



# Sustainability of Water

## Resources under

# Increasing Uncertainty

Edited by

DAN ROSBJERG

*Department of Hydrodynamics and Water Resources,  
Technical University of Denmark, Lyngby, Denmark*

NOUR-EDDINE BOUTAYEB

*INGEMA, Agdal, Rabat, Morocco*

ALAN GUSTARD

*Institute of Hydrology, Wallingford, UK*

ZBIGNIEW W. KUNDZEWICZ

*Research Centre of Agricultural and Forest Environment,  
Polish Academy of Sciences, Poznan, Poland*

PETER F. RASMUSSEN

*IMRS-Eau, University of Quebec, Quebec, Canada*

Proceedings of an international symposium (Symposium S1) held during the Fifth Scientific Assembly of the International Association of Hydrological Sciences (IAHS) at Rabat, Morocco, from 23 April to 3 May 1997. This symposium was jointly convened by the IAHS International Commissions on Water Resources Systems (ICWRS); Surface Water (ICSW); and Groundwater (ICGW). The symposium was sponsored by the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), the World Meteorological Organization and the Moroccan Water Resources Association. UNESCO provided financial sponsorship for this publication within the framework of the International Hydrological Programme under Project 4.1.

*CTI Engineering Co. Ltd, Tokyo, provided financial sponsorship for this publication*

IAHS Publication no. 240  
in the IAHS Series of Proceedings and Reports



010014861

## Fluctuations piézométriques et évolution du couvert végétal en zone sahélienne (sud-ouest du Niger)

CHRISTIAN LEDUC & MAUD LOIREAU  
ORSTOM, BP 5045, F-34012 Montpellier cedex, France

**Résumé** La zone étudiée, proche de Niamey (sud-ouest du Niger) est caractérisée de l'environnement sahélien. La nappe phréatique, après avoir baissé durant les sécheresses des années 1970 et 1980, remonte depuis une dizaine d'années. Les niveaux récents sont comparables, voire supérieurs, à ceux des années 1960, alors que cette période était plus humide qu'actuellement. La hausse récente ne peut être expliquée que par la combinaison d'un retour de meilleures conditions pluviométriques et de l'anthropisation du milieu. En effet, depuis 1950, l'emprise de l'homme s'est considérablement accrue (forte croissance démographique, conséquences des sécheresses sévères des années 1970 et 1980): les surfaces cultivées ou laissées en jachère couvrent ainsi passivement de redistribution de l'eau de pluie à la surface et dans le sous-sol et donc de la recharge de la nappe.

## LE MILIEU NATUREL

La zone détaillée dans cet article est un carré d'environ 25 km de côté, situé à 60 km à l'est de Niamey. Les informations acquises en dehors de cette zone confirment la validité de l'analyse sur l'ensemble du degré carré de Niamey (2.3°E et 13-14°N). A plus vaste échelle, les grands mécanismes en cause (fluctuation climatique, pression de l'homme sur le milieu) sont des traits constants dans tout le Sahel.

Les terrains affleurant dans la région à l'ouest de Niamey appartiennent à un vaste épannage quasi-horizontale sablo-limoneux du Continental Terminal armé par des niveaux grésifiés ou latéritiques et couronné par un plateau cuirassé. Le plus important exemple de l'érosion qui a entamé cette série sédimentaire néogène est le dallo Bosso, vallée de kilomètres et bordée de falaises verticales hautes de plusieurs dizaines de mètres. Les autres vallées fossiles, de bien moindre ampleur et au tracé beaucoup plus sinueux. Les été partiellement comblées par des dépôts sableux éoliens des différentes périodes arides du Quaternaire. Entre le plateau latéritique résiduel et les bas-fonds de vallée s'étaient des glaciers sableux.

Comme partout au Sahel, la pluviosité est caractérisée par une très forte variabilité spatio-temporelle. Ainsi, les extrêmes enregistrés à Niamey sont de 281 mm en 1915 et 939 mm en 1909, avec une moyenne de 560 mm pour la période 1905-1995. Sur une saison donnée, les pluies annuelles peuvent varier du simple au double sur une faible distance (30 km en 1991 dans le sud du degré carré de Niamey d'après Taupin *et al.*, 1993). Pour la période 1950-1995 (Fig. 1), les deux périodes de sécheresse ont été 1972-1974 et surtout 1979-1987.

Fonds Documentaire ORSTOM

Box 14861

Ex: 3

MH

81895

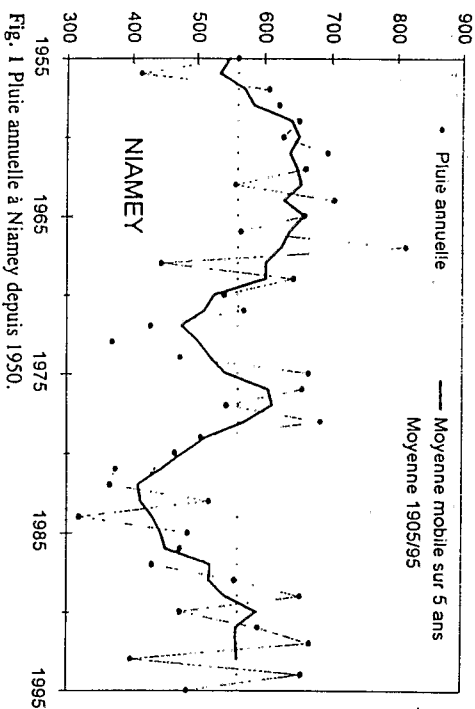


Fig. 1 Pluie annuelle à Niamey depuis 1950.

Dans la région de Niamey, il n'existe aucun cours d'eau permanent en dehors du fleuve Niger et les rares rivières intermittentes significatives se trouvent en rive droite. Notre zone d'étude est constituée d'une multitude de petits bassins endoréiques dont la taille est de l'ordre du km<sup>2</sup>. Le point bas de la plupart de ces unités est généralement constitué par une mare temporaire qui recueille une partie du ruissellement et dont les débordements représentent l'essentiel de l'infiltration vers la nappe phréatique (Descornets, 1994). En dehors de ces mares, il ne semble pas exister d'infiltration directe significative.

Le fonctionnement hydrogéologique de la nappe phréatique du Continental Terminal a déjà été détaillé notamment dans Leduc *et al.* (1996). La variation du niveau de la nappe observé en un point est la conjonction de trois phénomènes: une évolution à long terme d'importance régionale, détaillée plus loin; une fluctuation saisonnière due à l'infiltration durant la saison des pluies et de signification locale; d'éventuelles perturbations ponctuelles provoquées par les pompages.

En 1992, d'après Loireau & d'Herbès (1993), 20% de la zone étudiée est occupé par les plateaux latéritiques, 25% par les champs cultivés (à couvert herbacé plus ou moins dense de 15-80% et couvert ligneux faible de 0-10%) et 55% par les jachères (à couvert ligneux de 5-30% maximum et couvert herbacé plus ou moins dense de 25-80%). La végétation "naturelle" des plateaux cuirassés est organisée en bandes alternées de végétation dense et de sol nu.

## L'ANTHROPISATION DU MILIEU

Le système de culture des agropasteurs de notre région peut se résumer en un sarclage très simple sur des sols sableux et légers et un système de rotation cultures/jachères sur une quinzaine d'années. L'espace agricole concerne d'une part les "champs de case" cultivés chaque année à la périphérie des villages et, d'autre part, les "champs de brousse", eux, régulièrement mis en jachère et laissés au libre pâturage. Dans un tel système,

l'agriculture et l'élevage ne sont pas en concurrence puisque les troupeaux des agropasteurs du Sahel migrent vers le nord pendant la saison des pluies. Cette exploitation traditionnelle, qui s'est poursuivie dans ses grandes lignes jusqu'à nos jours, a cependant subi des perturbations ayant des conséquences directes sur le milieu (Loireau, 1993).

Au Niger, comme partout au Sahel, la croissance démographique annuelle est très forte (environ 4% depuis 1950). Sur la zone rurale étudiée, un recensement exhaustif dans 15 terroirs villageois (soit 24 villages) en 1993 donne une densité de population de 22 habitants km<sup>-2</sup> et une croissance récente double de la moyenne nationale. Ce phénomène a pris une réelle ampleur depuis les dernières sécheresses sévères des années 1970 et 1980. Les pasteurs peuls et bellas, ayant perdu alors un grand nombre d'animaux, ont dû se mettre à l'agriculture et coloniser les terres encore vierges que les agropasteurs zarmas veulent bien leur louer. Elles correspondent pour la plupart à des terres marginales au pied des plateaux cuirassés, difficiles à exploiter. Cette forte croissance démographique se traduit dans le paysage par l'apparition de nouveaux centres d'habitats peuls et bellas, par la multiplication des villages zarmas (trois villages de moins de 30 ans) et le processus de scission des terroirs villageois.

La croissance démographique ne semble pas être accompagnée par une croissance des troupeaux puisque la charge animale sur le site ne semble pas avoir évolué significativement. Deux changements sont importants: d'une part, celui de la composition des troupeaux (les bovins et les ovins diminuent au profit des caprins moins exigeants quant à la qualité des pâturages) et, d'autre part, celui de leur mode de gestion (réduction de la mobilité des troupeaux). Ceci entraîne une augmentation de la charge animale effective sur l'ensemble de l'année. D'après un calcul effectué à partir d'un comptage exhaustif des animaux aux points d'eau au cours des saisons de 1993 à 1995, la charge animale annuelle est de 0,177 UBT (unité de bétail tropical) par hectare.

Le prélèvement en eau pour l'alimentation des hommes et des troupeaux est faible. Une zone centrale de 400 km<sup>2</sup> supporte une charge animale moyenne de 7100 UBT et une population de 8800 habitants. Avec une consommation moyenne de 30 l jour<sup>-1</sup> UBT<sup>-1</sup> et 10 l jour<sup>-1</sup> habitant<sup>-1</sup>, le besoin total annuel est inférieur à 100 000 m<sup>3</sup>, dont une partie provient des eaux de surface stagnantes pendant la saison des pluies. Le pompage dans la nappe phréatique représente donc bien moins de 1% de sa recharge, variant selon les années entre 5 et 10% du total pluviométrique annuel (Leduc & Descornets, 1994), soit de 10<sup>7</sup> à 2 × 10<sup>7</sup> m<sup>3</sup> année<sup>-1</sup>.

## L'EVOLUTION A LONG TERME DE LA NAPPE PHREATIQUE

Au Niger, des observations piézométriques régulières sont réalisées depuis dix ans dans les environs de Niamey: dans une trentaine d'ouvrages avec une périodicité mensuelle depuis 1987 (Leduc *et al.*, 1997), dans 75 puits mesurés tous les 15 jours depuis 1994. Ces mesures complètent celles réalisées dans plus de 200 autres points du degré carré de Niamey avec une périodicité plus lâche. Un tel suivi piézométrique est très rare aussi bien au Niger que dans la plupart des pays sahéliens. Pour les années antérieures, seuls quelques relevés isolés sont disponibles; ils correspondent généralement au niveau observé lors de la formation de l'ouvrage.

Les mesures des dix dernières années montrent une hausse moyenne de la nappe phréatique variant entre 0 et 33 cm année<sup>-1</sup> (médiane de 12 cm année<sup>-1</sup>) obéissant à une



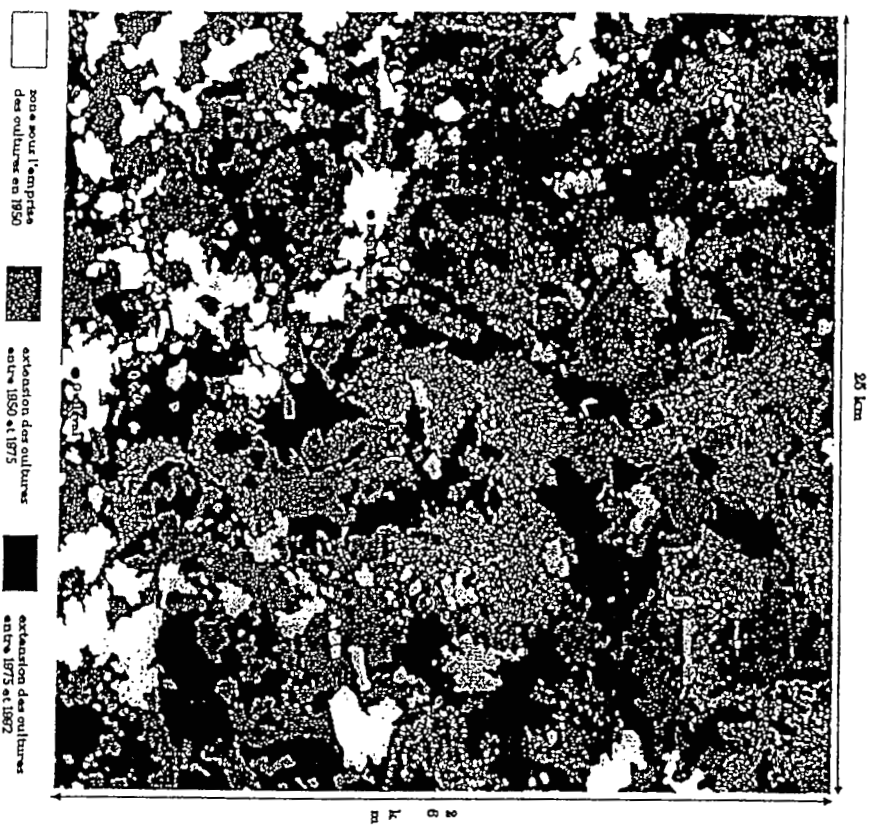


Fig. 4 Extension des cultures en 1950, 1975 et 1992.

la sole tertiaire tend à disparaître au profit de la sole secondaire. Les zones nouvellement défrichées s'organisent à leur tour de la même manière. Une typologie plus fine de ces différentes gestions des terres est en cours de réalisation.

Depuis 50 ans, et surtout depuis une vingtaine d'années, l'espace cultivé est en extension et l'exploitation en est plus intense: la proportion champs/jachères est passée de 50% en 1970 à 75% en 1995 et la durée moyenne de jachère diminue de 15-20 ans en 1950 à 7-8 ans en 1970 et à 3-4 ans en 1995. Cette diminution globale provient essentiellement de la quasi disparition des jachères longues (de 15-30 ans) assimilées à des terres de réserve foncière pouvant être cultivées temporairement par un paysan étranger. La jachère courte n'a pas tellement changé: elle passe de 4-6 ans à 2-4 ans. L'insuffisante régénération des jachères dans le système d'exploitation actuelle ne permet pas une reconstitution totale du stock de matière organique, ce qui accélère l'encroûtement des sols (E. Delabre, communication orale).

## L'IMPACT SUR LES RESSOURCES EN EAU DE L'EVOLUTION DU MILIEU

La modification du couvert végétal a un double impact sur l'évolution des ressources en eau. D'une part, le remplacement de la végétation naturelle par des cultures de mil se traduit par un moindre prélèvement d'eau dans le sol aussi bien durant la période de production que durant la saison sèche (B. Monteny, communication orale). D'autre part, la raréfaction du couvert végétal augmente nettement le ruissellement par la conjonction de plusieurs facteurs:

- augmentation des surfaces fortement encroûtées;
- diminution des obstacles à l'écoulement que constituent les herbes et brindilles mortes; et
- diminution de l'activité faunique (dont les termités) qui créait une macroporosité très propice à l'infiltration dans le sol superficiel

Albergel *et al.* (1992) ont constaté cet accroissement du ruissellement sur plusieurs bassins du nord du Burkina Faso en comparant les mesures de 1956 et 1981 d'après leurs données, le rapport ruissellement/pluie y aurait été multiplié par un facteur de 1.5-2. Pour le sud-ouest du Niger, nous ne disposons pas de mesures anciennes du ruissellement qui aurait permis une comparaison directe. Les mêmes causes doivent produire les mêmes effets dans des milieux aussi proches. L'accroissement du ruissellement se traduit par un plus fort apport aux mares temporaires. Celles-ci comportent une partie inférieure colmatée et une partie supérieure "active" aux parois beaucoup plus favorables à l'infiltration (Descomets, 1994); le gain de recharge vers la nappe phréatique est proportionnellement plus fort que l'augmentation du ruissellement.

Sur notre carré de 25 km de côté, la hausse piézométrique moyenne pour la période 1987-1996 est de 0.15 m année<sup>-1</sup>. En retenant une porosité de 10%, cette hausse correspondrait à une augmentation des réserves de 15 mm année<sup>-1</sup>. Ce chiffre est à rapprocher de celui d'Allison *et al.* (1990) qui, sous le climat assez semblable de l'Australie semi-aride, ont montré que le disparition de la végétation naturelle faisait passer la recharge de la nappe de moins de 0.2 mm année<sup>-1</sup> à des valeurs de 5-30 mm année<sup>-1</sup> dans les zones déboisées.

Nos calculs doivent encore être précisés pour apprécier la variabilité des phénomènes selon les années et les sites. Si ces estimations sont confirmées, la recharge actuelle se répartirait donc entre une masse servant simplement à équilibrer les flux sortants naturels et un complément, moteur de la hausse piézométrique récente, qui représenterait selon nos premières approximations entre le quart et la moitié de l'infiltration totale. Ceci apparaît cohérent avec l'estimation de la recharge à long terme, basée sur les teneurs en tritium (Leduc *et al.*, 1996): les valeurs moyennes d'infiltration ainsi calculées sur les 40 dernières années, intégrant les périodes de sécheresse, sont plus faibles que l'évaluation de recharge proposée pour les années 1990.

## CONCLUSION

Les multiples informations ponctuelles ou plus continues de la région de Niamey nous permettent de mieux décrire et comprendre l'évolution depuis 1950 d'un paysage

typiquement sahélien. Les sécheresses des années 1970 et 1980 ne sont pas la cause unique de la modification du milieu: la pression anthropique s'est surajoutée aux fluctuations climatiques naturelles. La très forte augmentation des zones cultivées se traduit par un changement important du couvert végétal. L'accroissement induit du ruissellement amène de plus grands volumes d'eau dans les mares temporaires et donc une infiltration accrue vers la nappe phréatique. Celle-ci est en hausse nette depuis une dizaine d'années et dépasse les niveaux connus lors des années 1960 qui étaient pourtant beaucoup plus humides qu'actuellement. La dégradation en surface se traduit donc en profondeur par un gonflement des réserves en eau souterraines. Dans un bilan environnemental, il n'est pas sûr que le gain équilibre la perte.

## REFERENCES

- Alberget, J., Casenave, A., Ribstein, P. & Valentin C. (1992) Aridité climatique, aridité édaphique: étude des conditions de l'infiltration en Afrique tropicale sèche. In: *L'Aridité: une Contrainte au Développement*, 123-130. Orstom, coll. Diabétiques.
- Allison, G. B., Cook, P. G., Barnett, S. R., Walker, G. R., Jolly, J. D. & Hughes M. W. (1990) Land clearance and river salinisation in the western Murray basin, Australia. *J. Hydrol.* 119, 1-20.
- Aranjousi, J. F. & Ndiaye, B. (1993) Etude et modélisation de la formation des dépressions piézométriques en Afrique sahélienne. *Rev. Sci. Eau* 6, 81-96.
- Descornets, J. C. (1994) Caractérisation hydrologique de quelques systèmes endoréiques en milieu sahélien (degré carré d'Hérès, Niger). Thèse de doctorat, USTL, Montpellier, France.
- d'Herbès, J. M., Delabre, E. & Loiricau, M. (1995) Bases écologiques pour une spatialisation des données recueillies dans le cadre de l'expérience Hapex-Sahel. In: *Hydrologie et Méétéorologie de Méso-échelle dans Hapex-Sahel*, 181-207. Orstom, Paris.
- Leduc, C. & Descornets, J. C. (1994) Variability of groundwater recharge in the Sahel: piezometric survey of the Continental Terminal aquifer near Niamey (Niger). In: *Faire Face Groundwater Resources at Risk* (Proc. FGR 94 Conf., Helsinki, June 1994), ed. by J. Soveri & T. Suokko, 505-511. IAHS Publ. no. 222.
- Leduc, C., Taujin, J. D. & Le Gal La Salle, C. (1996) Estimation de la recharge de la nappe phréatique du Continental Terminal (Niamey, Niger) à partir des teneurs en tritium. *CR Acad. Sci. Paris, sér. IIa*, 323, 599-605.
- Leduc, C., Bromley, J. & Schroeter, P. (1997) Water table fluctuation and recharge in semiarid climate: some results of the Hapex-Sahel hydrodynamic survey (Niger). *J. Hydrol.* 188, 83-98.
- Loiricau, M. (1993) Dynamique d'un paysage sahélien au Niger, bilan paysagé entre la production primaire et l'utilisation des ressources par les groupes sociaux. Caractérisation de l'espace et des ressources à l'aide de la télédétection spatiale haute résolution. Mémoire de DEA, Université Paul Valéry, Montpellier, France.
- Loiricau, M. & d'Herbès, J. M. (1994) Cartographie des unités d'occupation des terres du super-site central est (Banzoumbou) du programme Hapex-Sahel, Orstom. Xèmes journées hydrologiques, 307-319.
- SEED-CTFT (1991) Projet Energie II - énergie domestique. Schéma directeur d'approvisionnement en bois-énergie de Niamey, Niamey.
- Taujin, J. D., Amari, A. & Lebel, T. (1993) Small scale spatial variability of the annual rainfall in the Sahel. In: *Exchange Processes at the Land Surface for a Range of Time Scales* (Proc. Yokohama Symp., July 1993) (ed. by H. J. Boyle, R. A. Feddes & J. D. Kalma), 593-602. IAHS Publ. no. 212.

