/h.

Les eaux souterraines sont faiblement minéralisées et présentent un faciès chimique bicarbonaté calco-sodique.

7.4.2 L'aquifère du Pliocène inférieur

L'aquifère du Pliocène inférieur est rencontré en zones sahélienne et soudanienne dans les préfectures du Kanem, du Lac, du Batha, du Chari-Baguirmi, et au nord du Mayo-Kebbi (voir figures 17 et 18).

Cet aquifère a été reconnu pour la première fois en 1945 à Maidougouri (Nigéria) grâce à un sondage de 562 m. Au Tchad, il a été identifié à Fort Lamy en 1950 et un programme de reconnaissance a été exécuté en 1962 au Niger.

Les forages profonds réalisés dans le bassin du Lac Tchad rencontrent, à une profondeur de 250 m à la périphérie et à plus de 450 m vers le centre du bassin, une couche sableuse pouvant atteindre une épaisseur de plus de 150 mètres. Les dépôts peuvent se présenter sous la forme d'intercalations purement sableuses plus ou moins épaisses dans un ensemble sableux ou comme un ensemble massif présentant ou non des intercalations argileuses.

La puissance de la formation sableuse augmente des bordures (30 m à 70 m) vers le centre de la cuvette (au nord du Lac Tchad) où, par suite des phénomènes de subsidence, elle peut dépasser 150 m. À l'intérieur de la formation, les couches de sables souvent lenticulaires ont une épaisseur de 5 m à 10 m. Les sables sont surmontés par des argiles du Pliocène moyen.

Au Chari-Baguirmi septentrional, par le biais des forages captant cet aquifère, les paramètres hydro-géologiques ci-après ont été obtenus :

| | Qs (m ³ /h/m) | T (m ² /jour) | S |
|-------------|--------------------------|--------------------------|----------------------|
| Am Bounq | 0,7 | 95 | 1 * 10 ⁻⁴ |
| Bout El Fil | 8,8 | 450 | 1 * 10 ⁻⁴ |
| Kaga | 3,9 | 240 | 1 * 10 ⁻⁴ |

La plus forte productivité des forages situés au nord de N'Djaména a été trouvée à Bout El Fil où un débit artésien proche de 50 m³/h a été mesuré.

Ces valeurs montrent l'absence d'homogénéité de la couche sableuse. Compte tenu de la sédimentation de sables plus fins vers le nord du bassin, on peut s'attendre au Kanem et au Batha à des productivités plus basses.

Au Kanem, les résidus secs ont des valeurs s'étalant entre 630 mg/l et 1 580 mg/l. Les faciès sont bicarbonatés sodiques pour les eaux les moins chargées, sulfatées sodiques pour les eaux les plus minéralisées. Ce dernier faciès est lié aux phénomènes arides qui ont marqué le Pliocène inférieur.

Au Chari-Baguirmi septentrional (au nord du 12^e parallèle), les eaux du Pliocène inférieur montrent des caractéristiques relativement variées. Les eaux les moins minéralisées possèdent un résidu sec inférieur à 500 mg/l; le faciès est alors bicarbonaté calco-sodique à sodique. Les résidus secs les plus élevés peuvent dépasser 800 mg/l, avec un faciès bicarbonaté sodique. Au Chari-Baguirmi méridional, les eaux ont des caractéristiques chimiques homogènes : les résidus sont secs, inférieurs à 700 mg/l; le faciès chimique est bicarbonaté sodique.

La figure 16 montre le cheminement des eaux à partir du Pliocène inférieur vers la nappe phréatique par drainage ascendante à travers les argiles pliocènes et l'émergence en bordure méridionale du Pays-Bas. La recharge de l'aquifère s'effectuerait en zone libre au Chari-Baguirmi méridional par

infiltration des pluies et par les cours d'eau permanents (Logone et Chari) ainsi que par l'eau des grandes plaines inondables.

La profondeur moyenne des forages captant l'aquifère du Pliocène inférieur est de 300 mètres. En bordure, la profondeur peut être inférieure à 100 m et, au centre de la dépression, supérieure à 500 m. Les cotes piézométriques de la nappe dépassent + 300 m dans l'extrémité méridionale de la région. Elles deviennent inférieures à + 280 m au Kanem par suite d'un gradient hydraulique général vers le Pays-Bas. La profondeur des niveaux d'eau peut atteindre 36 m/sol au Chari-Baguirmi méridional. Toutefois, en bordure du Logone et du Chari à l'est de N'Djaména et en bordure du Lac Tchad, des conditions artésiennes sont rencontrées.

Pour l'aquifère du Pliocène inférieur, les réserves en eau exploitables ont été estimées entre 26 Mm³ et 65 Mm³ pour un rabattement du niveau piézométrique jusqu'à 100 m sous le sol. Cette valeur n'est qu'approximative et devra faire l'objet d'une vérification.

Vu la grande profondeur (250 m et plus/sol) de l'aquifère dans sa partie captive, les problèmes de pollution de la nappe par des contaminations de surface ne se posent pas; les conditions sont différentes à la latitude de Bongor où la nappe est libre.

La principale contrainte pour la mise en valeur de la nappe du Pliocène inférieur est liée à la grande profondeur de l'aquifère en zone captive. Il faut bien souvent dépasser 250 m de profondeur au Chari-Baguirmi pour atteindre le toit de la couche sableuse. La profondeur est encore plus grande au Kanem puisqu'elle dépasse 450 m.

La qualité de l'eau au Chari-Baguirmi est généralement bonne. Au Kanem, l'eau est plus minéralisée, ce qui peut poser certains problèmes, notamment pour l'irrigation.

Les sondages hydrogéologiques réalisés à l'ouest du Batha ont mis en évidence un certain nombre d'intercalations sableuses à des profondeurs variant entre 100 m et 200 m dans une masse argileuse de sédiments tertiaires qui peut être attribuée au Pliocène Inférieur. Les sables se rencontrent à deux niveaux, entre 110 m et 120 m et entre 160 m et 170 m sous le sol. Leur puissance serait de quelque 6 m à 15 m.

7.4.3 L'aquifère du Pliocène moyen

La sédimentation sableuse initiée au Pliocène inférieur s'est interrompue pour donner lieu à une longue sédimentation argileuse. La couche argileuse déposée dépasse souvent 200 m de puissance pour atteindre 300 m dans la partie subsidente du Kanem. La formation peut contenir des horizons sableux.

L'un de ces horizons, du fait de sa position dans l'ensemble de la formation, est connu sous le nom de « Pliocène moyen ». Cet horizon d'une puissance d'une dizaine de mètres a été reconnu dans le Chari-Baguirmi central à des profondeurs variant entre 145 m et 213 m. La perméabilité des sables peut être assez élevée ($T = 350 \text{ m}^2/\text{jour}$; $k = 28 \text{ m/jour}$; $S = 3 * 10^{-3}$) et l'eau de bonne qualité.

7.4.4 L'aquifère du Pléistocène inférieur (Quaternaire)

Les données sur la structure géologique de la nappe des sables du Pléistocène ancien proviennent d'un maillage de sondages profonds qui ont recoupé en totalité les formations quaternaires (voir figures 16, 17 et 18).

L'aquifère du Pléistocène inférieur repose sur les formations du Pliocène moyen. Ces formations sableuses s'étendent sur une superficie de 235 000 km², constituant « la nappe phréatique » du Chari-Baguirmi, du nord et de l'ouest du Kanem et du Sud Batha.

Au Sud Batha, les sables quaternaires agissent comme aquifère phréatique grâce à l'infiltration des crues du Barh Batha. À Gambir, les sédiments sont peu perméables, ce qui coïncide avec une dépression piézométrique. La profondeur de la nappe est faible en bordure du Batha (10-15 m à Ati); elle augmente rapidement vers le nord pour atteindre 50 m.

Au Chari-Baguirmi, les sables peuvent apparaître sous forme d'un ensemble homogène de 40 m à 70 mètres de puissance (Guirlié, Logone-Birni, Ngodeni, N'Djaména), mais le plus souvent, la sédimen-

tation fluviale a fait place à des épisodes de sédimentation lacustre ou limnique. Les intercalations argileuses qui en ont résulté peuvent être de faible épaisseur ou 6 m, comme à Bol.

Les valeurs de transmissivité se situent entre 95 m²/jour et 600 m²/jour et celles de la perméabilité entre 3 m/jour et 56 m/jour. Une forte valeur a été trouvée au Lac Tchad (à Bol) où la transmissivité est supérieure à 1 700 m²/jour. Les valeurs de débit spécifique varient entre 2 m³/h/m et 9 m³/h/m. À N'Djaména, le coefficient de stockage (S) a été estimé de 4×10^{-4} à 1×10^{-3} .

Les eaux de l'aquifère du Pléistocène inférieur présentent les deux principaux faciès chimiques suivants :

- un faciès bicarbonaté (calcique, sodique ou mixte); les résidus secs sont inférieurs à 500 mg/l et même souvent à 200 mg/l;
- un faciès sulfaté (sodique) particulièrement net quand le résidu sec dépasse 1,5 g/l. Le faciès est attribuable à la contamination des eaux du Pléistocène inférieur par les horizons d'évaporites sous-jacents du Pléistocène supérieur (série de Moji). Elles sont difficilement utilisables, sauf pour l'abreuvement du cheptel quand la minéralisation reste modérée.

En outre, au sud du Barh Batha, le résidu sec, inférieur à 250 mg/l, présente un faciès bicarbonaté calcosodique. La concentration des sels augmente vers l'ouest, dépassant 750 mg/l au-delà du 18^e méridien et 1 500 mg/l entre Am-Djéména et Gambir. Au nord du lac Fitri, le résidu sec atteint 5,5 g/l et plus.

La profondeur du niveau d'eau au sud et à l'ouest du fleuve Chari est inférieure à 20 m et, elle est même inférieure à 10 m sous les zones inondables. Par contre, sous les parties centrale et septentrionale du Chari-Baguirmi, la profondeur est supérieure à 40 m, atteignant 50 m dans la zone de Moïto. Dans la zone du Lac et du Barh El Ghazal, le niveau se situe entre 0 et 20 m. À partir du Lac, la profondeur de l'eau augmente vers le nord-est (20 m à 60 m) et vers l'est (20 m à plus de 80 m).

L'écoulement souterrain est caractérisé par une dépression piézométrique localisée sur les parties centrale et orientale du Chari-Baguirmi entre la limite du Kanem et du Chari et entre le Lac Tchad et le secteur de Bokoro, soit sur quelque 150 km de diamètre. La profondeur du niveau d'eau atteint 60 m en pays de Kouka.

L'origine de la dépression est semble-t-il à rechercher dans les phénomènes de reprises des eaux souterraines par évapotranspiration (exfiltration) dans un milieu fluvio-lacustre argileux de perméabilité moyenne à faible.

Des relevés piézométriques ont été effectués sur un réseau de 10 piézomètres situés entre les 12^e et 13^e parallèles. La période d'observation, variable pour chaque piézomètre, va de 1965 à 1998. Les résultats de ce suivi mènent aux constats suivants :

- pour le même aquifère et les mêmes périodes d'observation, des piézomètres avec des baisses continues de niveau coexistent avec d'autres piézomètres montrant des remontées continues;
- des zones relativement rares de recharge de l'aquifère par les pluies se distribuent de façon discontinue dans l'espace selon des règles peu connues; les facteurs déterminant cette distribution sont lithologiques, hydrodynamiques et météorologiques;
- les baisses piézométriques ont été plus persistantes pendant la période 1962-1985 que durant les années suivantes.

Par ailleurs, le réseau piézométrique installé dans le même aquifère et suivi par le Bureau de l'Eau entre 1999 et 2001 montre, à l'exception des variations interannuelles, une stabilisation des niveaux d'eau, notamment dans la zone du creux piézométrique. Enfin, un relevé effectué en 2001 dans la préfecture du Lac sur 40 forages d'hydraulique villageoise indique des remontées de niveau d'eau variant de 50 cm à 4 m au cours de la période comprise entre 1988 et 2001.

Concernant les relations entre le Chari et la nappe phréatique, il s'avère en toutes saisons, même en saison d'étiage, que le niveau du fleuve est à une altitude supérieure à celle de la nappe. Il y a donc alimentation théorique continue de la nappe par le fleuve.

L'aquifère est rechargé par l'infiltration des pluies (de façon plus continue au sud du Chari-Baguirmi et de manière plus éparse en zone sahélienne), par celle des eaux de surface (le long des fleuves Chari et Logone, Lac Tchad) et probablement, au Kanem, par drainance verticale de l'aquifère des Sables Ogoliens qui se situe stratigraphiquement au-dessus du Pléistocène inférieur. La relation avec les aquifères inférieurs n'est pas encore bien établie bien que les charges piézométriques du Pliocène inférieur soient supérieures à celles du Pléistocène inférieur. L'aquifère se décharge par les prélèvements, par évaporation directe dans les zones argileuses et par écoulement vers le nord-est.

Les débits des forages exploités dans le cadre de l'hydraulique villageoise varient de 7 m³/h à 40 m³/h. Cependant, à titre indicatif des débits que l'aquifère peut fournir, citons les débits compris entre 80 m³/h et 360 m³/h (moyenne 160 m³/h) des forages utilisés pour l'AEP de N'Djaména.

Les réserves en eau souterraine exploitables sur le Pléistocène inférieur (Quaternaire) pour un rabattement du niveau piézométrique d'un tiers de l'épaisseur saturée de l'aquifère, ont été estimées entre 66 Mm³ et 141 Mm³. Ces valeurs doivent être vérifiées.

La vulnérabilité de l'aquifère face aux sources potentielles de contamination se pose de façon différente selon que l'aquifère est captif ou libre, de faible ou de grande profondeur. En effet, dans le cas de l'aquifère libre, le problème de vulnérabilité à la pollution peut se poser sérieusement compte tenu du caractère lentilleux des couches sableuses et de leur interconnexion hydraulique avec les formations supérieures.

La mobilisation des ressources de l'aquifère est soumise à certaines contraintes : les éventuelles baisses à long terme des niveaux piézométriques; les dépressions piézométriques en zone sahélienne semi-aride; la vulnérabilité à la pollution lorsque l'aquifère est dans des conditions libres; les salinités excessives pour certaines zones localisées bien que l'eau soit généralement de bonne qualité.

Tableau 11 : Caractéristiques des aquifères de la cuvette tchadienne

| Aquifère | Unité hydrog. | Localisation | Superficie (km ²) | Lithologie | Épaisseur (m) | Autres caractéristiques | Paramètres hydrauliques | Chimie | Piézométrie | Recharge | Décharge | Observations |
|--|---|--|-------------------------------|--|--|---|---|---|--|--|---|---|
| Pléistocène moyen et inférieur | Système multicouches, centre nord (zone sahélienne) | Kanem, Batha, Chari-Baguirmi, Lac, Salamat, Mayo-Kebbi | 235 000 | Sables fluviatiles et intercalations argileuses | 30-70 m (jq. 200) assez constant | Libre à semi-captif | T : 100-600 m ² /j; S : 0,001 Qs : 2-8 m ³ /h/m | RS : 0,3-0,5 g/l | Écoulement vers dépression : E de N'Djaména; baisse piézom. 2-10 cm/an | Pluies, infiltration des eaux de surface | Évaporation : 4 mm/an; exploitation | Suivi piézométrique régulier recommandé |
| Pliocène moyen | Système multicouches, centre nord (zone sahélienne) | Chari-Baguirmi central | 30 000 | Sables fluviatiles lenticulaires intercalés dans argiles pliocènes | Épaisseur des lentilles : 10-20 m | Captif | T : <350 m ² /j S : 0,003 Qs : 0,7-10 m ³ /h/m | RS : 0,2-0,5 g/l, localement, jq. 1,5 g/l | Vers dépression à l'est de N'Djaména | Infiltration pluies au sud; Lac Tchad; du Plioc. inf. | Exfiltration, exploitation, écoulement souterrain vers NE | Baisse niveau ~cm/an, impact par exploitation de N'Djaména |
| Sables du Pliocène inférieur | Système multicouches, centre nord (zone sahélienne) | Kanem, Lac, Chari-Baguirmi, Batha occ., | 130 000 | Sables fluviatiles avec intercalations argileuses | 30-70 m; 70-200 au NO du Lac | Au NE et au sud : libre; reste captif; artésianisme | T : 60-450 m ² /j S = 0,001-0,0001 Qs : 2-9 m ³ /h/m | RS : 0,4-1,6 g/l bicarbonaté sulfaté, calco-sodique à sodique | Écoulement vers Pays-Bas, artésianisme | Infiltration pluies et écoulement surface au sud | Évaporation et drainance verticale | Baisse régionale, niveau eau 10 cm/an |
| Continental Terminal (nord) | Système multicouches, centre nord (zone sahélienne) | Lac, Kanem, Chari-Baguirmi, Mayo-Kebbi | 210 000 | Formation sableuse | 100-130 | Libre en bordure, reste captif; artésianisme | Perméabilité et transmissivité moyennes | RS : 0,2-0,6 g/l bicarbonaté/ sulfaté sodique | Écoulement vers Pays-Bas | Du sud par infiltration pluies et crues | Vers Pays-Bas; exploitation | Aquifère peu connu |
| Continental Terminal (sud) | Système multicouches, sud (zone soudanienne) | Logone or. et occ., Tandjilé, Moyen-Chari, Salamat, Mayo-Kebbi | 145 000 | (i) phréatique lentilles sables, hétérogène; (ii) prof. sables massifs | (i) 70-260 (ii) Doba, Salamat. 150-900 Bouso 150-300 | (i) libre à semi-captif (ii) captif | (i) Qs : 4m ³ /h/m (jq. 25) (ii) T, porosité probablement élevées | (i) RS < 0,1 g/l bicarbonaté, calcique à calco-sodique; Fe parfois excessif; pH 6 | Écoulement vers fleuves et vers le N, (ii) artésianisme | Pluies; épandage crues | Fleuves Chari et Logone | (ii) connaissances géométriques et hydrauliques insuffisantes |
| Sables cénomaniens (Crétacé) | Bassin Doba-Salamat (zone soudanienne) | Sud du Salamat | 15 000 | Sables, intercalations argileuses | > 200 | Captif | Porosité, T probablement élevées | | | Du CT; élevée | | Connaissances géométriques et hydrauliques insuffisantes |
| Petits aquif. du Mayo-Kebbi (Précambrien à Quaternaire) | Massif M-Kebbi (zone soudanienne) | Mayo-Kebbi, Baïbokoum | 10 000 | Alluvions, altérites, granites fracturés | Alluvions 10-25 | Alluvions : libre Socle : captif | Qs alluvions : 1-8 m ³ /h/m Qs granites : 0,1-1 m ³ /h/m | RS : < 0,3 g/l | | Infiltration pluies (900-1 300) Infiltration des crues | Vers le CT, sources, exploitation | Socle altéré et fissuré, drainé par alluvions |

Source : SDEA 2001

8 LES RESSOURCES ET LES RÉSERVES EN EAU SOUTERRAINE

Les ressources en eau souterraine sont les **volumes d'eau renouvelables et les réserves** contenus dans les aquifères et dont la mise en valeur est faisable des points de vue technique, économique, social, juridique et environnemental. L'aspect renouvellement des ressources amène à tenir compte de la recharge des aquifères et du bilan d'eau dans le cadre de la dynamique du cycle de l'eau.

L'état actuel des connaissances hydrogéologiques et hydrodynamiques des aquifères au Tchad ne permet que d'esquisser au niveau régional les grandes lignes du fonctionnement de la recharge des aquifères et du potentiel de mobilisation des ressources en eau.

Les données quantitatives sur l'évaluation de l'infiltration de la pluie dans les aquifères, souvent la principale source de recharge, sont rares et ponctuelles. Les seules données récentes ayant un caractère régional proviennent des conclusions du prémodèle mathématique des aquifères phréatiques (Pléistocène inférieur) et profonds (Pliocène inférieur et Continental Terminal) de la partie centrale de la cuvette tchadienne. D'après cette étude, cette cuvette peut être divisée selon les deux zones suivantes : au sud et au nord de l'isohyète 500 mm (correspondant à peu près à la latitude 12° N).

Au **sud de l'isohyète 500 mm**, zone qui au Tchad englobe la zone soudanienne et le tiers méridional de la zone sahélienne, le bilan entre les pluies et l'évapotranspiration est généralement excédentaire de sorte que la recharge des aquifères se produit par infiltration des pluies. D'après le modèle mathématique, entre les isohyètes 500 mm et 900 mm, l'infiltration provenant des pluies est de l'ordre de 1 à 10 mm/an. Au sud de l'isohyète 900 mm, la recharge par infiltration des pluies est supérieure à 10 mm/an.

Une seconde étude confirme ces résultats. En effet, une analyse de l'écoulement de base, à l'aide des hydrogrammes du Logone et du Chari dans la région de Moundou et de Laiï où les précipitations annuelles sont de l'ordre de 200 mm, évalue la fraction des pluies infiltrées dans l'aquifère du Continental Terminal (sud) entre 50 mm/an et 150 mm/an, soit de 5 % à 13 % des pluies.

Au **nord de l'isohyète 500 mm**, en zone sahélienne semi-aride, le bilan entre la pluie et l'évapotranspiration sur des terrains à prédominance argileuse est généralement déficitaire, ce qui signifie qu'il n'y a pas d'infiltration des pluies. D'ailleurs, les pertes d'eau par évaporation à partir de la surface phréatique (exfiltration) seraient pour ces zones de 0 à 2 mm/an, ce qui peut s'expliquer par l'importance des forces de capillarité sur les matériaux argileux.

Sur les **zones à prédominance sableuse**, dont l'aquifère des Sables Ogoliens où les pluies sont de l'ordre de 150 mm/an à 350 mm/an, l'infiltration des pluies sur l'aquifère pourrait être de l'ordre de 10 mm/an à 15 mm/an.

En zone saharienne, avec des pluies annuelles inférieures à 200 mm et un bilan très déficitaire, on peut considérer qu'il n'existe aucune recharge des aquifères par infiltration de l'eau de pluie.

8.1 Les relations entre les eaux de surface et les eaux souterraines

Les données existantes sur le sujet étant rares, on ne peut qu'esquisser les grandes caractéristiques régionales de la relation eau de surface-eau souterraine.

En **zone soudanienne**, l'existence d'une recharge suffisante de l'aquifère du Continental Terminal par les pluies est montrée clairement par les hydrogrammes des stations de Moundou et de Laiï, où l'écoulement de base d'origine souterraine représente entre 8 % et 14 % de l'écoulement total des fleuves. De plus, l'inondation de grandes superficies en zones soudanienne et sahélienne (Salamat, les plaines interfluviales du Chari-Logone en aval de Laiï, bassin de l'Erguig, les lacs Tchad et Fitri) lors des crues annuelles est une source potentiellement importante de recharge pour les nappes phréatiques encore peu étudiées.

La recharge de l'aquifère du Pléistocène inférieur par le fleuve Chari, notamment au sud de Mogroum, est estimée à un volume de 30 millions de m³/an.

L'infiltration naturelle ou artificielle des crues temporaires des ouaddis dans les aquifères peut être un élément de recharge d'importance locale en zone sahélienne semi-aride. Des programmes d'aména-

gement de bassins versants pour la rétention, l'épandage de crues et le stockage de l'eau dans les alluvions sont en cours d'exécution dans certains ouaddis au Ouaddaï.

En zone saharienne, des averses ponctuelles liées aux pluies d'altitude (Tibesti) ou sous l'influence de la mousson (Ennedi) donnent lieu à la concentration d'écoulements superficiels temporaires sur les ouaddis, ce qui facilite l'infiltration d'eau dans les alluvions.

8.2 Les ressources renouvelables utilisables des aquifères régionaux

Une étude réalisée en 1987 a évalué le potentiel des ressources renouvelables utilisables des aquifères régionaux du Tchad (voir tableau 12) à partir des pluies efficaces (période 1959-1979), et en établissant des pourcentages modulés en fonction de la lithologie, de la morphologie des bassins versants, de l'altération ou de la fissuration, de la profondeur de la surface piézométrique et du couvert végétal.

Ce tableau montre que les ressources renouvelables en eau souterraine des aquifères régionaux sont de l'ordre de 19,2 Mm³/an. La pluie joue un rôle déterminant dans le renouvellement des ressources. Ainsi, 60 % des ressources (12 000 Hm³/an) correspondrait à l'aquifère régional du Continental Terminal (sud), en zone soudanienne où les pluies annuelles varient entre 800 et 1 300 mm.

Tableau 12 : Ressources renouvelables des principaux aquifères

| Formations aquifères | Ressources renouvelables (valeurs extrêmes) (mm/an) | Superficie (km ²) | Volume ressources renouvelables (Mm ³ /an) | Lame d'eau infiltrée moyenne théorique équivalente (mm/an) |
|----------------------|---|-------------------------------|---|--|
| Plio-quaternaire | 0 à 100 | 235 000 | 3,5 | 15 |
| CT Sud | 25 à 150 | 145 000 | 12,0 | 83 |
| CT Nord | 0 à 25 | 130 000 | 0 | 0 |
| Grès de Nubie | 0 à 10 | 73 000 | 0 | 0 |
| Carbonifère Marin | 0 à 10 | 19 000 | 0 | 0 |
| Grès Primaires | 0 à 10 | 115 000 | 0 | 0 |
| Socle cristallin | | | 3,7 | 14 (nord); 55 (sud) |
| Total | | | 19,2 | |

Source : BRGM 1987

En zone sahélienne, les ressources renouvelables des aquifères régionaux (Plio-quaternaire, aquifères discontinus du socle) provenant de l'infiltration des pluies sont limitées de façon générale à la partie méridionale (entre les 10^e et 12^e parallèles). Au nord du 12^e parallèle, les ressources renouvelables en eau souterraine sont discontinues dans l'espace et deviennent rares en zone saharienne. Les ressources renouvelables ont été estimées à 3,5 Mm³/an pour les aquifères du Plio-quaternaire pour une infiltration de 15 mm/an; en zone de socle cristallin (nord), l'infiltration est estimée à 14 mm/an.

Les ressources renouvelables du Continental Terminal dans la partie nord sont limitées par le caractère presque exclusivement captif de l'aquifère. Les ressources renouvelables des aquifères sahariens (Grès Primaires et Grès de Nubie) sont pratiquement inexistantes.

Il est à noter que les estimations des ressources renouvelables en eau souterraine figurant au tableau 12 ne tiennent pas compte des apports tels que les transferts d'eau souterraine entre les aquifères. Les données de ce tableau ne sont que des valeurs d'application régionale. Compte tenu des variations locales de lithologie et du type de recharge, l'établissement des bilans ressources-besoins en eau à l'échelle des zones d'exploitation requiert des études détaillées.

8.3 Les réserves exploitables

Les grands aquifères peuvent stocker des volumes d'eau importants qui correspondent à la recharge de plusieurs années ou, dans les zones arides, à l'accumulation des recharges anciennes lorsque le climat était plus humide. Le stock d'eau dans les aquifères peut être mis en valeur et géré conjointement avec les ressources renouvelables afin de disposer d'un stockage régulateur des ressources ou, dans certaines conditions, faire l'objet d'une « exploitation minière ». Pour le Tchad, la gestion des réserves exploitables est une problématique à étudier, notamment en ce qui concerne les zones saharienne et sahélienne.

⁶Mm³ = milliard de mètres cubes

Le tableau 13 montre que les principaux aquifères du Tchad possèdent d'importantes réserves exploitables dans leurs parties accessibles, évaluées entre 260 Mm³ et 544 Mm³⁶. Les volumes de réserves d'eau montrés au tableau 13 doivent être interprétés avec précaution étant donné le manque actuel de données hydrogéologiques. Tout projet d'exploitation de ces aquifères doit être précédé d'une étude de faisabilité technique et économique vérifiant l'exploitabilité locale des réserves.

Les réserves exploitables sont importantes en zone saharienne, dans l'aquifère des Grès Primaires et celui des Grès de Nubie, déjà exploité en Libye. Leur éventuelle mise en valeur requerra au préalable des études approfondies et des phases d'exploitation expérimentale.

En zone sahélienne, les réserves exploitables de l'aquifère plio-quaternaire sont estimées entre 92 Mm³ et 206 Mm³. Dans la zone centrale du bassin du Lac Tchad, où d'importants prélèvements ont lieu sur les aquifères libres et profonds au Tchad, au Nigéria, au Cameroun et au Niger, des schémas de gestion de l'eau intégrant les ressources renouvelables et le stock des réserves permettront une plus grande durabilité des exploitations en évitant des surexploitations locales et en améliorant la régulation de la variabilité annuelle des ressources.

Les réserves en eau souterraine des aquifères du sud sont estimées entre 72,5 Mm³ et 145 Mm³ pour le Continental Terminal (sud); il n'existe pas d'évaluation pour l'aquifère des sables du Cénomanien.

Tableau 13 : Réserves exploitables des principaux aquifères

| Formations aquifères | Coefficient de storage (x 10 ⁻²) | Rabattement (m) | Réserves exploitables (mm ³ /km ²) | Superficie (km ²) | Volume réserves exploitables (mm ³) |
|-------------------------|--|----------------------|---|-------------------------------|---|
| Plio-quaternaire | | | | | |
| Quaternaire, libre | 1 à 10 | 1/3 épaisseur satur. | 0,28 à 0,6 | 235 400 | 66 000 – 141 000 |
| Pliocène inf., captif | 0,2 à 0,8 | 100 m/sol | 0,2 à 0,5 | 130 000 | 26 000 – 65 000 |
| CT Sud | 5 à 10 | 10 | 0,5 à 1,0 | 145 000 | 72 500 – 145 000 |
| Grès de Nubie | 5 à 10 | 10 | 0,5 à 1,0 | 73 000 | 36 500 – 73 000 |
| Carbonifère Marin | 2 à 5 | 5 | 0,1 à 0,25 | 19 000 | 1 900 – 4 750 |
| Grès Primaires | 5 à 10 | 10 | 0,5 à 1,0 | 115 000 | 57 500 – 115 000 |
| Total | | | | | 260 400 – 543 750 |

Source : BRGM 1987

De ces tableaux et figures se dégagent les constats suivants :

- Les ressources renouvelables annuellement sont estimées à près de 20 milliards de m³. Seuls les aquifères du Plio-quaternaire et du Continental Terminal Sud sont réalimentés. Les aquifères de la zone saharienne et du Continental Terminal Nord ne sont pas rechargés ou, si la recharge existe, elle est minime considérant les conditions climatiques existantes.
- Les réserves exploitables sont considérables; elles se situent entre 260 milliards et 550 milliards de m³ d'eau pour des rabattements de la surface piézométrique relativement faibles.

8.4 L'exploitation en 2000 des eaux souterraines

Le tableau 14 montre les prélèvements d'eau souterraine par aquifère et par type d'utilisation. Ces prélèvements ont été estimés par voie indirecte, à partir de l'estimation des besoins en eau de chacun des sous-secteurs concernés et de l'identification de la provenance de l'eau d'approvisionnement.

Un total annuel de près de 409 millions de m³ d'eau est prélevé sur les ressources en eau souterraine pour satisfaire les différents besoins. L'aquifère des Grès Primaires (ressources non renouvelables) est le plus sollicité car l'eau prélevée est surtout à usage agricole. Les aquifères du Pléistocène et du Continental Terminal sont également sollicités, surtout pour combler des besoins de l'hydraulique humaine et de l'hydraulique pastorale. Toutefois, il est à noter que les prélèvements précités **ne tiennent pas compte** des prélèvements effectués dans les pays voisins du Tchad (Nigéria, Cameroun, Niger et Libye) qui exploitent également ces différents aquifères.

Tableau 14 : Estimation des prélèvements théoriques sur les différents aquifères (millions de m³/en 2000)

| Aquifères | Hydraulique villageoise | Hydraulique urbaine | Hydraulique industrielle | Hydraulique agricole | Hydraulique pastorale | Total | % prélèvements |
|------------------------------|-------------------------|---------------------|--------------------------|----------------------|-----------------------|---------------|----------------|
| Sables Ogoliens | 2,9 | 0,36 | 0 | 28,3 | 14,4 | 45,96 | 11,25 |
| Moji | 0,08 | 0 | 0 | 0 | 0,8 | 0,88 | 0,22 |
| Pléistocène | 8,6 | 22,2 | 0,7 | 0,8 | 30,9 | 63,2 | 15,47 |
| Pliocène | 0,4 | 0 | 0 | 0,3 | 5,5 | 6,2 | 1,52 |
| CT Nord | 0,63 | 0,03 | 0 | 0 | 3,5 | 4,16 | 1,02 |
| CT Sud | 20 | 8,5 | 0,6 | 0 | 19,8 | 48,9 | 11,97 |
| Grès de Nubie | 0,07 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,07 | 0,02 |
| Grès Primaires | 0,1 | 0,19 | 0 | 133 | 1,6 | 134,89 | 33,01 |
| Socle Sud | 2,9 | 0,85 | 0 | 0 | 1,3 | 5,05 | 1,24 |
| Socle Est | 7,9 | 2,6 | 0 | 33,6 | 36,7 | 80,8 | 19,77 |
| Socle Tibesti | 0,03 | 0,01 | 0 | 14 | 4,5 | 18,54 | 4,54 |
| Total | 43,61 | 34,74 | 1,3 | 210 | 119 | 408,65 | |
| % d'utilisation/usage | 10,67 | 8,5 | 0,32 | 51,39 | 29,12 | 100 | 100 |

Source : SDEA 2001

8.5 La mobilisation des ressources en eau souterraine

À partir des grandes caractéristiques hydrauliques dégagées de la documentation existante, les tableaux 15, 16 et 17 proposent, par zone géoclimatique, un « cadre technique » pouvant orienter la mobilisation des ressources de chaque aquifère.

Par ailleurs, les figures 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25 et 26, établies d'après les données de la base PROGRES du Bureau de l'Eau, permettent de mieux préciser les grandes caractéristiques des principaux aquifères surtout exploités dans le cadre de l'hydraulique villageoise. Ces figures permettent également de dégager des coûts généraux pour mobiliser et exploiter les eaux souterraines.

La figure 19 localise les ouvrages hydrauliques répertoriés dans la base PROGRES. On constate que la plupart des forages se concentrent dans la partie ouest et sud-ouest du pays et captent les aquifères du Pléistocène et du Continental Terminal Sud. Les puits sont situés aussi dans la partie sud-ouest et ouest, mais sont nombreux dans la partie centrale. Il est à souligner le nombre limité d'ouvrages hydrauliques modernes dans la partie est du Tchad.

La figure 20 présente deux graphiques : l'un sur le nombre d'ouvrages (puits et forages) et l'autre sur le taux de réussite des forages par grande unité hydrogéologique. De leur analyse, il ressort ceci :

- Les ouvrages de l'hydraulique villageoise ont été principalement réalisés dans les unités hydrogéologiques du Continental Terminal Sud (CT sSud), du Pléistocène Ouest, du Socle de l'Est (Ouaddaï et Guéra) et dans les Sables Ogoliens. Très peu d'ouvrages hydrauliques ont été réalisés dans les unités des Grès de Nubie, des Volcaniques et du socle du Tibesti, du Carbonifère Marin et de la série de Moji.
- Les unités hydrogéologiques du CT Sud, du Pléistocène Ouest et des Sables Ogoliens présentent respectivement des taux de réussite des forages de 98 %, 99 % et 100 %, alors que le Socle de l'Est et le Socle Sud-Ouest ont des taux de réussite de 61 % et 87 %. Considérant la quantité d'informations disponibles sur ces unités, obtenues à partir des ouvrages réalisés, ces taux de réussite sont représentatifs de ces aquifères. La série de Moji présente également un taux de réussite des forages de 100 %. Cependant, le peu d'ouvrages hydrauliques réalisés dans cette unité réduit de manière significative la portée de cette valeur. Il en est ainsi des données sur les Grès de Nubie, les Volcaniques du Tibesti, le Carbonifère Marin et le Pléistocène Est. Il faut des informations supplémentaires sur ces unités hydrogéologiques pour confirmer les taux de réussite.
- De manière générale, les taux de réussite des ouvrages hydrauliques mentionnés dans la documentation (voir tableaux 15, 16 et 17) correspondent aux taux de réussite obtenus par le traitement des données.

Tableau 15 : Mobilisation des aquifères de la zone saharienne

| Aquifère | Profondeur niveau piézo. (m) | Profondeur du toit de l'aquifère (m) | Taux réussite des forages | Exploitation actuelle (Mm³/an) | Ressources renouvelables | Réserves exploitables | Mobilisation des ressources en eau | | | Contraintes | Observations |
|-----------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|--|--------------------------------------|--|--|--|---------------|---|--|
| | | | | | | | Profondeur forages (m) | Débit (m³/h) | Qualité d'eau | | |
| Grès de Nubie | 0-100 | En surface | | Réduite (exploité à Koufra-Libye) | Très limitées (pluie ~20 mm/a) | Avec baisse du NP de 5 m : 36-73 Gm³ | 100-350 | 15-40 | Bonne | Intercalations argileuses; faible connaissance de l'aquifère | Études hydrogéologiques régionales et locales recommandées |
| Grès Primaires | 0-80 | 0-60 | Haut | 98 ventilée : Agriculture :+96 Hydraulique villageoise et pastorale : 2 | Réduite (pluie ~20 mm/an) | Avec baisse du NP de 10 m : 57-115 Gm³ | (150-) 400 pour avoir 100 m de grès fissurés | Zone artésienne : 80 Pompage : 80-120 | Bonne | Faible connaissance de l'aquifère | Intérêt régional Études hydrogéologiques régionales et locales recommandées |
| Petits aquifères du Tibesti | Socle : 10-50 Vallées : 2-10 | Variable selon la fracturation | Alluvions : moyen Socle : bas | 15 Mm³/an = palmeraies 10 + Hydraulique pastorale : 5 | Limitées, drainées par les alluvions | Faibles | Aménagement de sources Socle : max 80 Vallées : 4-12 | 1-60 (meilleurs débits sur alluvions) | Bonne | Taux réussite bas sur socle; ressources limitées; faible connaissance des aquifères | Études hydrogéologiques approfondies avant construction d'un captage |

Source : SDEA 2001 NP = niveau piézométrique

Tableau 16 : Mobilisation des aquifères de la zone sahélienne

| Aquifère | Profondeur niveau piézo. (m) | Profondeur du toit de l'aquifère (m) | Taux réussite des forages | Exploitation actuelle (Mm³/an) | Ressources renouvelables | Réserves exploitables | Mobilisation des ressources en eau | | | Contraintes | Observations |
|---|--|---|---------------------------|--------------------------------|---|-----------------------|---------------------------------------|--|--|--|---|
| | | | | | | | Profondeur forages (m) | Débit (m³/h) | Qualité d'eau | | |
| Petits aquifères du Ouaddaï | 2-40 augmentant d'est en ouest | Granite fissuré : 20-40 | Bas (40-45 %) | 51 Mm³/an (avec Guéra) | Limitées surtout vers l'ouest de la région. Captage des alluvions lié à la recharge par les crues | Faibles | Alluvions : 10-20 Socle : max. 100 | Alluvions : 1-10 Granite 1-2, max. 10 | Bonne qualité | Taux réussite bas, ressources très limitées au nord, faible connaissance des aquifères | Études microtectoniques hydrogéologiques, géophysiques, prospection radon avant les captages Prévoir, si possible, recharge artificielle |
| Petits aquifères du Massif Central (Guéra) | Entre 15-33 augmentant vers l'aval des bassins | Granite fissuré : 30-75 | Moyen 55 % | 51 Mm³/an (avec Ouaddaï) | Pluies de 500 - 1 000 mm/an recharge l'aquifère | Faibles | Alluvions : 10-30 Socle : max. 100 | Alluvions : 1-10 Granite 1-5 max. 10 | Bonne qualité | Taux de réussite moyen, faible connaissance de l'aquifère | Études microtectoniques hydrogéologiques, géophysiques, prospection radon avant les captages |
| Sables Ogoliens | 0-50 | En surface | Haut | 40 Mm³/an | Recharge confirmée; ressources non évaluées | Porosité élevée | 20-60 | 20-70 | Qualité bonne à très bonne | Vulnérable à la pollution superficielle | Aquifère phréatique de l'ouest, centre et sud du Kanem Intérêt local |
| Série de Moji | 2-20 | 2-40 | | 1 Mm³/an | Très limitées | Faibles | 20-60 | Variable, limité | RS souvent excessif | Qualité de l'eau souvent mauvaise | Aquifère phréatique du NE du Kanem. Intérêt local |
| Pléistocène inférieur | Voir tableau 11 | | | | | | | | | | |
| Pliocène inférieur | Voir tableau 11 | | | | | | | | | | |
| Continent. Terminal (nord), Batha, Pays-Bas, Mortcha | Pays-Bas : subaffleurant Mortcha : > 100; Batha : 50-100 | Pays-Bas : faible Mortcha : 100-50 Batha : 80-200 | Moyen | 5 Mm³/an | Limitées à très limitées | | 100-300 | Faibles | Salinité élevée au Pays-Bas; en profondeur; qualité acceptable | | Aquifère peu connu Aquifère phréatique au Batha, Pays-Bas, Mortcha |

Source : SDEA 2001

Tableau 17 : Mobilisation des aquifères de la cuvette tchadienne

| Aquifère | Profondeur niveau piézo. (m) | Profondeur du toit de l'aquifère (m) | Taux réussite des forages | Exploitation actuelle (Mm³/an) | Ressources renouvelables | Réserves exploitables | Mobilisation des ressources en eau | | | Contraintes | Observations |
|--|---|---|------------------------------------|---|---|-------------------------------------|---|-----------------------------------|---|--|---|
| | | | | | | | Profondeur forages (m) | Débit (m³/h) | Qualité d'eau | | |
| Sables du Pléistocène moyen-inférieur | 10-60 | 10-60 | haut | 63 Mm³/an dont l'AEP à 'Djaména (8 Mm³/an) | 3 500 Mm³/an (15 mm/an) inclus Pliocène inf. et Sables Ogoliens | 66-141 Gm³ (inclus Sables Ogoliens) | 40-70 | 40-200 | Bonne | Baisse éventuelle des niveaux piézométriques; concentration de l'exploitation, vulnérable à la pollution | Aquifère phréatique principal du Chari-Baguirmi. Intérêt régional |
| Pliocène moyen | 8-20 | 80-200 | haut (*) | Très rares forages | Non évaluées | Faible | 100 - 225 | 10 – 50 | Bonne | | Aquifère intérêt local |
| Sables du Pliocène inférieur | 40 m - artésien | 20-480 | Haut (*) | Zone libre : 4 Mm³/an Zone captive : 4 forages importante au Nigéria | Non évaluées | 26-65 Gm³ | Moyenne : 250-300 (entre 100 et 500) | 7 – 80 | Bonne au Ch.-Bag. Moyenne au Kanem | Profondeur excessive au centre bassin (Lac, Sud Kanem) | Intérêt régional Contrôle pressions et prélèvements |
| Continental Terminal (nord) | > 30 - artésien | Bordure : en surface; zone captive 300-600 | Haut | Néant | Non évaluées | Non évaluées | 400-700 en zone captive | Inconnu | Moyenne probable | Faible connaiss. aquif. Au Ch-B; profondeur aquif. importante au centre bassin | Aquifère régional. Reconnaissance hydrogéologique nécessaire. Exploitation en zone captive non prioritaire |
| Continental Terminal (sud) | (i) phréatique vallées <10 Koros 10-100 (ii) profond faible/artésn | (i) Vallée Koros 10-100; Bousso 40-300 (ii) 50-250 | Haut | (i) Partie supérieure : 48 Mm³/an (ii) Partie profonde : non exploitée | 50-130 mm infiltration pluies; ressources : 12 000 Mm³/an | 72-145 Gm³ | (i) hydraulique villageoise. 30-120; Autres : 30-200; (ii) profs : 100-400 | (i) 15-200 (ii) > 200 | Bonne, pH acide, éventuel. fer excessif | Faible connaissance de la partie profonde de l'aquifère | Aquifère phréatique de la région sud. Aquifère régional faiblement exploité. Synthèse hydrogéologique recommandée |
| Sables cénomaniens (Crétacé) | Faible/artésien | > 500 | Probable haut | Néant | Non évaluées | Bonne capacité stockage | 600 | Probable haut | Probable bonne | Faible connaissance de l'aquifère; profond. excessif. | Réservoir potentiel Études hydrogéologiques à réaliser |
| Aquifères du socle : Mayo-Kebbi et Baïbokoum | Alluvions : 5-7 (1-32) | Granite fissuré : 25-80 | Alluvial : Haut Granite : moyen | 5 Mm³/an | Pluies de 900-1 300 mm/an facilite recharge | Faibles | Alluvions : 10-25 Socle : max. 100 | Alluvions : 1-10 Granite : 1-5 | Bonne qualité | Faible connaissance de l'aquifère | Études microtectoniques hydrogéologiques, géophysiques, avant les captages |

Source : SDEA 2001

La figure 21 présente une interpolation de la profondeur du niveau statique de différents forages. On constate que le niveau statique se situe entre 10 et 35 m dans la plupart des grandes unités hydrogéologiques. Il y a cependant une baisse marquée du niveau statique (supérieur à 60 m) dans le Continental Terminal Nord et le Pléistocène Ouest au centre du pays (au nord de la ville d'Ati) et dans les départements de Dababa, du Batha Ouest et du Batha Est. Une autre baisse du niveau statique est également observée au nord, dans les Grès de Nubie.

La figure 22 présente une interpolation du débit spécifique des forages. On constate que des débits spécifiques supérieurs à 5 m³/h/m sont obtenus dans les Sables Ogoliens, le Pléistocène Ouest et le Continental Terminal Sud. De faibles débits spécifiques sont obtenus dans la partie sud (secteur de la ville de Mongo) du Socle de l'Est (moins de 1 m³/h/m) ainsi que dans les zones du Socle du Sud-Ouest et dans les Volcaniques du Tibesti. Les forages réalisés dans le Continental Terminal Nord et une partie des Grès Primaires ont des débits spécifiques entre 1 et 5 m³/h/m.

La figure 23 illustre la conductivité exprimée en micro-siemens/cm. Les conductivités élevées tracent un arc de cercle autour des Sables Ogoliens avec de très fortes conductivités (supérieures à 2 000 ms/cm) au nord-est de cette unité. Les conductivités rencontrées dans les zones du Socle de l'Est se situent entre 500 et 1 500 ms/cm alors qu'elles sont inférieures à 500 ms/cm dans le CT Sud, une partie du CT Nord et du Pléistocène. À l'exception de la zone sise au nord de la série de Moji ainsi que certaines zones des départements de Hadjer Lamis et Dababa, les conductivités rencontrent les normes de l'OMS en matière d'eau potable.

La figure 24 présente une interpolation du pH. De manière générale, le pH se situe entre 6 et 7 sur l'ensemble du pays. Il est inférieur à 6 au sud du pays dans l'unité du Continental Terminal Sud (secteur Moundou-Doba-Sarh) et du Pléistocène Ouest (sud de N'Djaména, nord de Bongor). Il est également inférieur à 6 dans une partie des Grès de Nubie et des Grès Primaires ainsi qu'à l'est du Continental Terminal Nord (nord de la ville d'Ati).

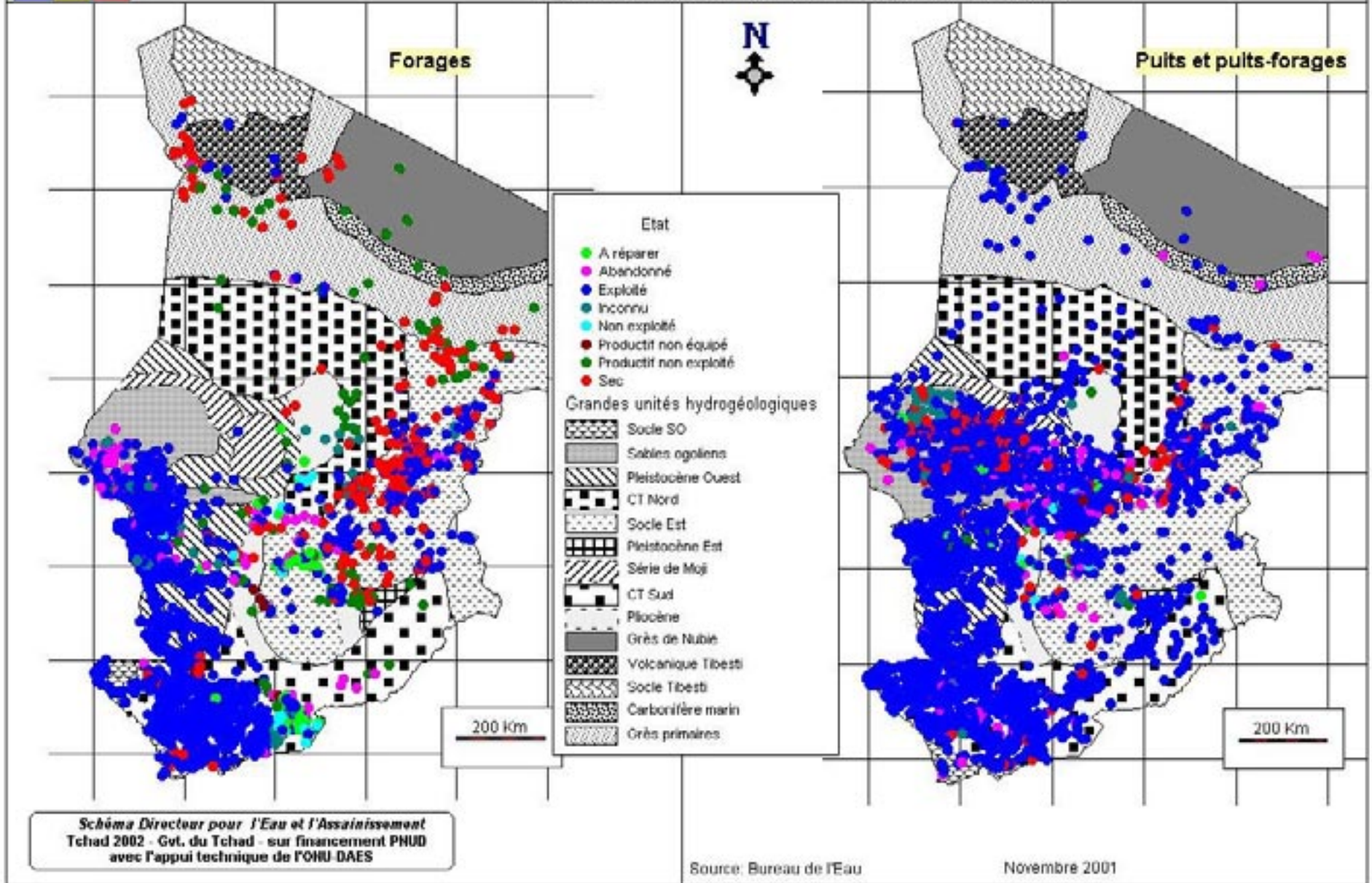
La figure 25 évalue l'accessibilité à l'eau par forage. L'accessibilité est définie par la profondeur équipée de forage divisée par le taux de réussite. Ainsi, une zone où la profondeur équipée est faible et le taux de réussite élevé est considérée comme très favorable; un secteur où la profondeur équipée est grande et le taux de réussite est faible est considéré comme très défavorable. Sur la base de ces critères, on constate qu'à l'exception de certains petits secteurs, l'accès à l'eau par forage est moyennement favorable dans les unités hydrogéologiques du Socle de l'Est et du Socle Sud-Ouest ainsi que dans la partie nord des Sables Ogoliens. L'accès est défavorable à très défavorable à l'est de la série de Moji, dans une partie des Grès Primaires et dans les Volcaniques du Tibesti. L'accès à l'eau est favorable dans une grande partie du Continental Terminal Sud, dans le Pléistocène Ouest. Enfin, on retrouve dans les Grès Primaires de petits secteurs où l'accès à l'eau est très favorable. Cette carte donne également une idée des coûts de captage des eaux souterraines et contribue ainsi à la programmation de futures campagnes d'hydraulique villageoise, d'hydraulique pastorale ou autres types de projets exploitant les aquifères.

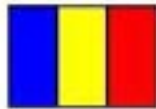
La figure 26 dresse la carte de l'exploitabilité des eaux souterraines qui est définie comme le débit spécifique divisé par la profondeur du niveau statique. Cela permet de qualifier la facilité de « mobilisation et d'extraction » de l'eau souterraine. Ainsi, dans des secteurs où les débits spécifiques sont faibles et que les niveaux statiques sont profonds, l'exploitabilité est très défavorable. Par contre, dans les secteurs où les débits spécifiques sont importants et les niveaux statiques peu profonds, l'exploitabilité est très favorable. Il ressort sur la base de ces critères que l'exploitabilité du Pléistocène, de Continental Terminal Sud, des Sables Ogoliens, d'une grande partie des Grès de Nubie et du Continental Terminal Nord se situe entre moyenne et très favorable. Elle est cependant défavorable à très défavorable dans la grande partie des zones des Socles Est (Mongo) et Sud, du Continental Terminal Nord-Ouest (Ati), à l'est des Grès Primaires (Fada) et des Volcaniques du Tibesti.



République du Tchad

Figure 19: Localisation des ouvrages hydrauliques





République du Tchad
Figure 20: Nombre d'ouvrages et taux de réussite par grande unité hydrogéologique

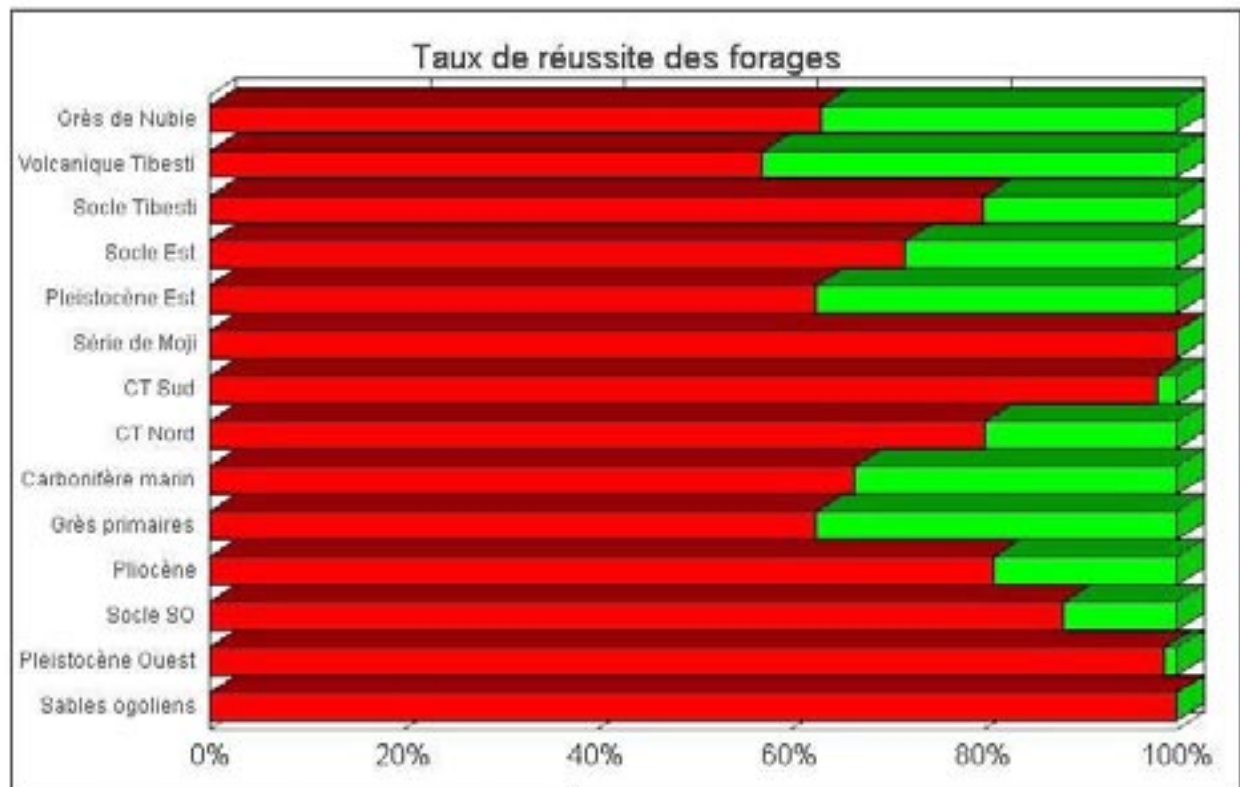
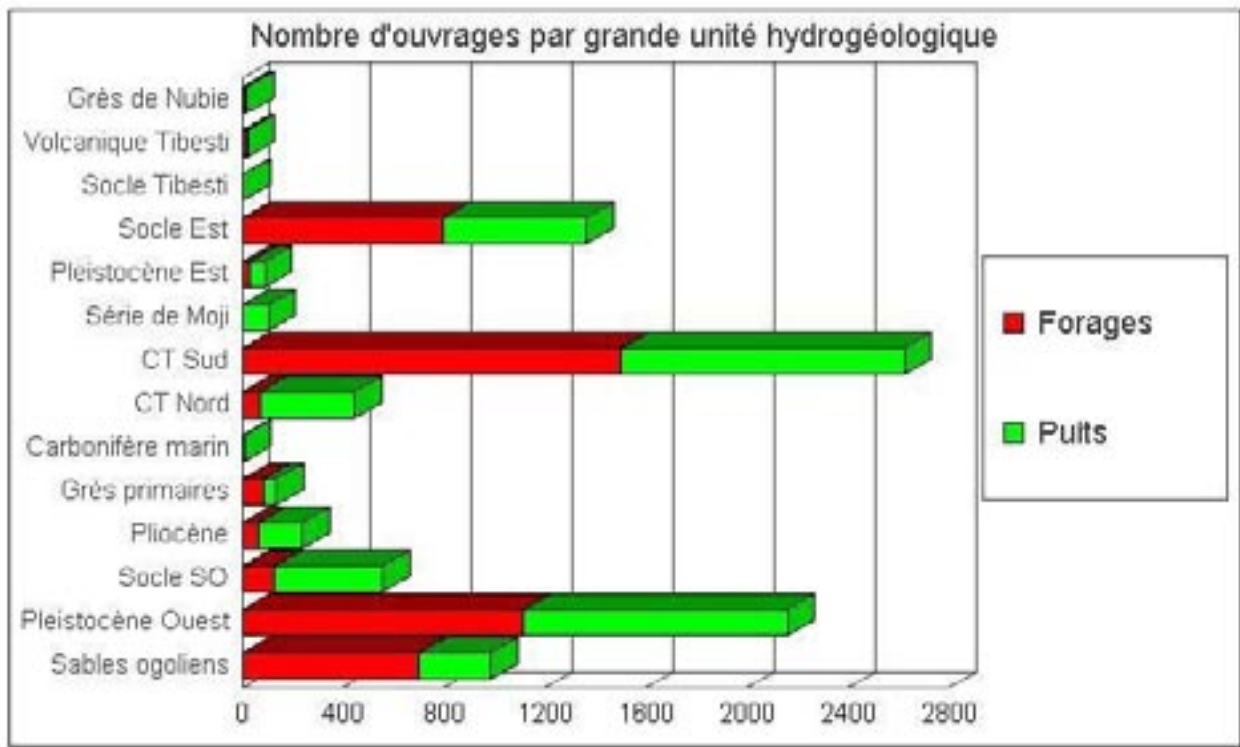
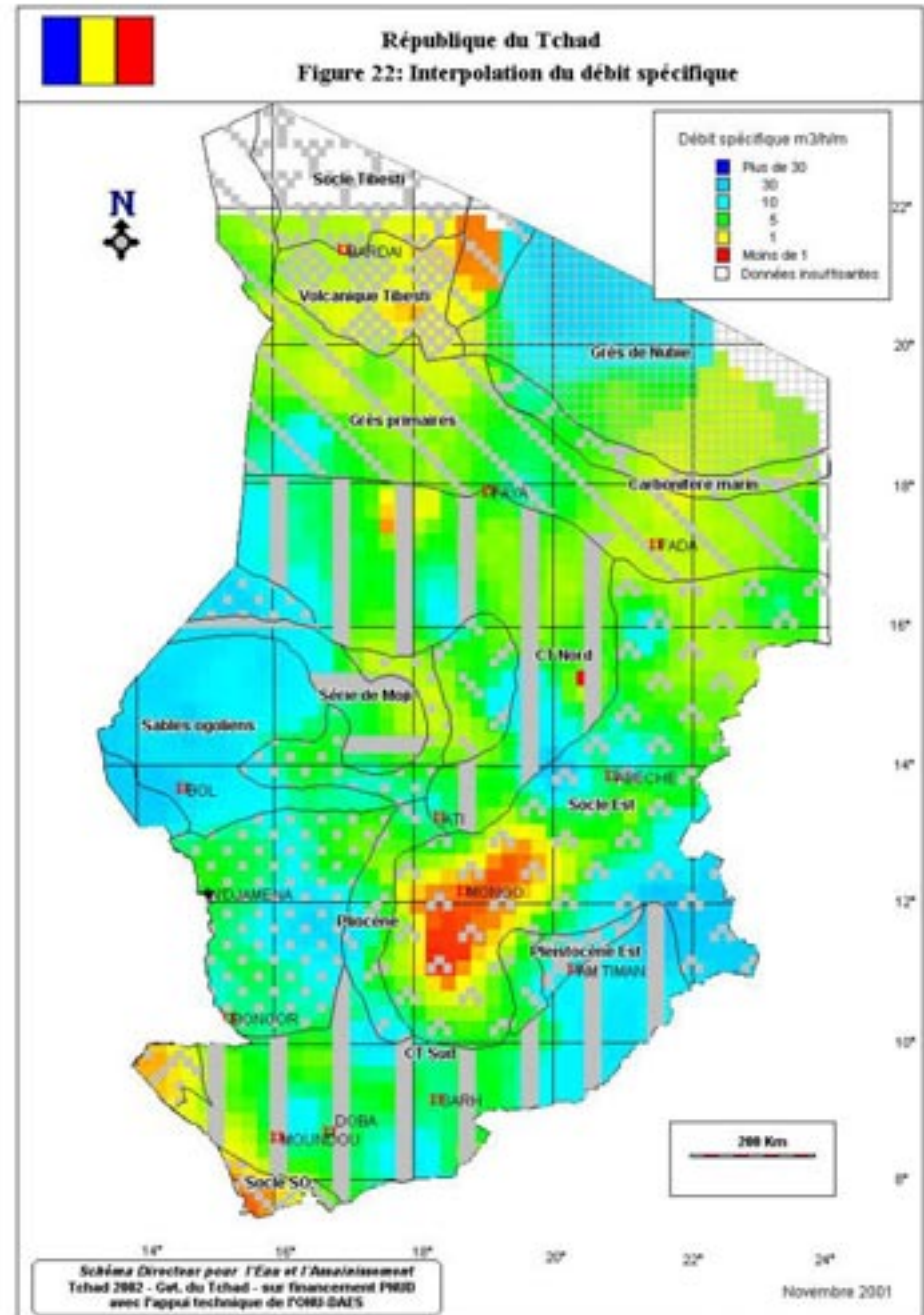
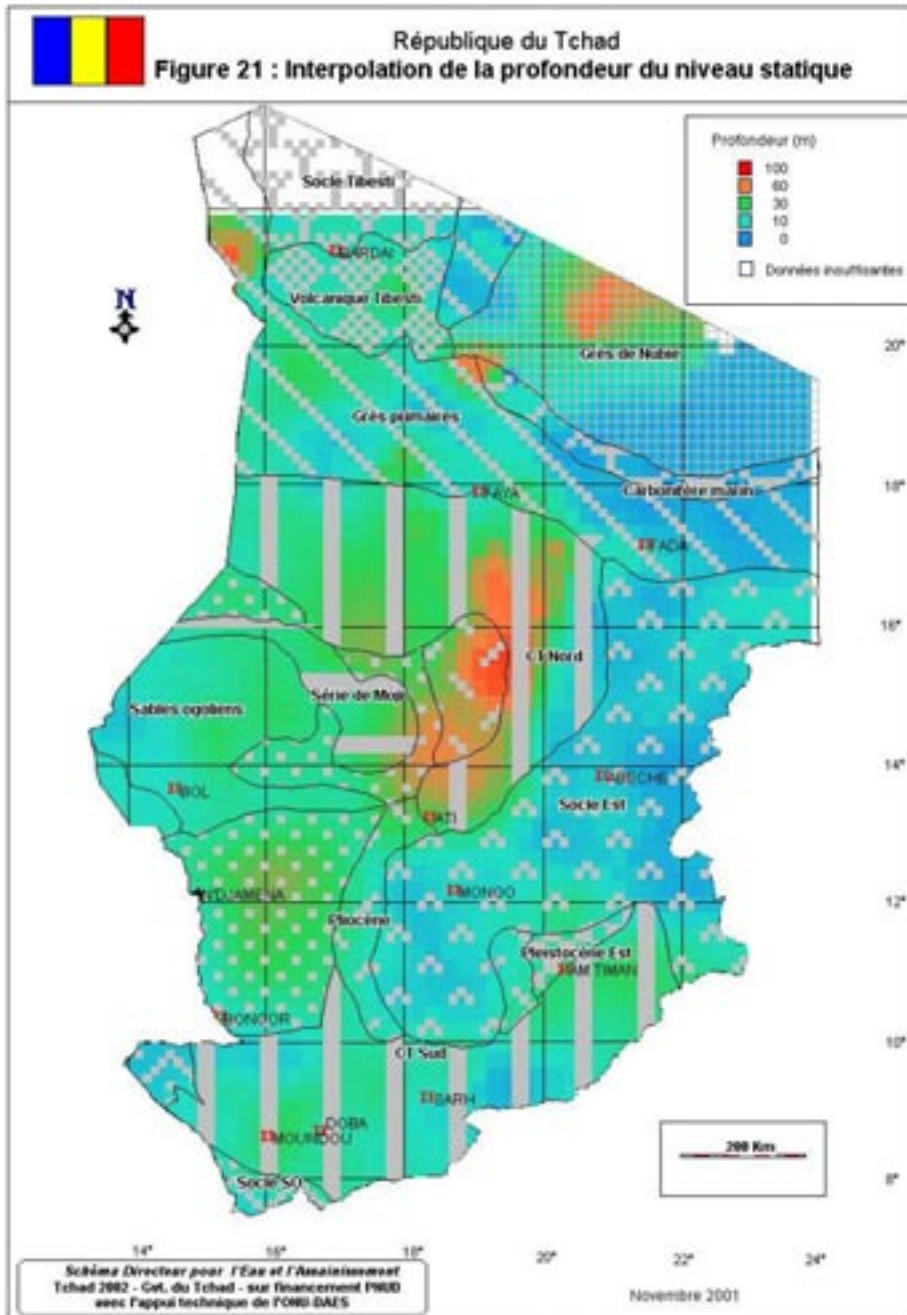
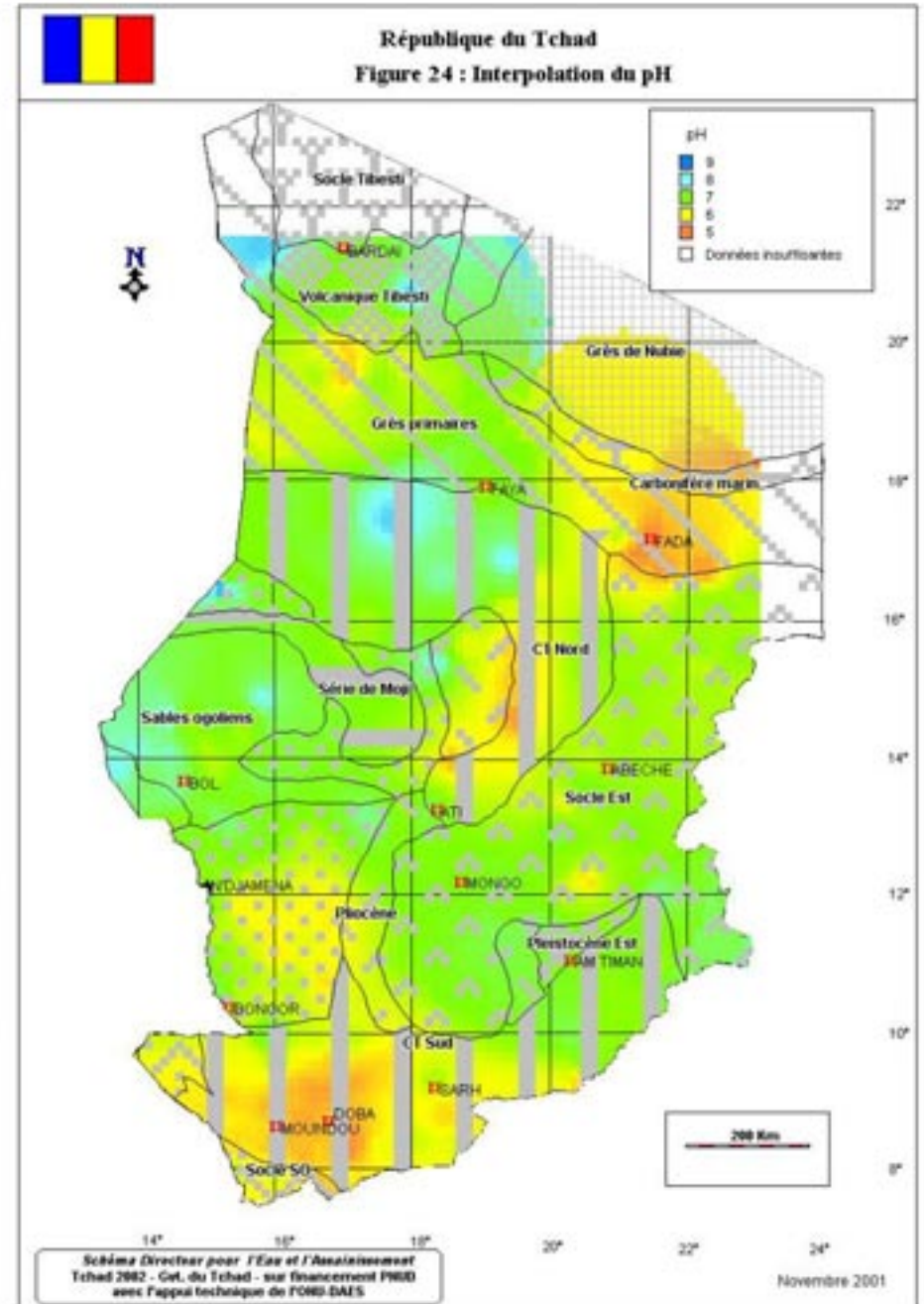
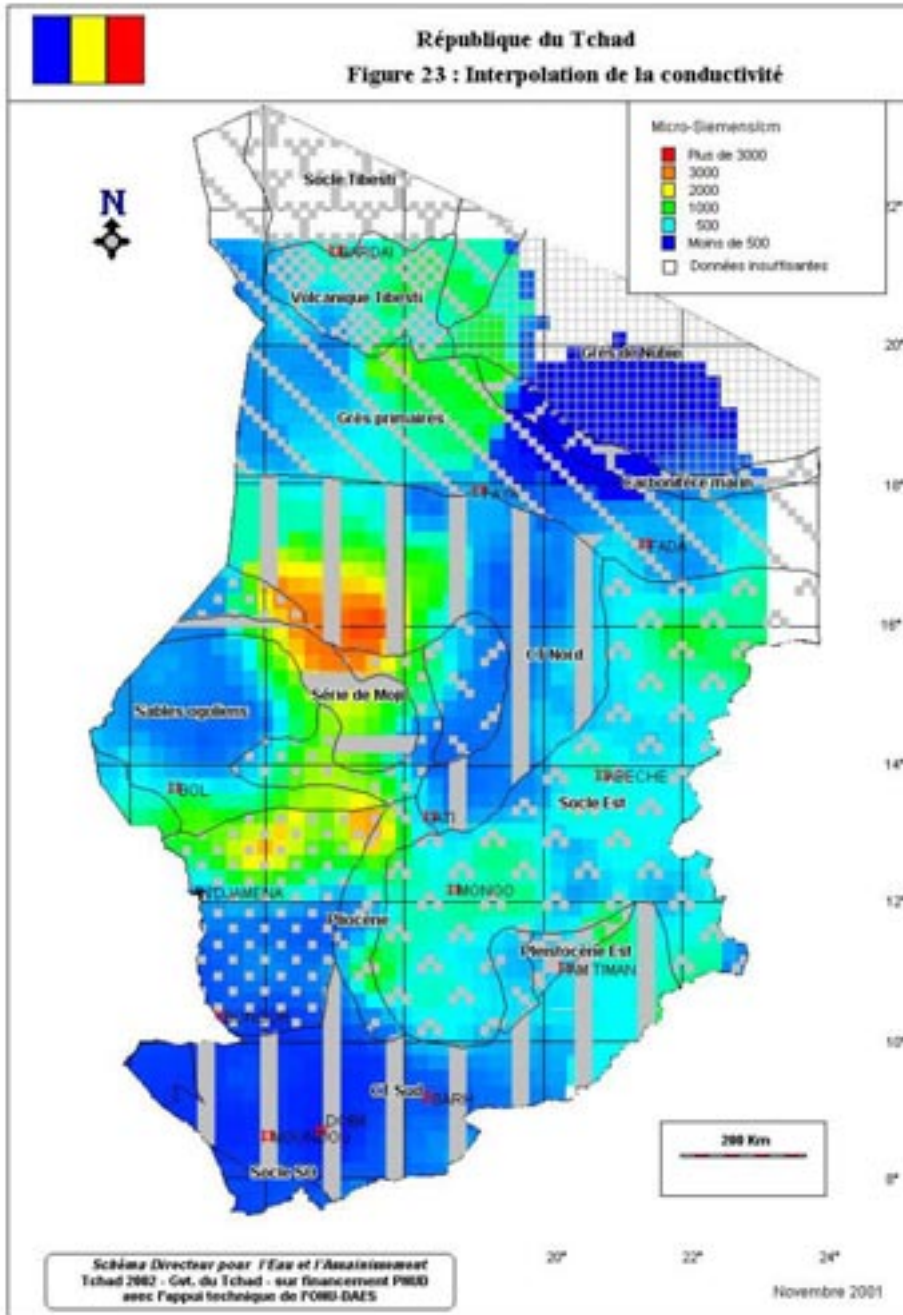
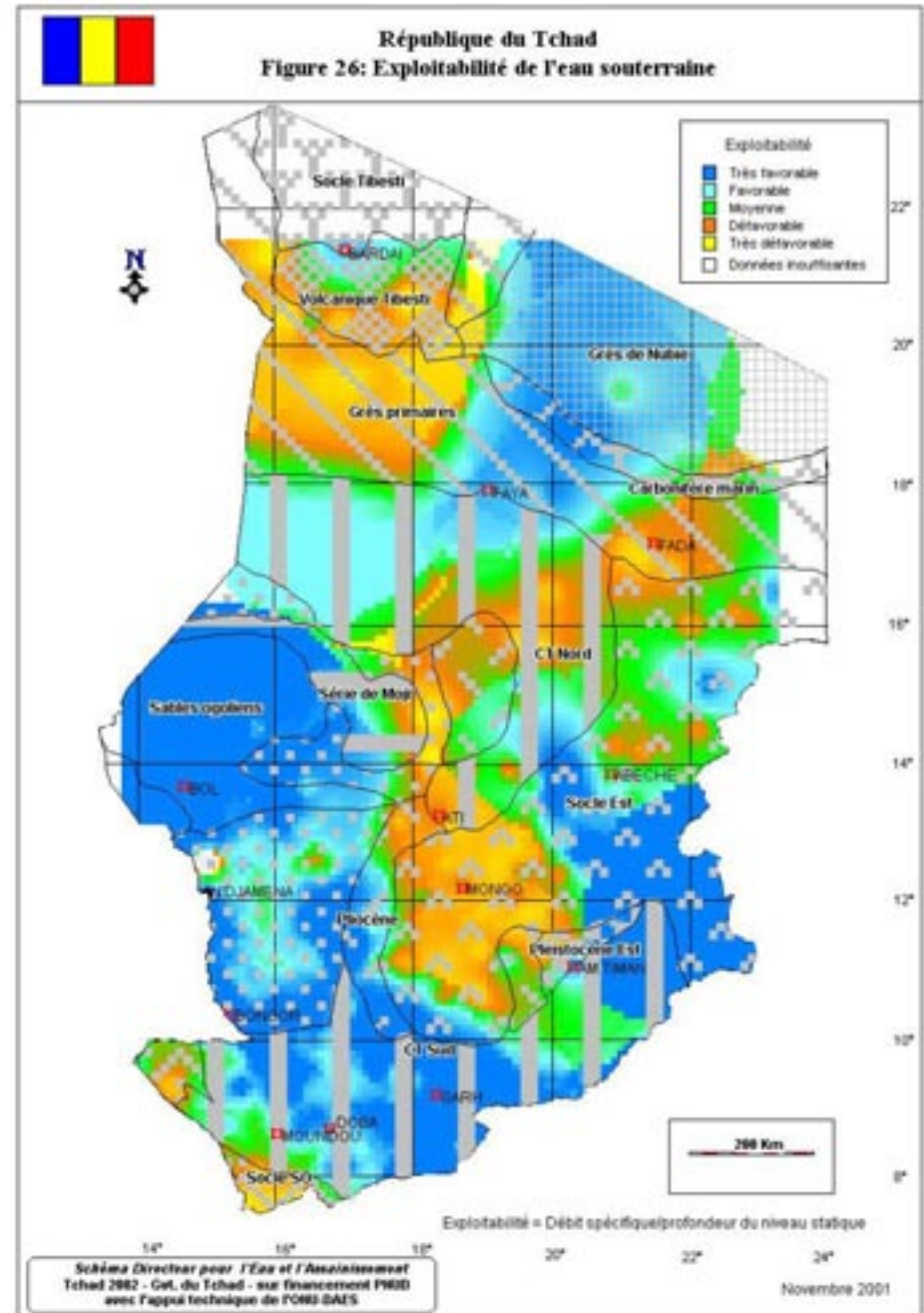
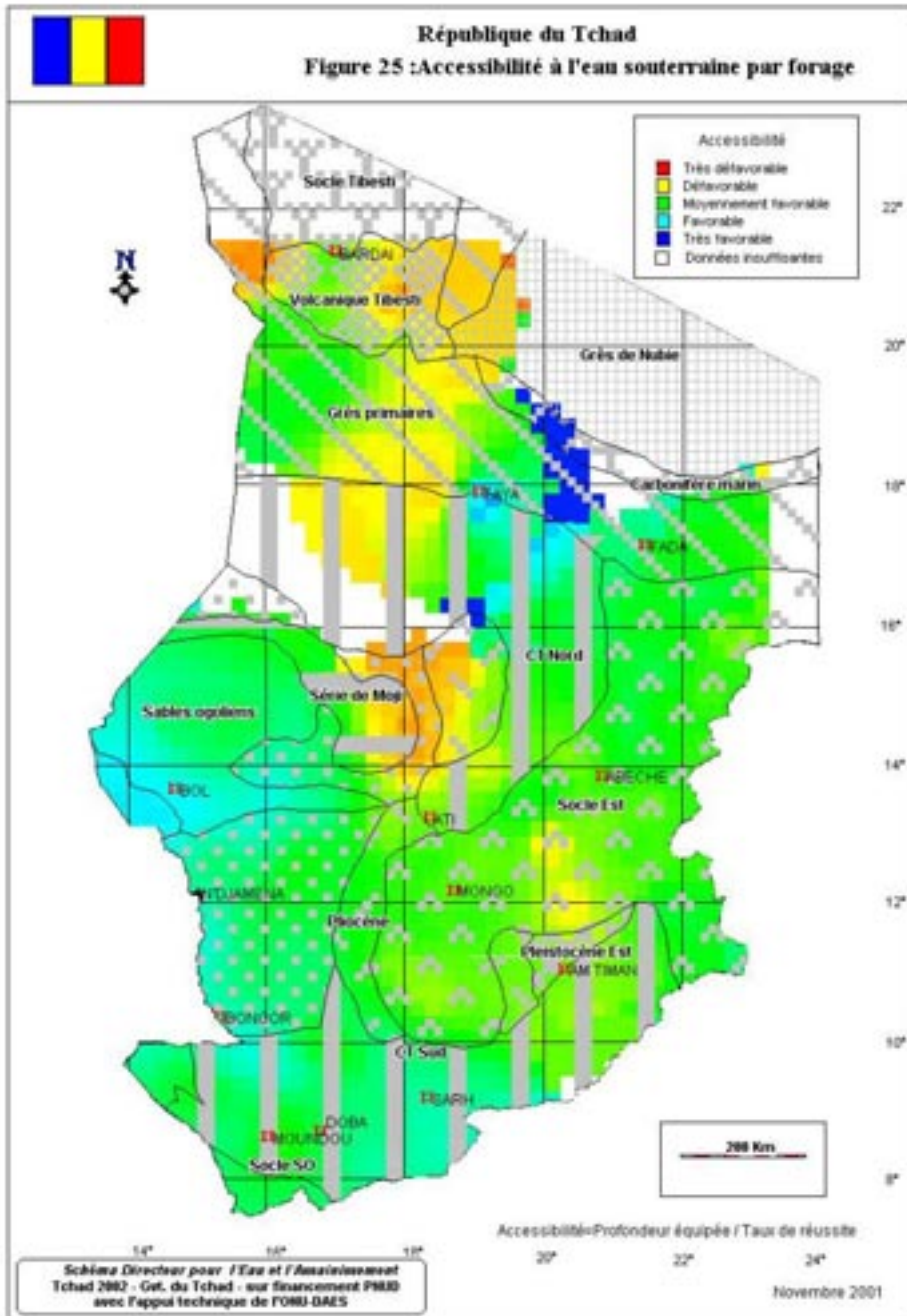


Schéma Directeur pour l'Eau et l'Assainissement Tchad 2002 - Gut. du Tchad - sur financement PNUD avec l'appui technique de l'ONU-DAES

Source: SDEA, adapté d'après Atlas pratique du Tchad, 1972







9 LE CADRE LÉGAL ET INSTITUTIONNEL DES RESSOURCES EN EAU

9.1 La législation existante

Le secteur de l'hydraulique en général est resté peu réglementé jusqu'à l'adoption par l'Assemblée nationale, en 1999, de la loi N° 016/PR/99, portant Code de l'eau. Ce code se caractérise par une volonté de régulation du secteur, dans le cadre des efforts de décentralisation, avec une grande implication du secteur privé ou associatif, à travers le principe de délégation du service public. Cependant, il faut noter que le retard pris dans l'élaboration du code foncier affecte sérieusement le cadre législatif.

LE CODE DE L'EAU

La loi 016/PR/99 portant « Code de l'eau » a été promulguée le 18 août 1999, après sa délibération et son adoption par l'Assemblée nationale le 2 juillet 1999. Cette loi a été préparée et adoptée dans le contexte de la délégation du service public de l'eau potable pour que les services autrefois assurés par la STEE puissent désormais être assurés par un consortium privé intervenant dans un cadre légal approprié. Ceci explique que le Code de l'eau, dans sa forme actuelle, soit beaucoup mieux élaboré pour les services concernant l'eau potable en milieu urbain.

Le Code de l'eau traite des questions liées à la domanialité, des restrictions du domaine privé, des conditions particulières au captage, au traitement, au stockage, à l'approvisionnement d'eau potable et à l'assainissement, des conditions d'utilisation des eaux, de la protection qualitative des eaux, de l'utilisation des eaux et des problèmes liés à l'eau, du fonds national de l'eau, du régime d'agrément d'entreprises de travaux hydrauliques, des infractions et sanctions. En ce qui concerne spécifiquement l'eau potable et l'assainissement, le Code de l'eau définit : le mode d'exploitation du service public de l'eau et les obligations du service public, le contrôle du service public et le corps de régulation, l'approvisionnement en eau potable et la tarification, les contrats de délégation de service public, le régime juridique des ouvrages, le contrôle de l'activité de l'exploitant, le fonds de développement de l'eau potable et de l'assainissement et les prérogatives et servitudes.

Les principales lois régissant le secteur sont les suivantes :

- la loi N° 4 du 1^{er} octobre 1959 portant réglementations du nomadisme sur le territoire de la République du Tchad;
- la loi N° 23 du 22 juillet 1967 sur les statuts des biens domaniaux. Cette loi stipule que le domaine national est constitué par l'ensemble des biens appartenant à l'État, domaine public et domaine privé;
- la loi N° 25 du 22 juillet 1967 sur la limitation des droits fonciers. Cette loi définit les procédures d'expropriation et définit le principe de l'indemnité fixée par accord à l'amiable;
- la loi 14/PR/99 du 17 août 1998 définissant les principes généraux de la protection de l'environnement qui traite de tous les aspects de l'environnement et des biens culturels;
- la loi 016/PR/99 du 18 août 1999 portant Code de l'eau. Cette loi stipule que toutes les ressources en eau sont un bien collectif dont la mise en exploitation est soumise à déclaration ou autorisation, dans le cadre des lois et du respect du droit coutumier;
- les lois organiques du 16 février 2000, soit la loi N° 2 sur le statut des Collectivités Territoriales Décentralisées et la loi N° 3 sur leur régime électoral;
- l'ordonnance N° 23 du 22 septembre 1975 portant statut de la commune de N'Djaména;

- l'ordonnance N° 17/PR/85 du 24 juillet 1985 portant organisation des communes de moyen exercice;
- l'ordonnance N° 025/PR/92 portant statut général des groupements, des groupements à vocation coopérative et des coopératives en République du Tchad.

9.2 La réglementation existante

La décision politique du désengagement de l'État du secteur de l'eau et de l'électricité a contribué à accélérer l'adoption du Code de l'eau, mais elle n'a pas été l'occasion d'une large consultation des principaux acteurs du secteur; à la mesure de son importance. On peut regretter certaines lacunes du texte confectionné essentiellement dans un contexte de privatisation des systèmes AEP gérés par la STEE. Le Code de l'eau traite plus particulièrement le volet du service public de l'eau potable en milieu urbain. Étant donné quelques lacunes et incohérences relevées, notamment pour les sous-secteurs ne relevant pas de l'eau potable, il reste à compléter et à améliorer ce code. Par ailleurs, les décrets d'application du Code de l'eau permettant de régir le cadre réglementaire ne sont pas encore tous à jour. Ce retard ne rend pas le cadre réglementaire complètement opérationnel.

Délégation du Service Public de l'Eau potable aux collectivités décentralisées et modalités de gestion de ce service : décret 249/PR/MEE/02 du 28 mai 2002

Le 28 mai 2002 a été signé le décret présidentiel 249/PR/MEE/02 définissant les modalités et conditions de transfert à titre provisoire⁷, par l'État aux Collectivités Territoriales Décentralisées (CTD) de ses pouvoirs en matière de délégation du service public de l'eau potable. Ce décret rappelle notamment que ce transfert doit favoriser **un mode d'exploitation et de gestion de type participatif impliquant les utilisateurs du service public de l'eau potable** et qu'un contrat doit être signé entre la CTD et le délégataire gestionnaire et exploitant de l'alimentation en eau potable (associations d'usagers de l'eau ou, à défaut, exploitants indépendants) sur l'étendue du territoire de la CTD concernée. Ce décret précise également « le rôle recentré des services de l'État sur ses prérogatives réglementaires et de contrôle. De plus, le cadre général des modalités de gestion du service public de l'alimentation en eau potable est défini, sur une base à caractère industriel et commercial et avec un fonctionnement des infrastructures gérées au coût d'exploitation direct réel impliquant toutes les dépenses permettant d'assurer les prestations d'alimentation, de distribution et de gestion ainsi que la couverture des coûts de renouvellement ».

⁷ En attendant l'adoption de la loi sur le transfert des compétences dans le cadre de la décentralisation

Les autres principaux textes réglementaires régissant le secteur sont énumérés ci-après.

- Le décret N° 12/PR/INT du 06/05/1970 portant statut de la chefferie.
- Le décret N° 399/PR/MISD/97 du 10 septembre 1997 sur la décentralisation.
- Le décret N° 249/PR/MEE/02 définissant les modalités et conditions de transfert à titre provisoire par l'État aux Collectivités Territoriales Décentralisées, de ses pouvoirs en matière de délégation du service public de l'eau potable.
- L'arrêté N° 0292/MEHP/SE/220/DONHPV/88 du 02/05/88 portant fixation des taxes sur la consommation d'eau sur les stations de pompage de l'ONHPV.
- L'arrêté N° 138/MEHP/86 du 01/03/86 portant fixation des taxes sur la consommation d'eau sur les stations de pompage.
- L'arrêté N° 034/PM/MEE/99 portant création et organisation du Comité National de Gestion de l'Eau.
- L'arrêté N° 028/MEE/DG/02 du 22 mai 2002 portant définition du cadre modèle de convention particulière de transfert du pouvoir de délégation du service public de l'eau potable de l'État à une Collectivité Territoriale Décentralisée.
- L'arrêté N° 029/MEE/DG/02 portant définition du cadre modèle de contrat particulier de Délégation du Service Public de l'Eau Potable à une Association d'Usagers ou Fermier Privé.

- L'arrêté N° 030/MEE/DG/02 portant modalités de constitution, d'organisation et de fonctionnement des Associations d'Usagers de l'Eau Potable (AUE).
- La note circulaire N° 012/MISD/SE/DIAT/00 relative à l'interdiction formelle de perception de redevances appelées « zakat » et gestion des puits pastoraux par les chefs de tribu.

La police de l'eau : l'Agence pour la Régulation du Secteur de l'Eau (ARE)

Selon l'article 42 du Code de l'eau, l'Agence est placée sous la responsabilité du ministre chargé de l'eau. Elle a pour mission principale de veiller à l'application de la réglementation afférente au secteur de l'eau dans l'impartialité et de proposer à l'État, pour homologation, les tarifs de l'eau. Le décret auquel le Code de l'eau renvoie, pour l'organisation et le fonctionnement de l'Agence, n'a pas encore vu le jour.

9.3 Le cadre institutionnel général du secteur de l'eau

La gestion du secteur de l'eau est une prérogative publique au Tchad. La consultation des divers acteurs (publics, privés et associatifs) a été institutionnalisée au niveau central, à travers trois comités (politique, stratégique et technique) placés sous la tutelle du Premier Ministre pour le HCNE, du MEE pour le CNGE et de la Direction de l'Hydraulique pour le CTIE.

9.3.1 La Primature

À la Primature, deux institutions sont principalement concernées par l'eau et sa gestion :

- Le Haut Comité National pour l'Environnement (HCNE)

Le HCNE, dont la mission est de veiller à la mise en application effective des recommandations de l'Agenda 21 de la Conférence des Nations Unies sur l'Environnement et le Développement Durable de Rio de Janeiro de juin 1992, est l'organe auquel se rattache le **Comité National de Gestion de l'Eau**. Le Ministère de l'Environnement et de l'Eau assure le secrétariat du HCNE.

- Le Ministère Délégué à la Primature chargé de la Décentralisation

Ce nouveau ministère est chargé de la mise en œuvre de la politique de la décentralisation qui permettra la participation et la prise de décision au niveau le plus bas possible.

9.3.2 Le Ministère de l'Environnement et de l'Eau

Selon le chapitre I du décret N° 183/PR/PM/MEE/01 du 30 mars 2001, le Ministère de l'Environnement et de l'Eau est responsable de la conception et de la mise en œuvre des politiques de protection de l'environnement, de lutte contre la désertification, de gestion des ressources naturelles et de l'application de la politique en matière d'hydraulique urbaine, villageoise, agricole, pastorale et d'assainissement ainsi qu'en matière de météorologie et d'hydrologie.

Ce ministère a sous sa tutelle, au niveau central, cinq directions : la Direction de l'Hydraulique (DH), la Direction des Ressources en Eau et de la Météorologie (DREM), la Direction des Pêches et de l'Aquaculture (DPA), la Direction de la Protection de la Faune et des Parcs Nationaux (DPFPN) et la Direction de la Protection des Forêts et de la Lutte contre la Désertification (DPFLCD). Au niveau déconcentré, huit Délégations régionales de l'Environnement et de l'Eau viennent de voir le jour en 2001 (décret N° 183/PR/PM/MEE/2001).

9.3.2.1 La Direction de l'Hydraulique

Cette direction est compétente pour toutes les activités relatives aux eaux souterraines, qu'il s'agisse de planifier les actions d'hydraulique urbaine, villageoise, pastorale et de l'assainissement, de mener des études et de centraliser leurs résultats, d'inventorier et de classer les nappes souterraines, de réaliser en régie les travaux d'hydraulique et d'assainissement, de suivre la maintenance des équipements hydrauliques, de contrôler la quantité et la qualité des prélèvements des eaux souterraines. L'organisation et les attributions de la Direction de l'Hydraulique sont détaillées dans l'arrêté N° 9/MEE/DG/DH/98 du 3 juillet 1998.

La Direction de l'Hydraulique comporte au **niveau central** le Bureau de l'Eau, la Division des Études et de la Planification, la Division de l'Hydraulique Urbaine et de l'Assainissement, la Division de l'Hydraulique Villageoise et Pastorale et la Division de la Maintenance et de l'Équipement. La DH comprend également le Service Administratif et du Matériel. Elle est, en principe, représentée dans les différentes **délégations préfectorales** par un chef de service. Toutefois, les délégations préfectorales n'étaient pas en place en 2001.

La plupart des divisions ne jouent pas encore pleinement leur rôle, notamment la Division Hydraulique Urbaine et Assainissement et la Division Études et Planification. Le manque de cadres, tant en quantité qu'en qualité, ne permet pas à la DH d'assumer pleinement son rôle aussi bien dans le domaine de la conception que du contrôle des études et des travaux sur le terrain. Elle manque aussi de moyens adéquats et d'un cadre organisationnel pour recueillir des informations indispensables à sa mission.

9.3.2.2 La Direction des Ressources en Eau et de la Météorologie

Par l'article 20 du décret N° 183/PR/PM/MEE/01, cette direction est chargée, notamment, de la planification et de la programmation de l'exploitation des eaux superficielles ainsi que de la promotion des études liées à la connaissance et à l'évolution des réserves en eau de surface. Elle est présente seulement à N'Djaména par le biais du Service hydrologique. Les brigades hydrologiques créées n'opèrent qu'à partir de N'Djaména sur un vaste territoire, avec très peu de moyens logistiques.

9.3.2.3 La Direction des Pêches et de l'Aquaculture

Par l'article 11 du décret N° 183/PR/PM/MEE/2001, cette direction est chargée du développement et de la promotion des ressources halieutiques et de l'aquaculture; de la mise en œuvre de la réglementation nationale, des accords et conventions régionaux et internationaux relatifs aux secteurs pêche et aquaculture et à la diversité biologique afférente. Cette direction est représentée à travers le Service de pêche et le Service hydrobiologique au niveau central et les secteurs de pêche sur les principaux plans d'eau (Lac Tchad, lacs Léré, Iro et Fitri). Les moyens logistiques et humains lui font défaut pour mener à bien ses activités. La Direction des Pêches et de l'Aquaculture manque aussi de moyens pour assumer ses tâches de surveillance et de collecte de données hydrobiologiques.

9.3.2.4 La Direction de la Protection des Forêts et de la Lutte contre la Désertification (DPFLCD)

Par le décret N° 501/PR/PM/MEE/02 portant organigramme du Ministère de l'Environnement et de l'Eau, la Direction de la Protection des Forêts et de la Lutte contre la Désertification est notamment chargée de la sauvegarde de l'environnement et de l'initiation, la coordination, la réglementation et le suivi des actions liées à l'assainissement de l'environnement et à l'amélioration du cadre de vie tant en milieu rural qu'en milieu urbain. Elle est aussi responsable de la mise en application de la réglementation nationale, des accords et conventions régionaux et internationaux relatifs à l'environnement et à la lutte contre la désertification.

C'est la direction la plus présente sur l'ensemble du territoire national. Cependant, elle manque de moyens logistiques, d'équipements et d'un cadre de conception pour accomplir efficacement sa mission.

9.3.2.5 La Direction de la Protection de la Faune et des Parcs Nationaux

L'article 14 du décret N° 183/PR/PM/MEE/01 définit les attributions de cette direction qui sont : la mise en œuvre et le suivi de la politique nationale en matière d'aménagement et de gestion durable de la faune et de la biodiversité; la planification et la programmation des activités s'y rapportant; la mise en application de la réglementation nationale, des accords et conventions régionaux et internationaux relatifs à la faune et à la biodiversité.

Depuis l'adhésion du Tchad à la Convention de Ramsar sur les zones humides, la Direction de la Protection de la Faune et des Parcs Nationaux a été dotée d'un point focal de la Convention de Ramsar. Elle est chargée de suivre toutes les questions relatives aux zones humides. Cette direction est présente à N'Djaména à travers la Division des Parcs et Réserves de Faune ainsi que dans les régions ayant des parcs (Zakouma, Manda). Ses capacités d'intervention sont limitées par le manque de moyens logistiques et humains.

9.4 Les institutions régionales

Le Tchad partage avec les pays voisins de nombreux hydrosystèmes de surface ainsi que de nombreux systèmes aquifères. Cette situation exige une gestion concertée avec les pays qui partagent et exploitent les mêmes ressources en eau. Dans ce cadre, un ensemble d'organisations a été mis en place. Ce sont notamment la Commission du Bassin du Lac Tchad, la Commission Mixte Cameroun et Tchad, l'Autorité du Bassin du Niger, la Commission Mixte sur l'Aquifère des Grès de Nubie.

9.4.1 La Commission du Bassin du Lac Tchad

Le bassin géographique du Lac Tchad couvre une partie des territoires de six pays : en premier lieu, le Tchad (1 046 196 km²), puis le Niger (691 473 km²), la République Centrafricaine (219 410 km²), le Nigéria (179 282 km²), le Soudan (101 048 km²), l'Algérie (93 461 km²) et le Cameroun (50 775 km²).

La Commission du Bassin du Lac Tchad (CBLT), créée en 1964, regroupe actuellement les États membres couvrant les sous-bassins hydrologiques actifs du bassin : le Cameroun, la République Centrafricaine, le Niger, le Nigéria et le Tchad. Un plan d'action stratégique (PAS) a été adopté par les États membres en 1998.

PLAN D'ACTION STRATÉGIQUE DE LA COMMISSION DU BASSIN DU LAC TCHAD (CBLT)

Le Lac Tchad, situé à l'est du Sahel africain et en bordure sud du Sahara, constitue une vaste étendue d'eau douce partagée entre le Cameroun, le Niger, le Nigéria et le Tchad. Le Lac Tchad, quatrième grand lac africain et troisième lac endoréique mondial s'étale dans une cuvette fermée faiblement déprimée. Il a donc une faible profondeur, un volume relativement faible et une superficie très variable avec la pluviométrie de chaque année. Il est alimenté par un grand bassin versant de 2 381 635 km² qui lui-même comporte de nombreuses zones humides et de vastes plaines d'inondation d'intérêt économique et environnemental.

Étant donné l'importance exceptionnelle de la protection de l'environnement du lac ainsi que des rivières et aquifères de son bassin, et de la nécessité d'actions concrètes dans ce sens, la préparation d'un Plan Stratégique d'Action (PAS) a été initiée en mai 1996 suite à une demande d'assistance de la Commission du Bassin du Lac Tchad (CBLT) auprès du FEM-PNUD. Le PAS a été élaboré et validé lors d'ateliers nationaux et régionaux avec l'appui des spécialistes de la CBLT et le support de l'ONU-DAES. En fait, le PAS apporte un soutien au but premier de la CBLT qui est « d'exploiter les eaux du bassin du Lac Tchad pour le bien-être des populations concernées ». L'objectif du PAS est d'élaborer un cadre régional pour la protection de l'environnement et pour un développement durable des ressources diverses de tout le bassin du Lac Tchad. Ce cadre prévoit des mesures préventives et des mesures curatives. Le PAS vise à constituer et à organiser à la fois un processus permanent permettant d'obtenir un accord régional sur les évolutions environnementales, sur les menaces véritables et sur les priorités à considérer au niveau régional. Le PAS a été adopté par le Conseil des ministres de la CBLT en mai 1998 et constitue donc le document de référence de la stratégie des États membres de la CBLT vis-à-vis de la protection des eaux souterraines et de surface du bassin du Lac Tchad. Un projet d'appui à la mise en œuvre des premières étapes du PAS devait être financé par le FEM, à la demande des États membres.

Les diagnostics des problèmes transfrontaliers ont conduit à définir un plan stratégique à long terme :

BUT DU PAS : UN DÉVELOPPEMENT DURABLE DU BASSIN DU LAC TCHAD

Objectif principal : Le Lac Tchad est protégé de façon durable grâce à une gestion **concertée** et **intégrée** des ressources de son bassin, assurée par la **responsabilisation** et la coopération de tous les acteurs du bassin.

Objectif 1 : Une gestion concertée des eaux partagées en s'appuyant sur la coopération régionale et des politiques nationales harmonisées et appliquées au niveau de chaque sous-bassin.

Objectif 2 : Une gestion intégrée de l'utilisation des ressources finies et vulnérables de l'écosystème du bassin, en partant d'une meilleure connaissance de ses ressources.

Objectif 3 : Les acteurs du bassin se sont responsabilisés pour la protection du patrimoine commun.

9.4.2 La Commission Mixte Cameroun et Tchad

La Commission Mixte Cameroun et Tchad définie par la Convention de Moundou signée en 1970 a pour objectif principal la concertation entre les deux pays sur l'usage des ressources en eau du fleuve Logone qui font partie des ressources du bassin du Lac Tchad. Cette commission se réunit périodiquement. Les deux parties ont dernièrement recommandé l'activation effective de la mission d'aménagement du bassin du Logone et la création d'un comité technique d'experts qui se penchera, entre autres, sur l'étude de faisabilité des barrages de Foumbang au Cameroun et de Goré au Tchad.

9.4.3 L'Autorité du Bassin du Niger

L'Autorité du Bassin du Niger (ABN) dont le siège est à Niamey est représentée par un point focal à la Direction des Ressources en Eau et de la Météorologie. L'ABN intervient dans le bassin du Mayo-Kebbi, lequel fait partie du bassin du Niger. Dans ses programmes actuels, l'ABN surveille et combat l'apparition ou le développement de la jacinthe d'eau largement répandue dans le Niger, mais heureusement encore absente dans le bassin du Lac Tchad.

9.4.4 La Commission Mixte de l'Aquifère des Grès de Nubie

La formation sédimentaire des Grès de Nubie est constituée par des dépôts continentaux essentiellement gréseux et argileux. L'extension géographique de cette formation est importante; elle couvre l'est et le sud de la Libye, la majeure partie de l'Égypte, le nord et le nord-ouest du Soudan ainsi que l'extrême nord-est du Tchad.

Bien que composé d'une alternance d'horizons d'argiles et de grès, l'aquifère des Grès de Nubie constitue un réservoir d'eau important. Dans l'état actuel des connaissances et en raison des conditions d'extrême aridité qui règnent dans ces régions, cet aquifère est qualifié de « fossile », c'est-à-dire qu'il n'est pas rechargé.

Au Tchad, cet aquifère est quasiment inexploité, mais d'après certaines études, il interviendrait dans la recharge de l'aquifère des Grès Primaires. Cependant, les mécanismes et les relations entre les deux aquifères restent à étudier.

Un aquifère de cette importance qui fournit de l'eau de bonne qualité dans des zones aussi arides présente un intérêt stratégique pour le développement socio-économique de ces régions. Conscients des enjeux, les pays qui partagent cette ressource ont décidé d'unir leurs efforts afin d'élaborer un programme de suivi et d'exploitation de cette nappe.

Ainsi, la Libye, le Soudan, l'Égypte et le Tchad ont mis sur pied une commission mixte dont le siège est à Tripoli. Elle a pour objet de mettre en place les outils nécessaires pour assurer une exploitation durable des ressources de cet aquifère. Le projet « Nubian Sandstone Aquifer System » (NSAS), en cours, mène des actions dans ce sens.

9.4.5 Les conventions internationales

Les principales conventions internationales qui traitent en partie des ressources en eau et des écosystèmes et qui ont été ratifiées par le Tchad sont les suivantes :

La **Convention sur la Diversité Biologique** qui a pour objectif la conservation de la diversité biologique et la gestion durable des écosystèmes, le partage et l'accès aux bénéfices des ressources biologiques et, la sensibilisation et la prise en charge de la gestion des ressources biologiques par les populations locales. Cette convention a été signée le 12 juin 1992 et ratifiée par le Tchad le 30 avril 1993.

La **Convention sur les Zones Humides (Convention de Ramsar)** qui vise à protéger et à assurer la gestion durable des zones humides. Le lac Fitri est inclus dans cette convention. Le Tchad a adhéré à la Convention de Ramsar en 1988 et l'a ratifiée en 1990.

La **Convention des Nations Unies sur la Lutte Contre la Désertification** qui a pour objectif la lutte contre la désertification et l'atténuation des effets de la sécheresse en vue d'un développement durable.

L'Association pour le Développement de l'Information Environnementale/Programme Régional de Gestion de l'Information Environnementale qui vise à développer la production, l'échange, la diffusion, l'utilisation de l'information environnementale à des fins de développement durable. Le Tchad y a adhéré en mars 2001.

9.5 Le mécanisme national de concertation

L'arrêté 034/PM/MEE/99 signé par le Premier Ministre le 3 septembre 1999, au moment du lancement de l'élaboration du Schéma Directeur de l'Eau et de l'Assainissement, est le premier texte organisant un espace de concertation intersectoriel et participatif pour, d'une part, la protection et la gestion intégrée des ressources en eau au Tchad et pour, d'autre part, l'exploitation locale rationnelle de cette ressource par les nombreux sous-secteurs concernés. L'espace consultatif est organisé, sous la tutelle du Haut Comité National de l'Environnement (HCNE), en impliquant **la création du Comité National de Gestion de l'Eau (CNGE) en ce qui concerne les questions stratégiques et au niveau des grands départements administratifs et du Comité Technique Intersectoriel de l'Eau (CTIE) au niveau des directions techniques (une dizaine). Ces deux comités consultatifs n'ont pas de pouvoir de décision ou de véto, mais ils sont fonctionnels et ont montré leur importance, essentielle durant la préparation du SDEA. Des élus et fédérations d'associations d'usagers sont membres de droit de ces comités. Des personnes-ressources extérieures peuvent être associées aux réunions et travaux.**

10 LES INVESTISSEMENTS ET LES PROJETS

Très peu de projets sont axés directement sur la recherche et l'amélioration des connaissances sur les ressources en eau, tant celles de surface que celles souterraines. La grande majorité des projets et presque 100 % des sommes investies dans le secteur de l'eau au cours de la dernière décennie ont été orientés sur l'exploitation des ressources en eau pour l'hydraulique villageoise, l'hydraulique agricole, etc.

En 2000, seulement trois projets intervenant sur l'amélioration des connaissances et apportant une contribution à la gestion du secteur ont été identifiés. Ce sont :

- le Schéma Directeur de l'Eau et de l'Assainissement qui constitue un référentiel pour la mise en valeur et la gestion intégrée et durable des ressources en eau;
- le Projet Politique de l'Eau qui vise le renforcement des capacités pour la gestion durable des équipements hydrauliques ainsi que le renforcement du cadre légal et institutionnel;
- le projet « Nubian Sandstone Aquifer System » dont l'objectif est de définir des outils et des stratégies permettant la gestion et l'exploitation durable de l'aquifère des Grès de Nubie.

Il est clair que les projets intervenant dans les différents sous-secteurs de l'eau (hydraulique villageoise, hydraulique urbaine, hydraulique agricole, etc.) peuvent contribuer de manière significative à l'amélioration des connaissances sur les ressources. Il faudrait cependant, pour cela, que les données obtenues à travers la réalisation des différents programmes et projets soient traitées, analysées et publiées. Ce n'est pas le cas actuellement.

Il existe, par ailleurs, des études ponctuelles menées dans le cadre universitaire ou par des instituts de recherche internationaux ou encore par des organismes régionaux (dont la CBLT) qui contribuent à

l'amélioration des connaissances sur les ressources en eau. Cependant, ces études sont généralement peu connues par les gestionnaires de la ressource.

II LA SYNTHÈSE DES RESSOURCES EN EAU ET DE SES USAGES

Tout en tenant compte des principales contraintes concernant les ressources en eau (répartition inégale dans le temps et l'espace des précipitations et des eaux de surface, etc.) et de la méconnaissance du fonctionnement des grands aquifères, il ressort que le Tchad possède d'importantes ressources en eau pouvant satisfaire les divers usages.

La figure 23 présente, par grande zone climatique, la synthèse des ressources en eau en regard des besoins estimés pour les années 2000 et 2020. Dans cette figure sont distinguées les ressources en eau souterraine des ressources en eau de surface ainsi que les différents usages et fonctions de l'eau. En outre, le tableau 18 présente, par grande zone géoclimatique, une évaluation du potentiel des ressources en eau (eau de surface et eau souterraine) ainsi qu'une estimation de l'évolution des besoins pour satisfaire les différents usages au cours de la période 2000-2020. La figure 24 illustre sur une même carte les ressources en eau souterraine et de surface du Tchad. Les prochains paragraphes traitent ces sujets.

II.1 La zone saharienne

On ne dispose que peu de données sur les eaux de surface. Leur potentiel, estimé à 300 millions de m³, est à étudier. En 2000, cette ressource est essentiellement utilisée pour satisfaire les besoins de l'hydraulique pastorale estimés à près de 1 million de m³, ce qui représente environ 0,3 % du potentiel estimé des ressources en eau de surface. En 2020, conditionnellement à la conduite d'études et à une meilleure connaissance de leur potentiel, les prélèvements sur les eaux surface seront de l'ordre de 8 millions de m³, soit environ 2,7 % des ressources estimées; ces prélèvements seront surtout destinés à satisfaire les besoins de l'hydraulique agricole.

L'exploitation des eaux souterraines se fait à partir des réserves estimées à plus de 100 milliards de m³; il n'existe pas de ressources renouvelables. En 2000, les prélèvements effectués sur cette ressource (139 millions de m³) sont surtout destinés à satisfaire les besoins de l'hydraulique agricole évalués à environ 127 millions de m³ d'eau, alors que les besoins en eau potable ne sont que de l'ordre de 1 700 000 m³. Les réserves en eau souterraine ne sont exploitées en 2000 qu'à environ 0,14 % de leur potentiel; la projection des besoins pour 2020 n'entamera qu'environ 0,25 % de ces réserves. Il est toutefois à noter que, ponctuellement, leur mobilisation ou leur disponibilité peut poser certains problèmes, notamment dans les aquifères du socle/Volcaniques du Tibesti.

Les besoins en eau, tous usages confondus, sont estimés en 2000 à 140 128 054 m³ dont 139 millions de m³ prélevés sur les eaux souterraines et 1 000 000 m³ prélevés sur les eaux de surface. Ceci représente un peu plus de 0,14 % du potentiel des ressources en eau estimées (eaux souterraines et de surface).

En 2020, les besoins en eau sont évalués à 233,5 millions de m³, soit environ 0,25 % des ressources estimées.

II.2 La zone sahélienne

Les eaux de surface sont aussi à étudier en zone sahélienne afin de mieux cerner leur potentiel réel qui est estimé à 4 milliards de m³. Les prélèvements sur cette ressource sont estimés en 2000 à plus de 153,6 millions de m³ dont 117 millions de m³ (76 %) pour combler les besoins de l'hydraulique agricole. En plus de leurs usages habituels, les eaux de surface en zone sahélienne ont une **fonction importante : la préservation de la biodiversité**. En 2020, les prélèvements sur les eaux de surface pour répondre à l'ensemble des besoins sont de l'ordre 406 millions de m³ d'eau, soit 10,1 % des ressources estimées.

De façon générale, l'exploitation des eaux souterraines en zone sahélienne se fait à même les ressources renouvelables évaluées à plus de 8 milliards de m³. En 2000, les prélèvements sur cette ressource sont estimés à près de 200 millions de m³ d'eau, soit environ 2,5 % des ressources

renouvelables annuellement, dont 98 millions de m³ pour les besoins de l'hydraulique pastorale. En 2020, les prélèvements sont estimés à plus de 330 millions de m³ d'eau, soit environ 4,1 % des ressources en eau souterraine renouvelables. En additionnant les ressources renouvelables aux ressources non renouvelables, le potentiel en eau souterraine de la zone sahélienne est de 90 milliards de m³; les prélèvements en 2020 ne représenteront que 0,36 % de ce potentiel.

Les besoins en eau, tous usages confondus, sont estimés en 2000 à 353 millions de m³ dont un peu plus de 199 millions de m³ prélevés sur les eaux souterraines. Ces prélèvements correspondent à environ 3 % du potentiel estimé des ressources renouvelables en eau de la zone sahélienne.

En 2020, les besoins en eau sont estimés à un peu plus de 736 millions de m³ dont 406 millions de m³ seront prélevés sur les eaux de surface. Ces prélèvements entameront un peu plus de 6 % du potentiel estimé des ressources en eau renouvelables (eau souterraine et de surface) de cette zone.

11.3 La zone soudanienne

La zone soudanienne est la région où les ressources en eau sont les mieux connues. Dans cette zone, la médiane des écoulements de surface pour la période 1972-2002 est de 22,4 milliards de m³ annuellement, avec un minimum absolu de 6,7 milliards de m³ atteint en 1984-1985.

Tableau 18 : Synthèse des ressources en eau et des prélèvements estimés par usage

| Zone | Ressources estimées (milliard m ³) | Sous-secteur | 2000 | |
|--|---|--------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| | | | Eau souterraine (m ³) | Eau de surface (m ³) |
| Zone saharienne | Eau de surface : 0,30 ? (potentiel à étudier) Eau souterraine Renouv. : 0 Réserve : 100 | Hydraulique villageoise | 1 493 879 | 0 |
| | | Hydraulique urbaine | 195 700 | 0 |
| | | Hydraulique agricole | 127 000 000 | |
| | | Hydraulique pastorale | 10 498 326 | 940 149 |
| | | Hydraulique industrielle | 0 | 0 |
| | | Total | 139 187 905 | 940 149 |
| Zone sahélienne | Eau de surface : 4,0 ? (potentiel à étudier) Eau souterraine Renouv. : 8 Réserve : 82 | Hydraulique villageoise | 15 243 247 | 300 000 |
| | | Hydraulique urbaine | 22 062 495 | 300 000 |
| | | Hydraulique agricole | 63 000 000 | 117 000 000 |
| | | Hydraulique pastorale | 98 294 127 | 36 074 465 |
| | | Hydraulique industrielle | 700 000 | 0 |
| | | Total | 199 299 869 | 153 674 465 |
| Zone soudanienne | Eau de surface : 22,4 Eau souterraine Renouv. : 11,2 Réserve : 82 | Hydraulique villageoise | 26 866 738 | 700 000 |
| | | Hydraulique urbaine | 12 489 013 | 700 000 |
| | | Hydraulique agricole | 20 000 000 | 683 000 000 |
| | | Hydraulique pastorale | 10 130 840 | 19 965 412 |
| | | Hydraulique industrielle | 626 000 | 2 000 000 |
| | | Total | 70 112 591 | 706 365 412 |
| Total | | | 408 600 365 | 860 980 026 |
| Total national des prélèvements par sous-secteur | Eau de surface : 26,7 Eau souterraine Renouv. : 19,20 Réserve : 264 | Hydraulique villageoise | 43 603 864 | 1 000 000 |
| | | Hydraulique urbaine | 34 747 208 | 1 000 000 |
| | | Hydraulique agricole | 210 000 000 | 800 000 000 |
| | | Hydraulique pastorale | 118 923 293 | 56 980 026 |
| | | Hydraulique industrielle | 1 326 000 | 2 000 000 |
| | | | | |

Source : SDEA 2001

Note : L'estimation des pourcentages des prélèvements totaux sur les eaux souterraines en zones sahélienne et soudanienne est calculée sur les ressources renouvelables alors que cette estimation pour la zone saharienne est calculée sur les ressources non renouvelables (réserves).

Les ressources en eau de surface y sont donc relativement importantes; elles sont surtout utilisées pour satisfaire les besoins de l'hydraulique agricole (683 millions m³) et dans une moindre mesure les besoins de l'hydraulique pastorale et industrielle évalués (en 2000) respectivement à 20 000 000 m³/an et à 2 000 000 m³/an. Le total des prélèvements sur les eaux de surface est évalué en 2000 pour la zone soudanienne à plus de 706 millions de m³ d'eau, ce qui correspond à 3 % des ressources estimées. Les prélèvements prévus en 2020 sont estimés à 1,4 milliard de m³ d'eau, soit 6,5 % des ressources. Par ailleurs, les ressources en eau de surface dans la zone soudanienne ont aussi une **fonction de préservation et de maintien de la biodiversité** qui est difficilement quantifiable.

En ce qui concerne les eaux souterraines, les ressources renouvelables sont estimées à 11,2 milliards de m³/an et les réserves, à 82 milliards de m³. Les prélèvements sur cette ressource sont estimés, en 2000, à 70 millions de m³ (0,6 % des ressources renouvelables); ils seront de 206 millions en 2020, soit 1,8 % des ressources renouvelables.

Les besoins en eau, tous usages confondus, sont estimés en 2000 en zone soudanienne à 776,5 millions de m³ dont un peu plus de 70 millions de m³ prélevés sur les eaux souterraines.

En 2020, les besoins en eau sont estimés à un peu plus de 1,6 milliard de m³ dont 1,4 milliard de m³ seront prélevés sur les eaux de surface pour satisfaire essentiellement les besoins de l'hydraulique agricole. Ces prélèvements sur les eaux souterraines et les eaux de surface correspondent à 4,7 % du potentiel des ressources en eau renouvelables de cette zone.

| Total (m ³) | 2020 | | | Estimation % prélèvements | |
|-------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|-------------------------|---|---|
| | Eau souterraine (m ³) | Eau de surface (m ³) | Total (m ³) | 2000 | 2020 |
| 1 493 879 | 2 127 116 | 0 | 2 127 116 | Eau de surface : 0,30 % Eau souterraine : Renouv. : 0 % Réserve : 0,14 % | Eau de surface : 2,70 % Eau souterraine : Renouv. : 0 % Réserve : 0,25 % |
| 195 700 | 518 704 | 0 | 518 704 | | |
| 127 000 000 | 204 000 000 | 6 000 000 | 210 000 000 | | |
| 11 438 475 | 18 786 663 | 2 087 406 | 20 874 069 | | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 140 128 054 | 225 432 483 | 8 087 406 | 233 519 889 | | |
| 15 543 247 | 22 167 980 | 0 | 22 167 980 | Eau de surface : 3,8 % Eau souterraine : Renouv. : 2,5 % Réserve : 0 % | Eau de surface : 10,1 % Eau souterraine : Renouv. : 4,1 % Réserve : 0 % |
| 22 362 495 | 78 507 876 | 0 | 78 507 876 | | |
| 180 000 000 | 81 000 000 | 319 000 000 | 400 000 000 | | |
| 134 368 592 | 147 371 930 | 86 551 767 | 233 923 697 | | |
| 700 000 | 1 000 000 | 500 000 | 1 500 000 | | |
| 352 974 334 | 330 047 786 | 406 051 767 | 736 099 553 | | |
| 27 566 738 | 40 348 266 | 0 | 40 348 266 | Eau de surface : 3,1 % Eau souterraine : Renouv. : 0,6 % Réserve : 0 % | Eau de surface : 6,5 % Eau souterraine : Renouv. : 1,8 % Réserve : 0 % |
| 13 189 013 | 56 008 282 | 0 | 56 008 282 | | |
| 703 000 000 | 88 000 000 | 1 402 000 000 | 1 490 000 000 | | |
| 30 096 252 | 20 844 383 | 31 266 574 | 52 110 958 | | |
| 2 626 000 | 1 000 000 | 3 000 000 | 4 000 000 | | |
| 776 478 003 | 206 200 931 | 1 436 266 574 | 1 642 467 506 | | |
| 1 269 580 391 | 761 681 200 | 1 850 405 747 | 2 612 086 948 | | |
| 44 603 864 | 64 643 362 | 0 | 64 643 362 | Eau de surface : 3,2 % Eau souterraine : Renouv. : 1,4 % Réserve : minime | Eau de surface : 7,0 % Eau souterraine : Renouv. : 2,8 % Réserve : minime |
| 35 747 208 | 135 034 862 | 0 | 135 034 862 | | |
| 1 010 000 000 | 373 000 000 | 1 727 000 000 | 2 100 000 000 | | |
| 175 903 319 | 187 002 976 | 119 905 747 | 306 908 724 | | |
| 3 326 000 | 2 000 000 | 3 500 000 | 5 500 000 | | |

11.4 Conclusion sur le bilan des ressources en eau et sur les impacts environnementaux

Les prélèvements sur les ressources en eau pour satisfaire les différents usages, en **excluant** les besoins des écosystèmes aquatiques, sont estimés à 1 milliard 269 millions de m³ en 2000, ce qui représente 2,8 % des ressources renouvelables. Sur ce volume, 408,6 millions de m³ d'eau (32 %) sont prélevés des différents aquifères et près de 861 millions de m³ (68 %) sont fournis par les eaux de surface. Par ailleurs, 269,5 millions de m³ d'eau, soit 66 % des prélèvements totaux sur les eaux souterraines, sont effectués dans les aquifères rechargés alors que 139,1 millions de m³ d'eau (34 %) proviennent d'aquifères non rechargés.

En 2020, les besoins en eau sont évalués à un peu plus de 2,6 milliards de m³, soit environ 5,7 % des ressources renouvelables estimées annuellement. Sur ces prélèvements, plus de 1,85 milliard de m³ proviendront des eaux de surface et 761 millions de m³ seront fournis par les eaux souterraines. Cela représente 7,0 % des ressources en eau de surface et 3,9 % des ressources en eau souterraine renouvelables ou encore 0,26 % de l'ensemble des ressources en eau souterraine (ressources renouvelables et réserves).

Il n'y aura donc pas d'impacts majeurs sur l'environnement en raison des prélèvements sur les ressources en eau, pour la double raison que les ressources en eau au Tchad sont considérables et que les développements prévus restent modestes, y compris au niveau du volet hydroagricole. Il faut aussi noter que, du point de vue qualité de l'eau, le SDEA ne va pas développer des activités polluantes. À l'opposé, le SDEA propose un plan d'action et une approche pour accélérer les réalisations nécessaires en matière d'assainissement rural, urbain et industriel. Il recommande aussi d'être vigilant (principe de précaution) vis-à-vis de risques accidentels liés aux pollutions industrielles, notamment minières et pétrolières.

Par ailleurs, il est rappelé que les prélèvements estimés ne comprennent pas les prélèvements effectués à même ces différentes ressources dans les **pays voisins** du Tchad. Pour une gestion intégrée et durable, il est essentiel de prendre en compte l'ensemble des prélèvements. La CBLT a un rôle primordial à jouer pour la mise en place de mécanismes de concertation entre pays permettant un suivi et une exploitation durable des ressources partagées.

Tout en gardant en mémoire les principales contraintes relatives à la mobilisation des ressources en eau et surtout la répartition inégale dans le temps et l'espace des précipitations et des eaux de surface ainsi que la méconnaissance du fonctionnement des grands aquifères, il ressort de manière générale qu'en 2001 cette ressource ne constitue pas un frein au développement économique et social du Tchad. Cependant, la mise en valeur des ressources en eau requiert la conduite d'études permettant d'améliorer les connaissances sur le fonctionnement et les relations entre des principaux systèmes hydrologiques et hydrogéologiques, notamment dans les zones semi-arides plus fragiles ainsi que dans les zones à fort potentiel d'épandage de crues. L'approche intégrée par bassin sera privilégiée notamment à travers l'étude, de préférence au Tchad, d'un « Schéma intégré du bassin du Chari-Logone et de ses zones inondables » afin de veiller au respect des grands équilibres conciliant les ressources en eau, le fonctionnement des écosystèmes aquatiques et les besoins du développement économique et social.



République du Tchad

Figure 27: Synthèse Ressources/Besoins

Dans les besoins en eau, il faut ajouter les besoins des éco-systèmes aquatiques (en particulier les zones d'inondations et les lacs) qui conditionnent le maintien de la biodiversité ainsi que ceux des ressources essentielles pour la pêche, l'élevage et les cultures traditionnelles de décrue. Ces besoins indicatifs sont représentés par un dégradé bleu clair.

- Besoins Hydraulique villageoise
- Besoins Hydraulique urbaine
- Besoins Hydraulique pastorale
- Besoins Hydraulique agricole
- Besoins Hydraulique industrielle
- Ressources en eau souterraine
- Ressources en eau de surface

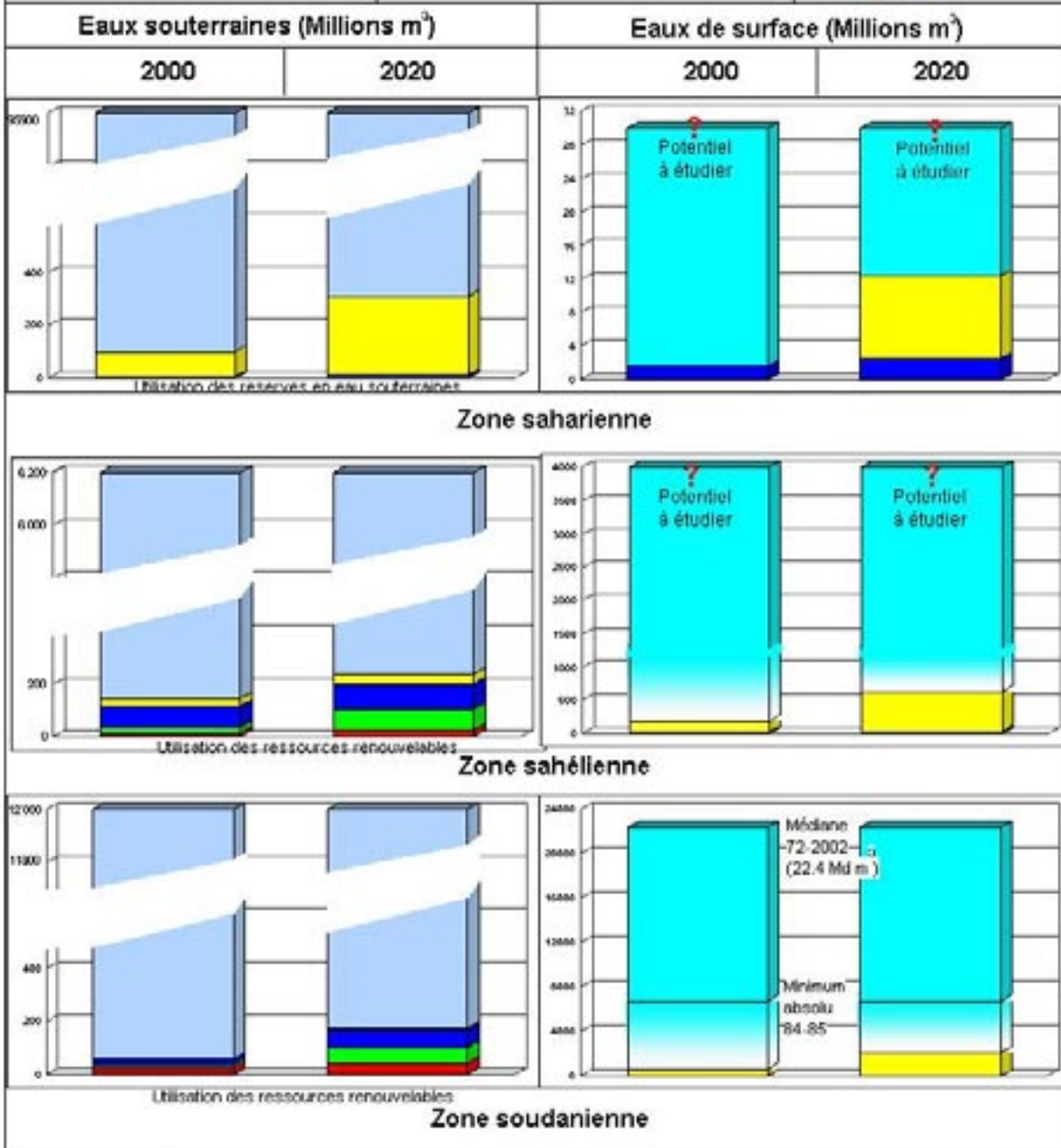
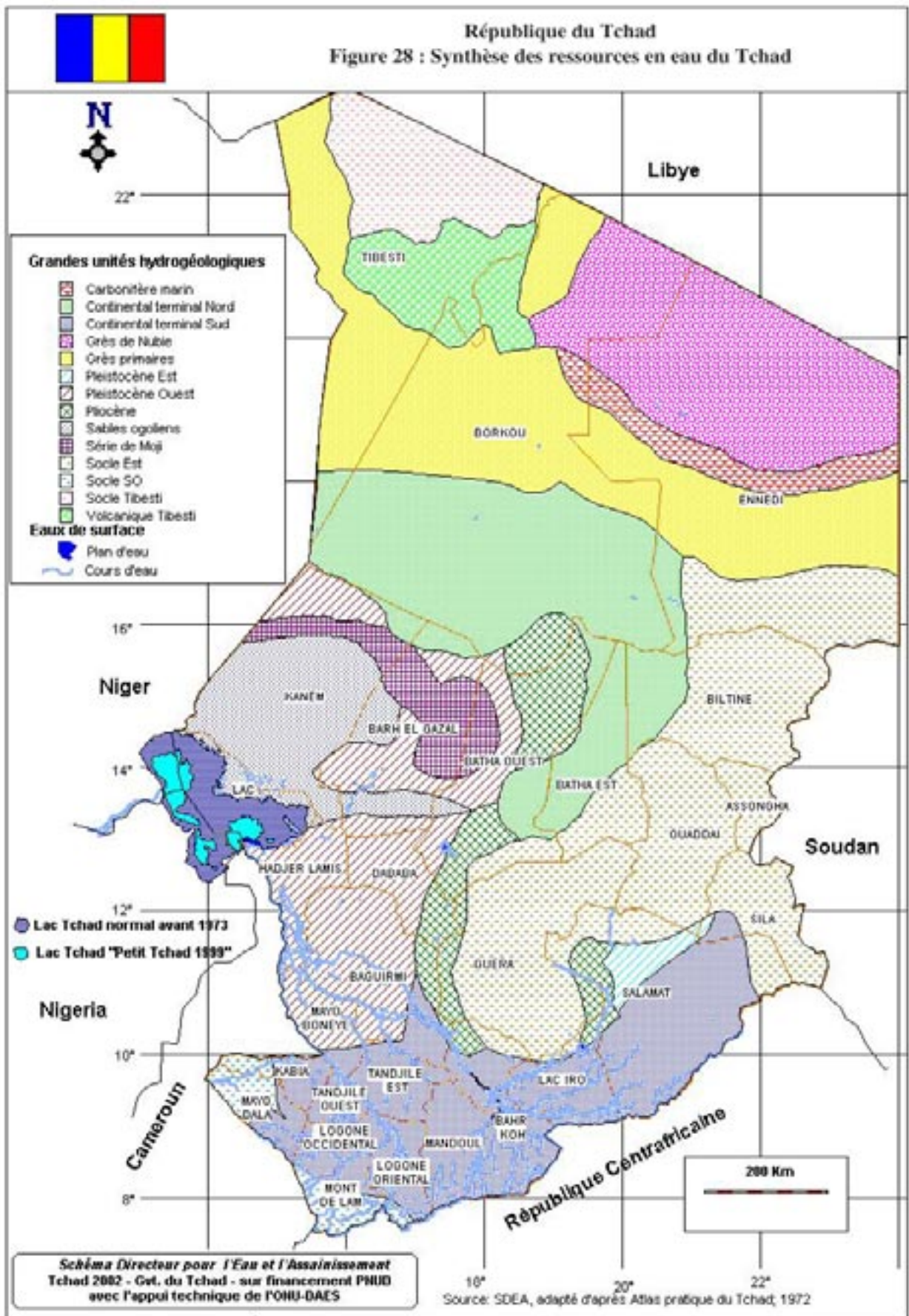


Schéma Directeur pour l'Eau et l'Assainissement Tchad 2002 - Gut. du Tchad - sur financement PHUD avec l'appui technique de l'ONU-DAES

Novembre 2001



12 LES CONSTATS

- **Le Tchad dispose d'importantes ressources en eau.** Toutefois, ce constat ne doit pas masquer les principales contraintes relatives à la mobilisation des ressources en eau, notamment la répartition inégale dans le temps et l'espace des précipitations et des eaux de surface ainsi que la méconnaissance du fonctionnement des grands aquifères. Il ressort, de manière générale, que la ressource ne constitue pas un frein au développement économique et social du Tchad. Cependant, la mise en valeur des ressources en eau **exige au préalable la conduite d'études** permettant d'améliorer les connaissances sur le fonctionnement et les relations entre les principaux systèmes hydrologiques et hydrogéologiques du pays.
- Les réseaux d'observation et de mesures sur les ressources en eau sont peu développés au Tchad. La densité de stations hydrométriques est sensiblement inférieure à celle correspondant aux normes UNESCO-OMM. Le réseau piézométrique ne couvre pas l'ensemble des aquifères. Plusieurs des stations de mesures des eaux de surface sont en panne ou en mauvais état physique. Faute de moyens logistiques, les visites de terrain permettant de vérifier l'état des équipements et de prélever des données sont effectuées irrégulièrement.
- Il n'existe pratiquement pas en 2001 de projets et d'investissements directs permettant d'améliorer les connaissances sur les ressources en eau du Tchad. En outre, les données récoltées par le biais des projets d'exploitation des eaux souterraines ou de mobilisation des eaux de surface ne sont que rarement traitées et utilisées pour améliorer la connaissance.
- Le secteur de l'eau en général est resté peu réglementé jusqu'à l'adoption par l'Assemblée nationale en 1999 de la loi N° 016/PR/99, portant Code de l'eau. L'article 1 de ce code spécifie que les ressources en eau « font partie intégrante du domaine public de l'État qui est inaliénable et imprescriptible. Leur mise en exploitation est soumise à déclaration ou autorisation dans le cadre des lois et des règlements en vigueur, et dans le respect du droit coutumier ». Rappelons que les décrets d'application du Code de l'eau ne sont pas tous encore promulgués en 2002.
- La gestion et l'exploitation des ressources en eau relèvent de l'État qui peut déléguer ses pouvoirs, notamment au niveau de la gestion et de l'exploitation des systèmes d'approvisionnement en eau potable. Il est cependant à noter que de la société civile est peu impliquée (2001) dans la gestion des équipements et dans la préservation des ressources en eau.
- Les prélèvements sur les ressources en eau pour satisfaire les différents usages, en **excluant** les besoins des écosystèmes aquatiques, sont estimés à 1 milliard 269 millions de m³ en 2000, ce qui représente 2,8 % des ressources renouvelables. En 2020, les besoins en eau sont évalués à 2,6 milliards de m³, soit près de 6 % des ressources renouvelables estimées annuellement. Il est cependant rappelé que les prélèvements estimés ne **comprennent pas** les prélèvements effectués à même ces différentes ressources dans les **pays voisins** du Tchad. La CBLT a un rôle primordial à jouer pour la mise en place de mécanismes de concertation entre pays permettant un suivi et une exploitation durable des ressources partagées en eau.

12.1 Sur les eaux de surface

- Depuis 1951, on constate un décalage vers le sud des isohyètes de l'ordre de 120 à 150 km, ce qui correspond à une décroissance des précipitations de 100 mm à 130 mm dans l'ensemble du pays au sud du 14^e parallèle. Depuis les années 1972-1973, une période de sécheresse relative sévit; il y a une tendance globale à l'aridité.
- La variabilité à moyen terme (pluriannuelle) des débits des grands fleuves est notable de même que la variabilité interannuelle. Ainsi, le débit moyen du Chari à N'Djaména est passé de 39 milliards de m³ pour la période 1950-1971 à 21,8 milliards de m³ pour la période 1972-2000. Cependant, il est à souligner que la tendance récente (1995-2000) est à un accroissement des débits maximaux et minimaux.
- L'accord Cameroun-Tchad de Moundou de 1970, portant sur les prélèvements d'eau sur le Logone, utilise comme référence les données hydrologiques de la période 1951-1970, période

relativement « humide ». En 2000, les débits naturels d'étiage apparaissent comme très inférieurs à ce qui a été prévu par l'accord de Moundou et les prélèvements, nettement supérieurs aux quotas convenus.

- Du fait de sa situation dans un bassin endoréique, le niveau du Lac Tchad dépend étroitement du climat et des précipitations sur son bassin versant. Des variations de niveau de quelques mètres ont des répercussions considérables sur sa surface en eau et sur l'ensemble de son fonctionnement écologique. Ainsi, à la fin des années 60, le Lac Tchad avait une superficie de 19 000 km² pour une cote de niveau de 281,5 m et ne comportait qu'un plan d'eau unique. Suite à la période de sécheresse des années 1972-2000, il s'est scindé en trois « compartiments ». Sa surface en eau a été nettement réduite, à environ 4 000 km² pour un cote de niveau de l'ordre de 279 m.
- La pollution des eaux de surface au Tchad par les métaux et les pesticides est pratiquement inexistante. D'après des analyses hydrobiologiques menées par le SDEA, il ressort que le mercure est en concentrations très faibles; il en est de même pour les concentrations en pesticides organochlorés. Aucun risque pour la santé humaine n'a été identifié pour des consommations normales ou même importantes de poissons. Toutefois, considérant les risques environnementaux relatifs à l'exploitation pétrolière et à l'exploitation de gisements aurifères, il apparaît important de conduire régulièrement ce type d'études et d'analyses afin d'assurer un suivi de la qualité des eaux et de prévenir tout impact négatif sur la santé humaine.
- Il existe une relation directe entre la production de la pêche et les surfaces inondées des plaines d'inondation du bassin Chari-Logone. Sur la base de ce constat et considérant que la pêche est le 4^e secteur économique au Tchad, il est primordial de mener des études d'impact approfondies avant de mettre en place des infrastructures (routes, digues, canalisations, etc.) qui modifieraient le fonctionnement des écosystèmes aquatiques de ce bassin.

12.2 Sur les eaux souterraines

- Les aquifères continus représentent presque trois quarts de la superficie totale du Tchad; ils sont répartis dans les trois zones géoclimatiques, mais sont principalement rencontrés au nord, à l'ouest et au sud du Tchad. D'autres régions sont moins privilégiées car leur substratum est composé de roches éruptives et/ou métamorphiques souvent d'âge précambrien, dans lesquelles l'eau souterraine ne peut se rencontrer que dans les zones d'altération et dans les axes de fracturation qui affectent le socle rocheux (aquifères discontinus des zones de socle). La superficie occupée par ce type d'aquifère représente 340 000 km².
- L'état actuel des connaissances ne permet que d'esquisser au niveau régional les grandes lignes de fonctionnement de la recharge des aquifères et du potentiel de mobilisation des ressources en eau. Les données sur l'infiltration des pluies sont rares et ponctuelles et les mécanismes d'échanges entre aquifères sont pratiquement inconnus.
- De manière générale, au sud de l'isohyète 500 mm, le bilan entre les pluies et l'évapotranspiration est excédentaire permettant ainsi la recharge des aquifères, alors qu'au nord de cet isohyète, le bilan pluies-évapotranspiration-infiltration est déficitaire dans les zones argileuses et peut être positif dans les zones sableuses. Cependant, considérant les très faibles précipitations, les aquifères de la zone saharienne ne semblent pas rechargés.
- Les aquifères de l'ouest du Tchad sont les plus favorables à la mobilisation et à l'exploitation par forage des ressources. Le taux de réussite des forages est supérieur à 90 % et le niveau statique est relativement peu profond. De manière générale, les débits spécifiques de ces aquifères sont élevés.
- La qualité des eaux souterraines, à l'exception de secteurs relativement bien circonscrits, est bonne et, ces eaux peuvent être utilisées à des fins de consommation alimentaire.