

Exploitation de la nappe alluviale du dallol Maouri pour des cultures irriguées au Niger

La recherche de l'autosuffisance alimentaire au Sahel implique le développement de cultures irriguées dans les vallées. Par conséquent, la satisfaction des besoins en eau pour la consommation et l'irrigation nécessite une sollicitation croissante des nappes aquifères.

Les études hydrologiques et hydrogéologiques préalables à la mise en œuvre de tels projets ont pour objectif de rechercher les lieux favorables à l'implantation de nouveaux forages, à prévoir les effets dus aux pompages cumulés (à courte et longue échéance) et à identifier des solutions optimales.

ACHIROU DADDY GAOH

Université A. M. de Niamey
Niamey, Niger

ALAIN DASSARGUES

Université de Liège
Laboratoire de géologie de l'ingénieur,
d'hydrogéologie et de prospection
géophysique
Bâtiment B 19
4000 Liège, Belgique

Le Niger est un vaste pays sahélien de 1 267 000 km² dont les trois cinquièmes sont semi-désertiques et désertiques. L'alimentation est essentiellement à base de céréales et de quelques légumineuses (mil, sorgho, maïs, riz, niébé...). La culture du riz se pratique presque exclusivement au bord du fleuve Niger, sur quelques centaines d'hectares aménagés. La production annuelle que permettent ces aménagements hydro-agricoles étant loin de satisfaire les besoins du pays, une bonne partie du riz consommé au Niger est importée. Le mil, le maïs, le sorgho, le niébé, etc. sont des cultures saisonnières pratiquées pendant la saison des pluies. Les récoltes ne répondent plus, depuis une trentaine d'années, à l'attente des cultivateurs. La sécheresse est caractérisée non seulement par une baisse marquée de la pluviométrie mais aussi par une mauvaise répartition des précipitations dans le temps. Les conséquences en sont, entre autres :

– une aggravation des phénomènes de la désertification ;

– la dégradation des terres cultivables, d'où une forte diminution des récoltes des produits vivriers qui deviennent dangereusement insuffisants pour nourrir une population dont l'effectif croît rapidement.

La sous-alimentation, la malnutrition ainsi que l'exode rural sont alors devenus des menaces permanentes dans beaucoup de régions et l'appel à l'aide internationale est très fréquent.

La recherche de l'autosuffisance alimentaire passe alors nécessairement par l'exploitation des nappes d'eau souterraines pour pouvoir irriguer les cultures. Une gestion saine de ces ressources naturelles est indispensable afin d'éviter leur dégradation.

Dans certaines régions, notamment sur le plateau, la profondeur des nappes aquifères (souvent plus de 50 m) et les moyens archaïques d'exhaure n'autorisent pas l'utilisation de l'eau pour l'irri-



Photo 1. Un tronc d'arbre posé en travers du puits...



Photo 2. La traction se fait sans aucun appui...

gation. Seules les nappes alluviales sont accessibles dans ces cas et doivent donc faire l'objet d'études approfondies afin d'éviter les conséquences que peut engendrer une trop forte sollicitation.

L'intensification de l'exploitation des nappes alluviales est indispensable pour les deux raisons suivantes :

- les besoins en eau de consommation s'accroissent rapidement car la démographie est galopante. Les sécheresses ont pour conséquence une sédentarisation accrue des peuples nomades dans les vallées (où l'eau est facilement accessible). Dans ces zones, le taux d'accroissement de la population est de 2,4 % par an et les taux d'accroissement pour le bétail sont du même ordre ;

- l'insuffisance et la mauvaise répartition des pluies de ces trois dernières décennies, auxquelles viennent s'ajouter les effets dévastateurs des prédateurs (sauterelles, criquets, oiseaux mange-mil, autres vers ou larves d'insectes), ont engendré une forte baisse de la production agricole entraînant un déficit alimentaire pour la population. Selon les données du ministère de la Santé publique du Niger, plus de 30 % de la mortalité infantile est imputable à la malnutrition.

Pour réduire le déficit alimentaire et améliorer l'alimentation par un apport de légumes frais et variés, l'intensification des cultures maraîchères (cultures de contre-saison) dans les régions où l'eau est facilement disponible (vallées) est encouragée.

Actuellement, l'irrigation se fait par aspersion sur plus de 95 % des sites de culture de contre-saison. L'eau est puisée dans des puits ou puisards de faible profondeur (inférieure à 20 m) et de diamètre 140 à 180 centimètres. Les moyens d'exhaure sont rudimentaires

(photos 1 et 2). Ces systèmes d'exhaure et d'irrigation n'autorisent pas la mise en valeur de grandes étendues de terre. Actuellement, l'utilisation de motopompes ou d'électropompes n'est pas à la portée des paysans dont le revenu est faible. En revanche, la traction animale devrait permettre la mise en valeur à bas prix de grandes superficies grâce à l'irrigation gravitaire. Pour ce type d'irrigation, les besoins en eau des cultures de contre-saison (après la saison des pluies) sont évalués à 25 000 mètres cubes par hectare au maximum pour la période allant d'octobre à mars.

Les objectifs de l'étude (1990-1993) ont consisté à obtenir les données quantitatives relatives aux caractéristiques hydrogéologiques de la nappe alluviale du dallol Maouri en relation avec les nappes aquifères des plateaux. Ensuite, les potentialités de ces aquifères et les effets prévisibles dus à des pompages additionnels (cumulés sur plusieurs années) ont été analysés et quantifiés par la réalisation d'un modèle mathématique de l'ensemble de la zone concernée.

Situation géographique et climatique

La partie occidentale du Niger (figure 1) est occupée par un vaste bassin sédimentaire, le bassin des Lullemeden [1]. Les dallols Maouri, Bosso et Foga sont des vallées sèches. Ce sont des paléo-affluents du fleuve Niger qui constitue, aujourd'hui, le seul élément permanent du réseau hydrographique de cette région. S'étendant du nord au sud sur une distance de plus de 250 ki-

lomètres, dans le département de Dosso, le dallol Maouri couvre une superficie de plus de 1 500 kilomètres carrés dans une région semi-désertique. Les températures moyennes varient fortement au cours de l'année. Elles sont maximales en avril-mai (40 à 42 °C pour les maxima, près de 30 °C pour les minima). Les plus basses sont enregistrées en décembre et janvier (moins de 35 °C pour les maxima, entre 15 et 20 °C pour les minima).

Au Niger, les pluies s'observent généralement de mai à septembre. Les hauteurs maximales des précipitations sont atteintes aux mois de juillet et août. Elles varient du nord au sud, passant de moins de 100 millimètres par an au nord à près de 800 millimètres par an au sud.

Depuis quelques décennies, on observe une forte baisse de la pluviométrie. Ainsi, si on compare les cartes des courbes isohyètes de la décennie 1960-1969 et celles de la décennie 1980-1989, on constate un déplacement important des courbes isohyètes du nord vers le sud (figure 2). La courbe isohyète 500 millimètres, par exemple, qui était au nord de Dogondoutchi pendant la première décennie, se retrouve au sud de Dosso pendant la seconde. Les lignes isohyètes 800, 850 et 900 millimètres ont complètement disparu de la région.

Mais cette baisse n'est pas constante dans une même décennie. Ainsi, si on considère les données annuelles de la décennie 1980-1989 comparées à une moyenne sur dix à trente ans, on constate que :

- à Gaya, par rapport à la moyenne des trente dernières années (780 mm/an), les années 1982, 1983, 1984, 1987 et 1990 ont été fortement déficitaires (années sèches), les années

1980, 1981, 1986 et 1988 ont été excédentaires (années humides), alors que 1985 et 1989 sont des années moyennes ;

- à Dosso, par rapport à la moyenne sur trente ans (515 mm/an), les années 1981, 1982 et 1990 sont moyennes, 1983, 1984 et 1987 sèches, 1985, 1986, 1988 et 1989 humides.

L'évapotranspiration potentielle (ETP) moyenne annuelle est légèrement supérieure à 2 000 millimètres au sud, à Gaya ; elle est de près de 2 450 millimètres à Tahoua (station située au nord de Dogondoutchi) et légèrement inférieure à 2 400 millimètres à Niamey. L'ETP moyenne mensuelle est d'environ 200 millimètres.

Cadre géologique et hydrogéologique

Le dallol Maouri est l'une des vallées où la disponibilité de l'eau (la nappe alluviale est à moins de 25 mètres de profondeur) permet d'envisager un bon développement des cultures irriguées, après la saison des pluies et avant l'arrivée des grandes chaleurs des mois d'avril et mai.

La géologie des aquifères du Continental terminal [2-5] dans la région a été reconstituée essentiellement à partir des descriptions lithologiques des forages, des résultats de sondages électriques et des données bibliographiques. La figure 3 illustre les schémas interprétatifs régionaux qui ont pu être établis sur la

base de toutes les données collectées et qui mettent en évidence les différents aquifères présents sous les plateaux dans les formations du Continental terminal.

Dans la vallée du dallol Maouri, la géologie est caractérisée par des sables alluvionnaires plus ou moins grossiers, parfois argileux.

Au nord du profil électrique P8 (figure 1), on a pu déterminer que ces alluvions sont séparées des grès et des sables argileux du Continental terminal (Ct) par un niveau conducteur (de 1 à 30 ohm/m de résistivité). En revanche, au P5 et au sud de P8 (figure 1), la disparition du terrain conducteur montre qu'il existe des zones où les alluvions ne sont séparées des séries sableuses ou sablo-argileuses du Continental terminal par aucun niveau franchement argileux et peu perméable.

On peut considérer que la nappe alluviale appartient, de ce fait, au système hydraulique supérieur (SA₁) du Ct et fait partie de la nappe phréatique. La profondeur de sa surface piézométrique diminue du nord au sud, passant d'une vingtaine de mètres à zéro dans certaines dépressions où elle alimente des mares permanentes. Sur base de nombreux pompages d'essai avec mesures au puits et parfois dans des piézomètres de contrôle, des transmissivités de 10^{-4} à 10^{-2} m²/s ont été déterminées, ce qui correspond à des perméabilités comprises entre 10^{-4} et 10^{-5} m/s [5]. La porosité efficace est très importante, de l'ordre de 0,20.

La nappe phréatique Aq₁ forme, avec la nappe Aq₂ sous-jacente, le système hydraulique supérieur. La surface piézomé-

trique d'Aq₁, plus élevée que celle d'Aq₂, suggère une réalimentation d'Aq₂ par Aq₁. Mais lorsque, après son exploitation, la surface piézométrique d'Aq₁ se retrouvera plus basse que celle d'Aq₂, le drainage sera inversé en faveur d'Aq₁.

Si on compare l'ETP mensuelle aux hauteurs de pluie, on remarque que, théoriquement, seules les pluies du mois d'août peuvent donner lieu à une infiltration, donc à la réalimentation de la nappe.

Un réseau piézométrique datant de 1970 dans le dallol Maouri, un piézomètre et cinq puits villageois (depuis 1990) nous ont servi pour la surveillance des mouvements de la surface piézométrique d'Aq₁. On observe généralement une baisse progressive des niveaux piézométriques de février à juillet. L'arrivée dans la nappe des eaux d'infiltration et la diminution de l'exhaure sont marquées par un relèvement du niveau piézométrique d'août à octobre. Le mois de novembre marque le début d'une baisse de la piézométrie consécutive à l'arrêt des pluies en septembre, à l'accroissement de l'exhaure et à l'évaporation.

Sur le plateau, le niveau piézométrique varie plus faiblement que dans les vallées.

L'année 1990 est considérée comme sèche dans toutes les stations météorologiques de la région du dallol Maouri. Mais les calculs, dans presque toutes ces stations, révèlent un volume d'eau utile appréciable, donc qu'une recharge de la nappe a été possible. Ceci est confirmé par une remontée de la surface piézométrique au niveau de tous les pié-

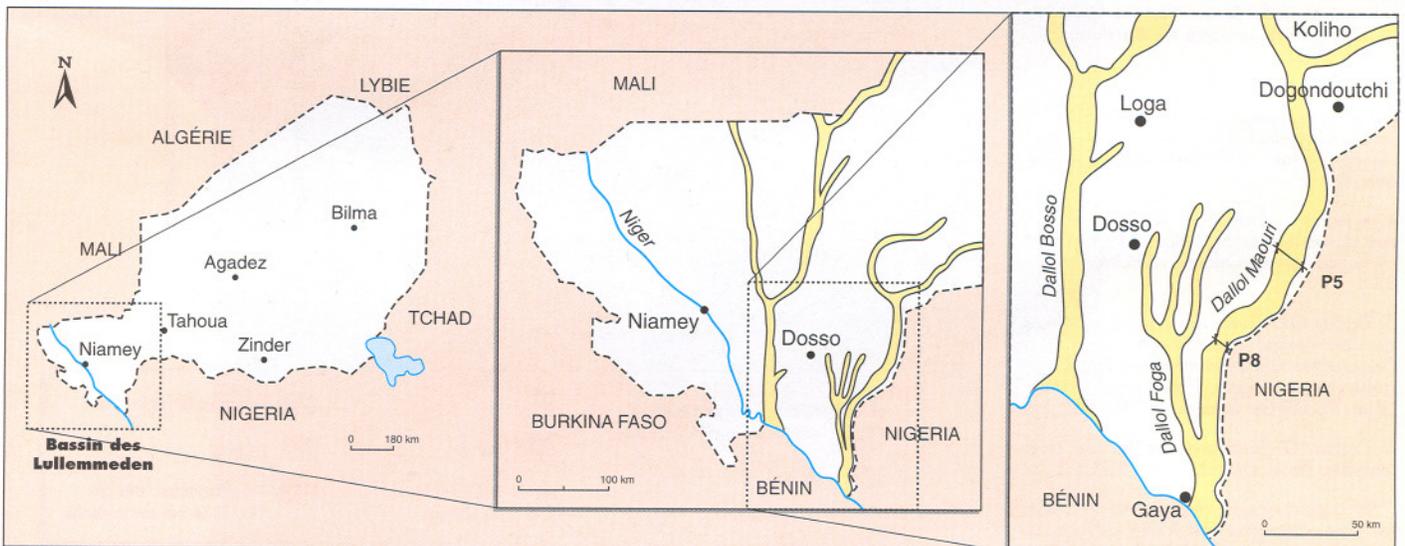


Figure 1. Le bassin des Lullemeden constitue la partie sud-ouest du Niger. Limites de la zone étudiée et implantation des profils de prospection électrique P5 et P8 dans le dallol Maouri (à droite).

Références

1. Greigert J. *Description des formations crétacées et tertiaires du bassin des Lullemmeden, Niger*. Orléans : BRGM, 1966 ; 236 p.
2. Abdoulkarimou T. *Détermination géologique des réservoirs du Continental terminal à l'ouest du dallol Bosso*. Mémoire DEA, Institut de géodynamique de Bordeaux III, 1988 ; 61 p.
3. Dubois D, Lang J. *Étude lithostratigraphique et géomorphologique du Ct et du Cénozoïque inférieur dans le bassin des Lullemmeden, Niger*. *Bull IFAN* 1981 ; T. 43, série A, 1-2.
4. Armand C. *Évaluation des ressources en eau du dallol Bosso. Rapport de factibilité hydrogéologique*. Orléans : BRGM, 1986 ; 83 p.
5. Daddy GA. *Étude des nappes aquifères du Continental terminal entre les dallols Dosso et Maouri, département de Dosso, République du Niger*. Thèse de doctorat. Liège : Faculté des Sciences, 1993 ; 258 p.
6. Castany G. *Traité pratique des eaux souterraines*. Paris : Dunod, 1963 ; 657 p.
7. McDonald GM, Harbaugh AW. A modular three-dimensional finite difference ground-water flow model. VI - Modeling techniques. In : *US Geological Survey Open-File Report 83-875*. Washington : Scientific Software Group, 1988 ; 547 p.

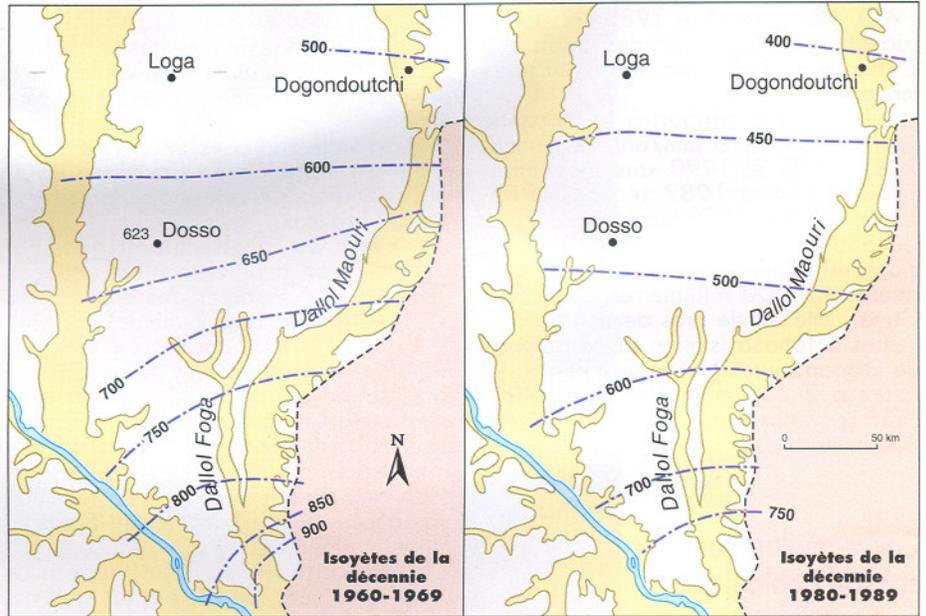


Figure 2. Comparaison des courbes isohyètes pour les décennies 1960-1969 et 1980-1989.

zomètres, généralement dès le mois de juillet et jusqu'en septembre. La recharge de la nappe alluviale, en 1990, a été évaluée à $1,05 \cdot 10^5 \text{ m}^3/\text{km}^2$. Ses réserves, estimées sur base de la méthode établie par Castany [6] seraient de l'ordre de $3 \cdot 10^5 \text{ m}^3/\text{km}^2$ [5].

Chimie de l'eau

L'utilisation de l'eau dépend, en grande partie, de sa composition chimique. Une étude hydrochimique détaillée a été réa-

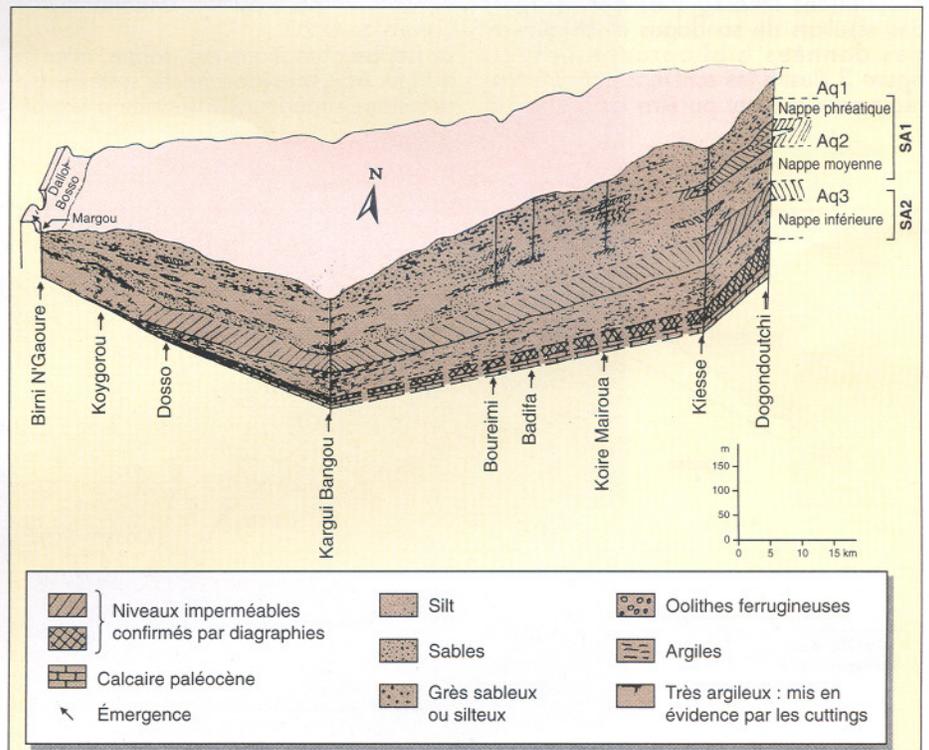


Figure 3. Schéma géologique interprétatif des couches supérieures dans la zone centrale entre les dallols Maouri et Dosso.

lisée. Rappelons que la nappe alluviale, qui est en connexion avec la nappe phréatique du Ct, peut être considérée comme une extension de celle-ci dans les alluvions des dallols.

Le tableau 1 donne, par élément chimique et propriété physique, les valeurs minimales et maximales rencontrées dans la nappe phréatique. Sans entrer dans les détails décrits par Daddy Gaoh [5], les résultats d'analyses portés en diagrammes de Piper et de Schoeller montrent que les eaux de la nappe phréatique sont tantôt bicarbonatées calciques, tantôt bicarbonatées sodiques. Leur résistivité, supérieure à 5 000 ohm/cm, indique des eaux très peu minéralisées et leur titre hydrotimétrique (Th), inférieur à 15 °F, caractérise des eaux douces.

En agronomie, les paramètres les plus importants sont la conductivité et le sodium adsorption ratio (SAR). Généralement, pour l'irrigation, on classe les eaux en cinq catégories (C₁, C₂, C₃, C₄, C₅) selon leur conductivité et en quatre catégories (S₁, S₂, S₃, S₄) selon leur SAR (figure 4).

Si nous considérons les normes américaines généralement admises, avec un SAR maximum de 3 et une conductivité inférieure à 250 µSi/cm, les eaux de la nappe phréatique se classent dans la catégorie C₁-S₁, c'est-à-dire celle des eaux à faible risque alcalin et faible risque salin pour les sols. Elles conviennent donc parfaitement pour l'irrigation.

Capacité de la nappe à supporter une exhaure importante

La réaction de la nappe phréatique à une exhaure importante dans le dallol Maouri a été étudiée grâce à une modélisation mathématique [5]. Le programme utilisé est le MODFLOW (a modular three-dimensional finite difference ground-water flow model) mis au point et décrit par McDonald et Harbaugh [7] et disponible à l'Université de Liège (Belgique).

La région étudiée a été divisée en mailles carrées de 10 kilomètres de côté. Les frontières de cette zone ne correspondant pas à des limites hydrogéologiques, des conditions latérales de hauteurs piézométriques imposées ont été reportées au moins à 30 kilomètres de la zone étudiée de manière à réduire leur influence sur la surface piézométrique calculée dans la zone sollicitée par les pompages.

Le calibrage du modèle a consisté à ajuster les valeurs et la répartition des paramètres hydrauliques (perméabilités et porosités efficaces) de manière à vérifier les mesures piézométriques de 1990. Cet ajustement a été effectué pour les conditions de pompage de 1990, en tenant compte de toutes les données géologiques à disposition et des valeurs mesurées pour ces paramètres en différents puits.

Le modèle étant mono-couche, l'effet du drainage vertical entre la nappe phréatique et l'aquifère sous-jacent a été pris en compte par l'introduction d'un débit supplémentaire de recharge. Une recharge constante a été considérée et estimée égale à la recharge évaluée en 1990.

Pour la mise en valeur de la vallée du dallol Maouri, la répartition des pompages a été prise en compte pour atteindre un total de pompage estimé à 0,049 m³/s sur les zones de plateau et à 0,423 m³/s dans le dallol Maouri pour l'alimentation et l'irrigation.

Il ressort des résultats obtenus dans ces conditions que l'exploitation de la nappe alluviale pour l'irrigation de 4 000 hectares de maïs devrait peu influencer la surface piézométrique de la nappe phréatique si la recharge de celle-ci est au moins égale à 1,6.10⁸ m³/an (figure 5). La figure montre la stabilité des isopièzes calculées par rapport à la situation initiale de 1990.

Il faut signaler que des variations plus importantes peuvent être attendues localement. Elles ne sont pas sensiblement visibles sur le modèle actuel compte tenu de la longueur des côtés de ses mailles. Il ne s'agit ici que d'une approche régionale relativement globale où les phé-

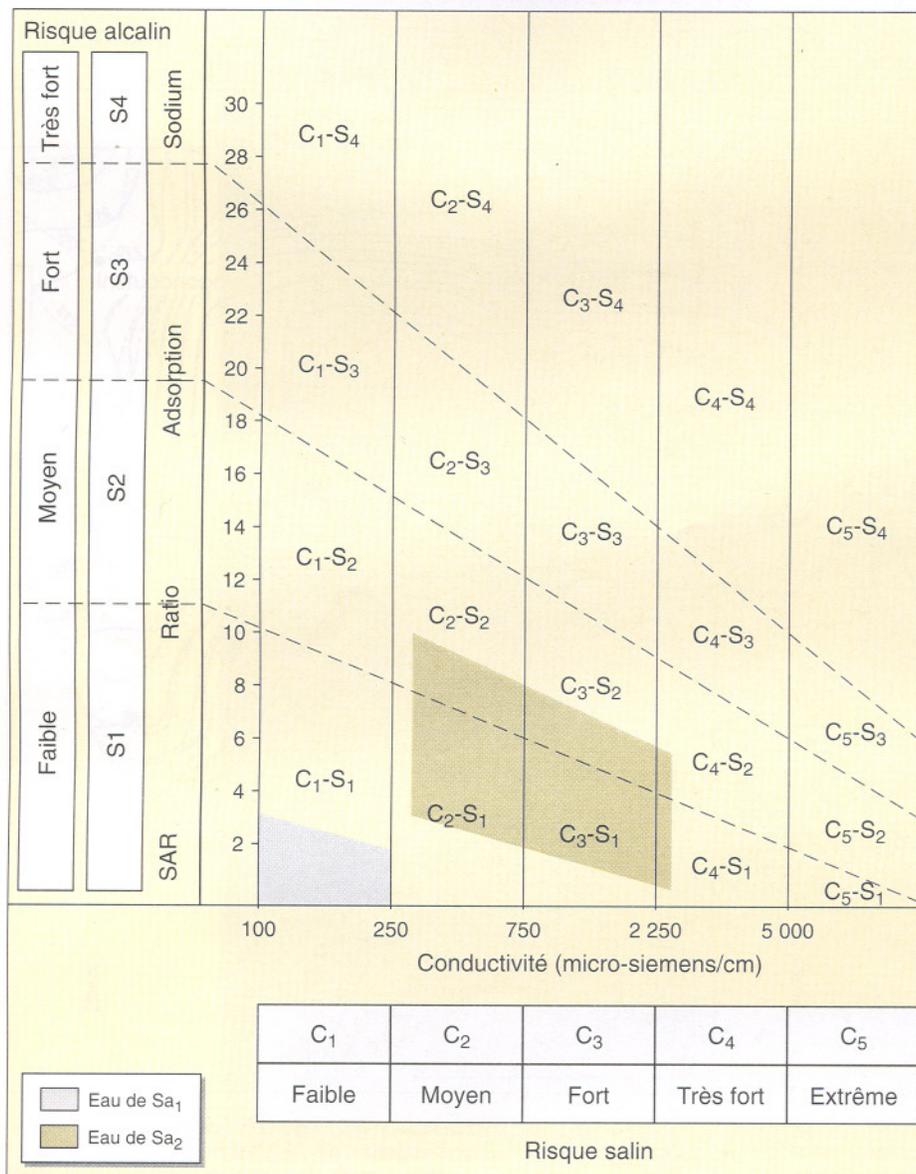


Figure 4. Classification des eaux d'irrigation (normes américaines).

nomènes locaux sont « lissés » au profit des tendances régionales.

En revanche, selon les résultats des simulations, l'exploitation de 10 000 hectares dans le dallol Maouri engendrerait un rabattement non négligeable de la surface piézométrique après deux saisons culturales (figure 6).

Il demeure possible de mettre en valeur 4 000 hectares de terres morcelées en sites de cultures de contre-saison de 5 à 20 hectares bien répartis dans le dallol. L'aménagement de sites de 10 hectares au minimum, accompagné de mesures adéquates ayant pour effet de réduire les dépenses hydriques dues aux phénomènes de l'advection dans un environnement si aride serait plus pratique.

Par ailleurs, la mise en valeur de 10 000 hectares serait peut-être réalisable en affectant une moins grande superficie cultivable aux cultures dont les besoins hydriques sont importants (maïs...) et en diminuant les dimensions

Tableau I. Propriétés physico-chimiques des eaux du SA1

Éléments ou propriété	Minimum	Maximum	Unité	Nombre d'échantillons
HCO ₃ ⁻	6,10	94,55	mg/l	57
Cl ⁻	0,30	33,00	mg/l	148
SO ₄ ⁻⁻	0,00	17,00	mg/l	148
CO ₂	1,50	102,00	mg/l	91
NO ₃ ⁻	0,00	> 132,00	mg/l	148
NO ₂ ⁻	0,00	> 0,66	mg/l	148
Ca ⁺⁺	0,60	157,00	mg/l	148
Na ⁺	0,70	31,50	mg/l	57
Mg ⁺⁺	0,00	16,03	mg/l	148
K ⁺	0,20	7,20	mg/l	148
NH ₄ ⁺	0,00	1,70	mg/l	148
Fe ⁺⁺	0,00	4,40	mg/l	148
Th	0,50	47,90	°F	148
TAC	0,25	7,75	°F	40
Résistivité	430	71 428	ohm/cm	148
pH	5,5	7,8		148

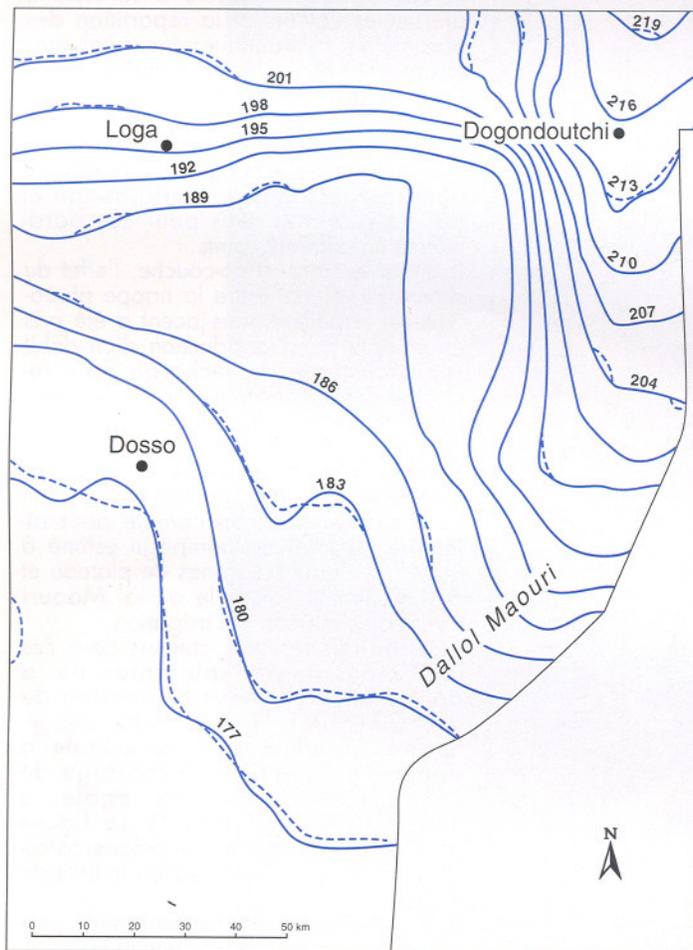


Figure 5. Résultats de la simulation par le modèle mathématique de l'exploitation de la nappe pour l'irrigation de 4 000 hectares, avec une recharge de $1,6 \cdot 10^8 \text{ m}^3/\text{an}$; situation piézométrique à la fin de la période des cultures de contre-saison (trait tireté) par rapport à la situation initiale de 1990 (trait plein).

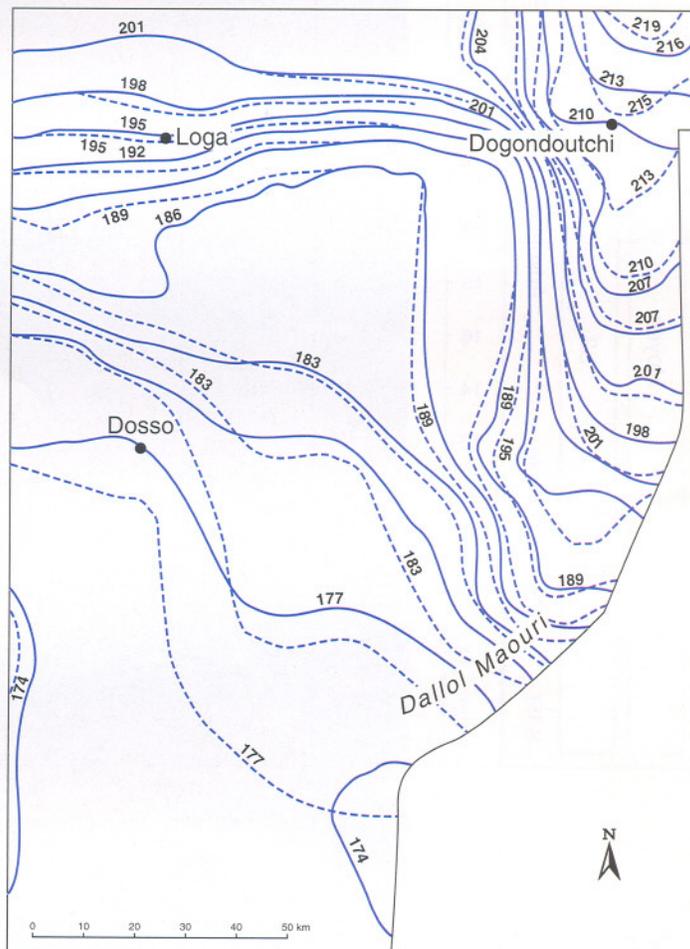


Figure 6. Résultats de la simulation par le modèle mathématique de l'exploitation de la nappe pour l'irrigation de 10 000 hectares dans le dallol Maouri; situation piézométrique après deux saisons culturales (trait plein) par rapport à la situation précédente (4 000 ha, trait tireté).

des terrains à mettre en valeur pendant les années sèches. Il faut, dans ces conditions, installer un plus grand nombre de pluviomètres (ou de pluviographes) dans toute la région afin de mieux suivre les variations dans le temps et dans l'espace de la pluviométrie.

En outre, une (faible) partie de l'eau utilisée pour l'irrigation retournera, par infiltration, à la nappe. La quantification précise de ce volume est très délicate et dépend fortement des conditions d'évapotranspiration durant les périodes d'irrigation. Elle n'a pas fait l'objet de recherches dans le cadre de cette étude. Par conséquent, pour nous placer du côté de la sécurité, aucune recharge de ce type n'a été imposée lors de la modélisation.

L'intensification de l'irrigation pendant plusieurs années consécutives dans la vallée entraînerait une baisse régionale supérieure à 10 mètres de la surface piézométrique de la nappe phréatique et un « assèchement » de certains points d'eau, surtout sur le plateau. Il conviendrait, de ce fait, de multiplier les piézomètres pour mieux surveiller les fluctuations de la nappe. Quelques piézomètres installés au centre du plateau permettraient de bien surveiller ces zones sensibles et d'élaborer un programme optimum de mise en valeur des terres sans pour autant « assécher » d'autres zones.

La connaissance des caractéristiques géologiques et hydrogéologiques de tous les aquifères de la région et de leurs relations devrait permettre la réalisation d'un modèle mathématique multicouche des aquifères de la région qui devrait prendre en compte toutes les interactions entre les différents aquifères. Il permettrait, après calibrage adéquat sur les mesures, une bonne gestion des ressources en eau de la région.

Conclusion

Les couches du Continental terminal au Niger constituent un ensemble hydrogéologique très épais composé de deux grands systèmes multicouches comprenant des aquifères sableux et des aquitards silteux ou argileux. De nombreuses données provenant de forages, de diagraphies et de campagnes géophysiques ont été collectées, auxquelles s'ajoutent les résultats de sondages électriques réalisés en supplément. De ces informations, une interprétation hydrogéologique a pu être tirée, concluant à la possibilité d'intensifier l'exhaure de l'aquifère supérieur pour irriguer les cul-

tures de contre-saison. Cette éventualité a été ensuite étudiée avec plus de précision en envisageant les aspects qualitatifs et quantitatifs. L'étude hydrochimique a conclu à la parfaite faisabilité du projet vu la très faible minéralisation des eaux rencontrées dans cet aquifère supérieur. Le modèle mathématique quantitatif régional simulant les écoulements dans cet aquifère a permis de conclure que l'irrigation de surfaces supérieures à 4 000 hectares dans le dallol Maouri risquerait de provoquer une surexploitation de l'aquifère. Il faut donc être prudent dans son exploitation quantitative et des dispositifs supplémentaires de mesure et de surveillance sont, dans tous les cas, requis ■

Remerciements

Les auteurs remercient tout particulièrement les professeurs A. Monjoie (Université de Liège), P. Schroeter (Assistance technique Suisse auprès du ministère de l'Hydraulique et de l'Environnement du Niger et à l'Université de Niamey) et S. Dautrebande (Faculté des Sciences agronomiques de Gembloux) qui ont permis, par leur aide et leurs conseils, de mener à bien cette étude.

Résumé

La sécheresse sévissant au Sahel a provoqué un déficit agricole endémique et une crise alimentaire. Une des solutions préconisées par la population et certains organismes internationaux (FAO, Banque mondiale...) est, dans la mesure du possible, la pratique de cultures irriguées de contre-saison. Par conséquent, une étude rigoureuse des ressources en eau et des quantités nécessaires, actuelles et futures doit être menée. Les aspects quantitatifs et qualitatifs sont à considérer.

Après une brève synthèse des conditions géographiques, climatiques, géologiques et hydrogéologiques prévalant dans le département de Dosso (Niger), les caractéristiques hydrochimiques et la capacité du système aquifère supérieur du continental terminal, en y incluant les aquifères alluviaux des dallols, sont étudiées et décrites. L'irrigation intensifiée dans les vallées (du fait de la croissance démographique) a été prise en compte dans l'élaboration d'un modèle mathématique simulant l'évolution piézométrique des aquifères supérieurs en fonction de ces nouvelles contraintes.

Summary

The drought in the Sahel has resulted both in endemic agricultural deficit and food crisis. One of the solution recommended by the population concerned and by international organisations (FAO, World Bank, etc.) when and where the situation allows, is out-of-season irrigated farming. A thorough survey of present water resources, and present and future requirements, taking quantitative and qualitative aspects into account, is thus required.

The paper begins with a brief summary of the geographical, climatic, geological and hydrogeological conditions in the department of Dosso (Niger). Following this, the hydrochemical characteristics and capacity of the Continental terminal's upper aquiferous system (including the dallols alluvial aquifers) are described. Taking intensified irrigation in the valleys resulting from population growth into account, a mathematical model was drafted, simulating the piezometric patterns of upper aquifers according to these new constraints.