

PARADOXE DE L'EAU DANS LES ZONES DE SOCLE AU NIGER : ENTRE INONDATION ET PENURIE

MALAM ABDOU Moussa⁽¹⁾, MAMADOU Ibrahim⁽¹⁾, ABBA Bachir⁽¹⁾, VANDERVAERE Jean-Pierre⁽²⁾, BOUZOU MOUSSA Ibrahim⁽³⁾ et DESCROIX Luc⁽⁴⁾

1. Département de géographie. Université de Zinder. BP 656 Zinder (Niger).
2. Université de Grenoble Alpes, CNRS, IRD, Grenoble INP, IGE, 38000 Grenoble France
3. Département de géographie. Université de Niamey. BP 418 Niamey (Niger).
4. IRD, UMR PALOC (MNHN), Patrimoines Locaux et Gouvernance, 75231 Paris cedex 05

RESUME

Au Niger, les régions Tillabéry et Zinder, situées respectivement sur les socles du Liptako-Gourma et du Damagaram-Mounio, font souvent « la une » des médias pendant l'hivernage à cause de la fréquence des inondations qui les affectent. Par ailleurs, ces mêmes régions souffrent de graves pénuries d'eau pendant les saisons sèches. Comment expliquer ce paradoxe inondation-pénurie sur un même espace-temps ? Ce travail tente d'expliquer ce paradoxe à travers une analyse des processus hydrodynamiques des sols. Il se base sur les mesures d'infiltration, du ruissellement et sur l'analyse de productivité des forages. Les résultats montrent que les processus hydrodynamiques superficiels influencent significativement le devenir de l'eau en zone de socle. Les valeurs de conductivité hydraulique des sols sont de l'ordre de 10-20 mm.h⁻¹, soit 15-50 % moindres que celles obtenues en zone sédimentaire. Ces faibles valeurs impliquent, d'une part, une forte aptitude des sols au ruissellement. Trois des six états de surface étudiés ont un coefficient de ruissellement de l'ordre de 60 %. D'où le développement d'un important réseau de drainage qui se superpose quasi-parfaitement aux zones d'affleurement et qui prédispose les populations aux inondations. La faible infiltration implique, d'autre part, une recharge limitée qui se manifeste par une faible productivité des forages (0.6 m³.h⁻¹ en moyenne). D'où une pénurie permanente qui a pour conséquences un ralentissement des activités socioéconomiques et une discrimination spatiale d'accès à l'eau. Il est donc important d'accroître la capacité de rétention en eau des sols et des bassins, pour l'heure extrêmement faible.

Mots clés : socle, processus hydrodynamique, inondation, pénurie d'eau, Niger.

ABSTRACT

Water paradox in crystalline basement areas in Niger republic: between flood and water shortage

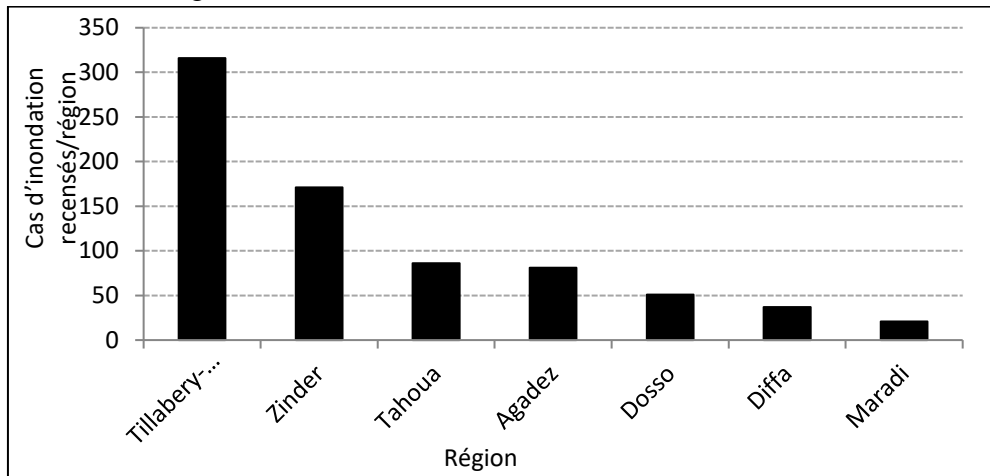
In Niger, Tillabéry and Zinder regions, situated respectively in the crystalline basement areas of Liptako-Gourma and Damagaram-Mounio, go viral on the media during the raining seasons due to the frequency and the number of floods that affect them. In these areas, floods are the second cause of disasters after epidemics. In addition, these same regions suffer from severe water shortage, which is a permanent and very old fact, during dry seasons. How to explain this paradox flood-scarcity on the same space-time? This paper aims at answering this type of question by analyzing the hydrodynamic processes of soils. It focuses on measurements of infiltration, runoff, and productivity of drilling implemented on two sites in crystalline zones of Liptako-Gourma and Damagaram-Mounio. The results show that superficial hydrodynamic processes significantly influence the fate of water in the basement. The hydraulic conductivity values of soils are about 10-20 mm.h⁻¹, that is 15-50 % less than those obtained in sedimentary area. These low values imply, on the one hand, a strong ability of soils to runoff. Three of the six surface features studied have a runoff coefficient of about 60 %. Hence, the development of an important drainage network that is almost perfectly superimposed on outcrop areas and which predispose people to floods. The frequency of exposure of the municipalities located on the outcrop areas varies from 100 % in Gouré to 17 % in Droum. The low infiltration implies, on the other hand, a limited recharge which manifested itself in a low productivity of the drilling; it is about 0.6 m³.h⁻¹ average and an ineffective coverage of people's needs in water. Thus, there is a permanent water shortage which results in a slowdown of socio-economic activities and a spatial discrimination in terms of access to water. It is, therefore, important to increase the water retention capacity of soils and ponds, since this retention is extremely low currently.

Key words: *crystalline basement, hydrodynamic process, flood, water shortage, Niger Republic*

INTRODUCTION

La faible disponibilité des ressources en eau est l'une des caractéristiques connues des zones de socle (Gerard, 1993 ; Abdou-Babayé, 2012 ; Ouandaogo-Yameogo *et al.*, 2013). Celle-ci résulte souvent de la discontinuité des aquifères, du taux d'échec élevé des forages et /ou de la faible productivité de ces derniers (Allé *et al.*, 2015 ; Vouillamoz *et al.*, 2015 ; Abdou-Babayé *et al.*, 2018). Mais, de plus en plus, les zones de socle se caractérisent aussi par la fréquence des inondations (Sighomnou *et al.*, 2013 ; Aich *et al.*, 2014 ; Nka *et al.*, 2015 ; Bouzou Moussa *et al.*, 2016 ; Wilcox *et al.*, 2018) du fait, d'une part, de l'intensification pluviométrique (Panthou *et al.*, 2014 ; Taylor *et al.*, 2017), de la modification des états de surface des sols et, d'autre part, de la nature peu perméable des roches cristallines (Malam Abdou, 2014). La pénurie en eau et l'inondation constituent donc des contraintes liées à l'eau dans les zones de socle. Au Niger, les roches cristallines affleurent grossièrement dans quatre régions naturelles que sont le Liptako-Gourma (Régions de Tillabéry et Niamey), le Damagaram-Mounio (Région de Zinder), l'Aïr-Djado (Région d'Agadez) et le Sud Maradi (Région de Maradi) (Greigert et Pougnet, 1967). Le socle du sud Maradi a une extension spatiale relativement limitée et le socle de l'Aïr-Djado a une densité d'occupation humaine très faible. L'enjeu de la caractérisation des aléas inondations et pénurie est davantage ressenti dans le Liptako-Gourma et le Damagaram-Mounio où ces contraintes font souvent « la une » des médias pendant la saison des pluies. A titre illustratif, les régions de Zinder et Tillabéry-Niamey, situées respectivement dans le Damagaram-Mounio et le Liptako-Gourma, sont les plus inondées du Niger (Figure 1). Dans ces régions, les inondations constituent la deuxième cause des catastrophes après les épidémies et représentent le 1/3 des dommages qui affectent les populations (UNISDR, 2017).

Figure 1 : Nombre d'inondation enregistrée par région entre 1983 et 2013
Niger



Source des données : Bases des données du Bureau des Nations Unies pour la Réduction des Risques des Catastrophes, site : [DesInventar Sendai](#)

Par ailleurs, ces mêmes régions souffrent souvent des graves pénuries d'eau de consommation, et c'est particulièrement pendant la période des grandes chaleurs, entre les mois d'Avril et juin (Mamadou *et al.*, 2016). Dans le Damagaram-Mounio, la pénurie en eau est un problème historique et même mythique. Elle est l'une des raisons avancées par les colonisateurs pour transférer la capitale de la colonie du Niger, qu'était Zinder, à Niamey en 1927. Dans le Liptako-Gourma, la sévérité de la pénurie a valu à Téra, une des villes représentatives de cette formation géologique, d'être qualifiée de « territoire sans eau » (Moussa, 2018). Ainsi, dans toutes les zones d'affleurement de socle, la précarité de l'eau constitue une contrainte supplémentaire au développement parce qu'elle ralentit les activités socio-économiques, voire éducatives. Et, malgré les divers investissements réalisés pour rehausser la production, le problème persiste car la couverture des besoins n'est toujours pas effective du fait de la faible productivité hydrique intrinsèque aux zones cristallines.

Comment expliquer ce paradoxe de l'eau sur un même espace-temps et quelles sont ses conséquences sur la population et sur l'aménagement de territoire ? Ce travail essaie de répondre à ces questions en faisant l'hypothèse que l'inondation et la pénurie d'eau sont principalement contrôlées par les propriétés superficielles des sols. Il vise donc à analyser les processus de redistribution superficielle de l'eau de pluie en zone de socle et leurs conséquences sur la vie des populations.

PARADOXE DE L'EAU DANS LES ZONES DE SOCLE AU NIGER : ENTRE INONDATION ET PENURIE

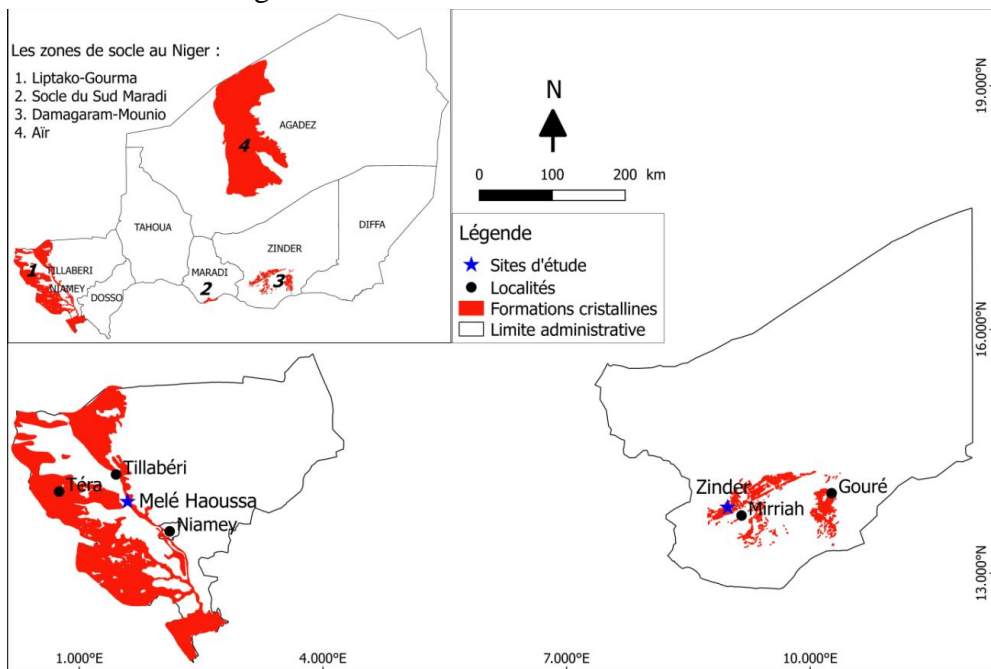
1. APPROCHE METHODOLOGIQUE

1.1. Site d'étude

Ce travail concerne deux des quatre zones d'affleurement de socle au Niger, en l'occurrence le Liptako-Gourma et le Damagaram-Mounio (Figure 2). Ce choix se justifie par l'importance surfacique des affleurements cristallins et par l'enjeu sur le développement que peuvent impliquer les contraintes liées à l'eau.

Pour analyser les processus de redistribution et le devenir de l'eau en zone de socle, deux sites représentatifs ont été échantillonnés dont l'un dans le Liptako-Gourma (site de Melé Haoussa) et l'autre dans le Damagaram-Mounio (Zinder). Sur ces sites, trois variables (infiltration, ruissellement, productivité des forages) ont été mesurées et analysées. Les mesures d'infiltration et de ruissellement ont été effectuées sur les différents états de surface caractéristiques des sites d'étude. Un état de surface correspond à une surface ou un ensemble de surfaces élémentaires ayant un comportement hydrologiquement homogène et qui contrôlent l'hydrodynamique superficielle des sols (Casenave et Valentin, 1992 ; Valentin et Bresson, 1992).

Figure 2 : Situation des sites d'étude dans le Liptako-Gourma et le Damagaram-Mounio



L'analyse des paysages a permis d'identifier six états de surface caractéristiques des sites d'étude que sont la croûte biologique (BIOL), les

croûtes structurales de jachère (ST-jachère), la croûte d'érosion (ERO), les culturales (champ cultivé), les arènes granitiques (Granite) et les surfaces gravillonnaires.

La croûte biologique (BIOL) est une mince pellicule organo-minérale qui se forme suite à l'apport dans le sol des éléments organiques par des micro-organismes photosynthétiques qui colonisent les sols. Sur le terrain, elle est généralement associée aux croûtes structurales (ST) ou à la croûte d'érosion (ERO) (Malam Issa *et al.*, 1999). Les croûtes structurales sont composées d'un ou de plusieurs micro-horizons qui se forment par réarrangement in situ des particules sous l'impact des gouttes de pluies (Valentin et Bresson, 1992). Au stade ultime de leurs évolutions, elles forment la croûte d'érosion (ERO) qui est constituée d'une fine couche minérale, compacte et lisse. Au Sahel, ERO est considérée comme l'un des principaux indicateurs paysagiques de la dégradation des sols à cause de sa très faible perméabilité, à l'inverse des surfaces cultivées (Cult) considérées comme plus poreuses du fait des remaniements qu'elles subissent. Outre ces surfaces, on distingue, les surfaces granitiques (Granite) qui se caractérisent par l'affleurement des dalles granitiques altérées plus ou moins couvertes d'arènes et les surfaces gravillonnaires qui sont constituées des charges graveleuses de diamètre compris entre 4 et 60 mm qui sont plus ou moins cimentées par la terre fine.

1.2. Mesure in situ de l'infiltration, du ruissellement et de la productivité des forages

Les mesures d'infiltration ont été réalisées sur quatre états de surface, BIOL, ERO, ST et champs. La dureté des surfaces granitiques et la rugosité des surfaces gravillonnaires (charges graveleuse) n'ont pas permis d'effectuer les mesures sur ces états de surface. La variable mesurée est la conductivité hydraulique des sols qui caractérise l'aptitude d'un sol à laisser circuler l'eau. C'est une variable omniprésente en sciences du sol et en hydrologie. Elle est déterminée in situ en monodimensionnel à l'aide du dispositif de la tensio-infiltrométrie constitué d'un infiltromètre à disque et des deux tensiomètres. L'infiltromètre à disque est un appareil dont le principe consiste à appliquer un apport d'eau à la surface du sol en lui imposant une succion constante. Il permet de mesurer le flux d'infiltration qui correspond à la hauteur d'eau qui s'infiltré par unité de temps. Chacun des deux tensiomètres est composé d'une bougie poreuse collée à un tube capillaire semi-rigide, lui-même connecté à un capteur de pression. Installés à deux profondeurs z_1 et z_2 ($z_1 \approx 3$ cm et $z_2 \approx 6$ cm), les tensiomètres permettent de suivre l'évolution du potentiel matriciel (h) de l'eau et du gradient hydraulique entre la surface du sol et la profondeur z_1 puis entre z_1 et z_2 . Le potentiel h_0 imposé en surface est de -1 cm. Une description détaillée du dispositif de la tensio-infiltrométrie

PARADOXE DE L'EAU DANS LES ZONES DE SOCLE AU NIGER : ENTRE INONDATION ET PENURIE

et ses principes d'analyse pourra être retrouvée dans Vandervaere *et al.* (1997), Malam Abdou *et al.* (2015).

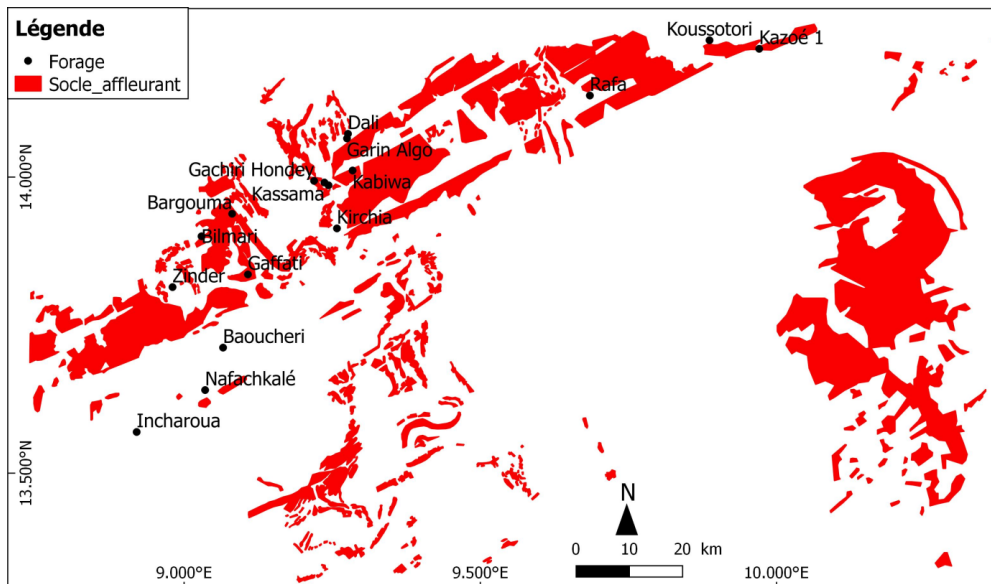
Quant au ruissellement, il est mesuré sur 18 parcelles expérimentales, de 10 m² de superficie chacune, qui ont été installées sur les six états de surface caractéristiques, soit 3 répétitions par type de surface. Le coefficient de ruissellement est ensuite calculé par (Equation 1) :

$$Kr = \frac{Lr}{P} \quad (1)$$

où Lr (mm) est la lame ruisselée et P (mm), la pluviométrie mesurée in situ à l'aide des pluviomètres à lecture directe.

Enfin, des données hydrométriques ont été collectées auprès de la Direction Régionale de l'Hydraulique qui a en charge les mesures et le suivi des forages à l'échelle de la région. Ces données ont été critiquées (conditions et régularité des mesures, absence de lacunes...) puis analysées afin de déterminer la productivité de quelques forages situés dans la zone de socle du Damagaram (Figure 3).

Figure 3 : Localisation des forages analysés dans le Damagaram-Mounio



1.3. Collecte des données sur les dommages liés aux inondations et à la pénurie d'eau.

Au Niger, la collecte et la gestion des données sur les catastrophes sont du ressort du Ministère des Actions Humanitaires et de la Gestion des Catastrophes. Chaque commune dispose d'une équipe permanente de collecte (dénommée Observatoire de suivi de vulnérabilité, OSV) composée d'agents des services techniques (projection civile, agriculture, élevage, hydraulique, météorologie, santé, éducation...). A l'occurrence d'une catastrophe donnée

(inondation, feu de brousse, attaques parasitaires ou acridienne...), dans un lieu donné, l'équipe se déplace pour évaluer in situ les dommages à l'aide d'une fiche harmonisée de collecte des données. Celle-ci renseigne le nombre des personnes affectées par les inondations, les maisons effondrées, les pertes en vies humaines et animales et la superficie des champs inondés par localité après la survenue d'inondations. Les données ainsi collectées peuvent être obtenues sur demande. Dans le cadre de ce travail, nous nous sommes procurées des données sur les dommages liés aux inondations de quelques communes sises sur le socle cristallin du Damagaram-Mounio afin d'analyser leurs ampleurs.

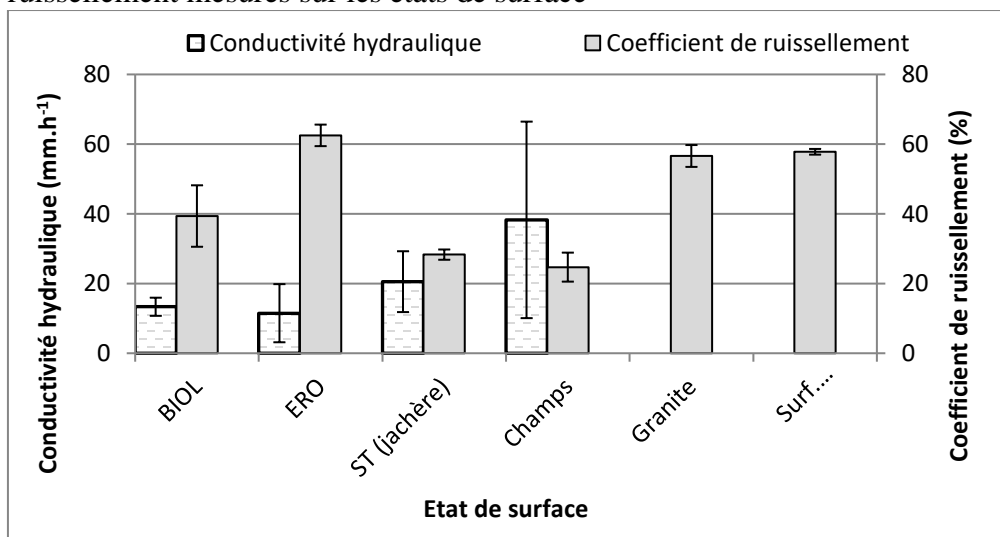
Par ailleurs, des données sur les productions annuelles d'eau potable ont été collectées auprès de la Société d'Exploitation des Eaux du Niger (SEEN). Elles proviennent de 45 forages, réparties dans 4 stations de pompage alimentant la Ville de Zinder.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Processus hydrodynamiques superficiels et leurs rôles sur le devenir de l'eau en zone de socle

La Figure 4 présente les résultats des mesures de conductivité hydraulique et du ruissellement. Cette Figure montre que la conductivité hydraulique des surfaces cultivées est globalement plus élevée que celle des autres états de surface.

Figure 4 : Valeurs de conductivité hydraulique et du coefficient de ruissellement mesurés sur les états de surface



Source des données : mesures de terrain

Les barres d'erreur correspondent à un écart type.

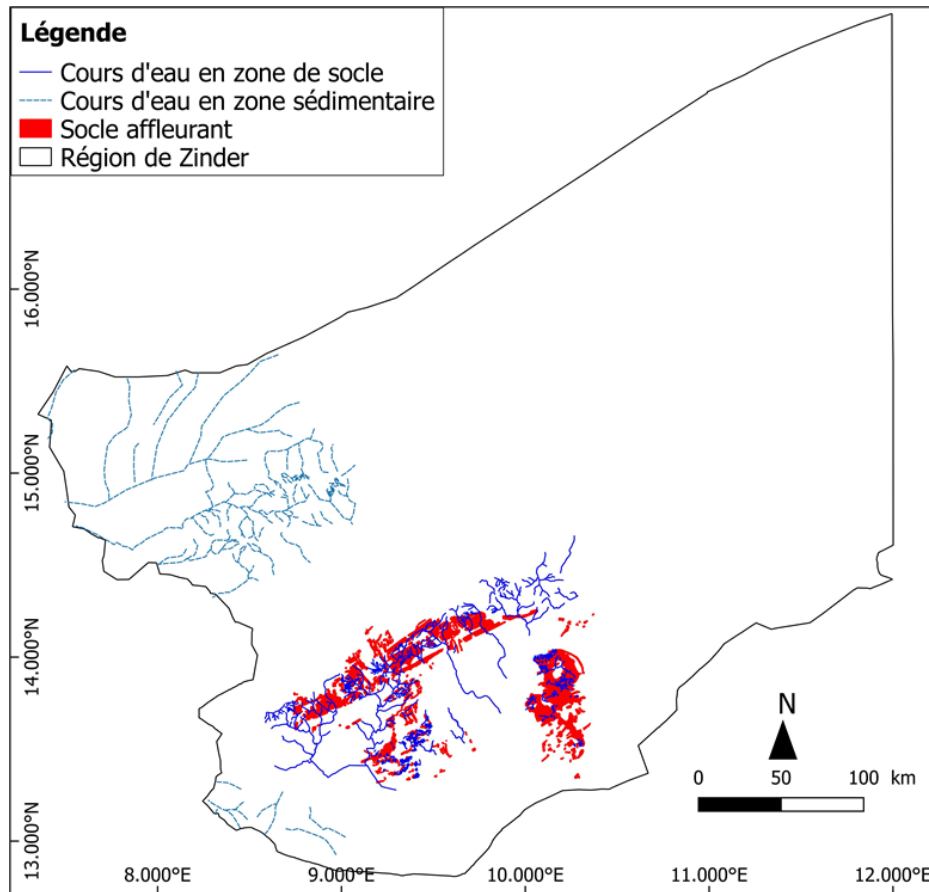
PARADOXE DE L'EAU DANS LES ZONES DE SOCLE AU NIGER : ENTRE INONDATION ET PENURIE

Les valeurs obtenues sur ces états de surface sont de 15 à 15 % moindres à celles obtenues dans les mêmes conditions de mesure et sur les mêmes types de surfaces mais situées en zone sédimentaire (Malam Abdou *et al.*, 2016). Cela met en évidence les faibles taux d'infiltration en zone de socle. Aussi, les valeurs de conductivité hydraulique obtenues sur les états BIOL, ERO et ST atteignent à peine 20 mm.h⁻¹. Ceci a pour conséquence un engorgement rapide des sols qui peuvent se saturer en moins de 5 minutes dès que l'intensité des pluies atteint les 20 mm.h⁻¹ (Malam Abdou, 2014). Cette saturation rapide implique une forte production des ruissellements, comme l'illustre par ailleurs la Figure 4. En effet, selon le principe hortonien de genèse des ruissellements (Horton, 1933), ces derniers se déclenchent dès que l'intensité des pluies dépasse la capacité d'infiltration des sols, assimilée ici à la conductivité hydraulique. Donc, dès que l'intensité des pluies dépasse les 20 mm.h⁻¹, toutes ces surfaces produisent des ruissellements.

La figure 5, montrant la densité du réseau de drainage dans la zone d'affleurement cristallin, permet de déduire la forte aptitude au ruissellement des zones de socle. Les ruissellements se produisent rapidement, en abondance et sont drainés par un important réseau hydrographique qui alimente des nombreux points d'eau de surface d'importance variable.

Cet important drainage qui évacue l'eau loin des zones d'affleurement constitue par ailleurs une source de pénurie. En effet, l'affleurement des roches et leur faible niveau d'altération impliquent une imperméabilité qui se traduit par une faible proportion d'eau qui s'infiltré. Dans la région de Zinder, l'épaisseur des roches cristallines altérées susceptibles de contenir les eaux d'infiltration des pluies est pratiquement nulle. Cette partie altérée constitue rarement une réserve suffisante pour être captée. De ce fait, les faibles stocks d'eau infiltrée se localisent dans des zones fissurées discontinues plus ou moins profondes. La profondeur moyenne des forages échantillonnés est de 72 m (\pm 18) et est comparable à celle rapportée par Ouandaogo-Yameogo *et al.* (2013). La profondeur des forages échantillonnés croît du Sud-Est vers le Nord-Ouest. Les forages de Bilmari et de Kabiwa sont relativement les plus profonds avec 114 et 99 m respectivement.

Figure 5. Superposition du réseau de drainage à la zone d’affleurement du socle

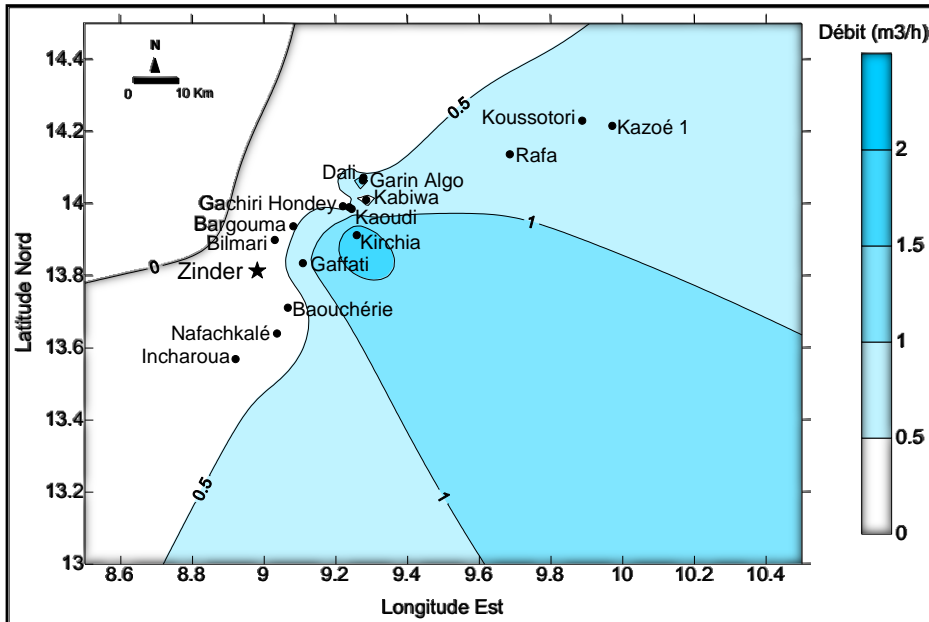


Source : traitement d’image Google Earth 2019.

Malgré ces grandes profondeurs, les débits de production d’eau sont très bas. La Figure 6 montre la gamme des débits mesurés dans les forages échantillonnés. Ces derniers sont inférieurs à $2 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Le débit moyen est de $0.6 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ (± 0.5). Cinquante-six pour cent (56 %) des forages échantillonnés ont un débit inférieur à $0.5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Ces débits sont inférieurs à ceux du Liptako-Gourma où ils varient entre 0.5 et $15 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ (Abdou-Babayé, 2012) du fait de son niveau altération plus avancé que celui du Damagaram-Mounio. Avec de tels débits, la pénurie en eau devient une évidence et une donnée permanente. Aussi, est-il assez fréquent de trouver des forages non ou peu productifs, donc un taux d’échec élevé (débit inférieur à $0.5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$) qui varie entre 20 et 50 % selon la profondeur et la nature des roches dans le Damagaram. Ce taux est de l’ordre de 40 % au Bénin (Vouillamoz *et al.*, 2015).

**PARADOXE DE L'EAU DANS LES ZONES DE SOCLE AU NIGER :
ENTRE INONDATION ET PENURIE**

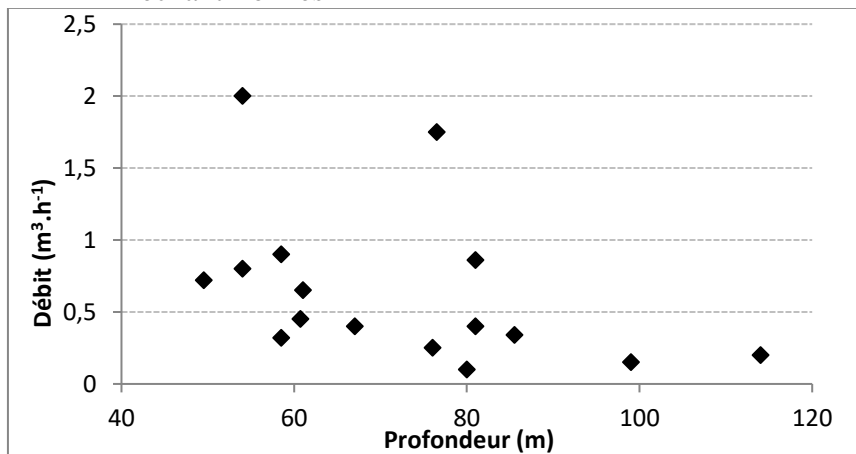
Figure 6. Débit des forages échantillonnés dans la zone cristalline de Damagaram



Source des données : Direction régionale de l'hydraulique de Zinder

L'analyse des débits en fonction de la profondeur des forages échantillonnés met en évidence une tendance décroissante (Figure 7). La productivité diminue avec la profondeur, ce qui est assez cohérent en admettant une décroissance de l'altération de la surface vers la profondeur.

Figure 7 : Décroissance des débits en fonction de la profondeur des forages échantillonnés



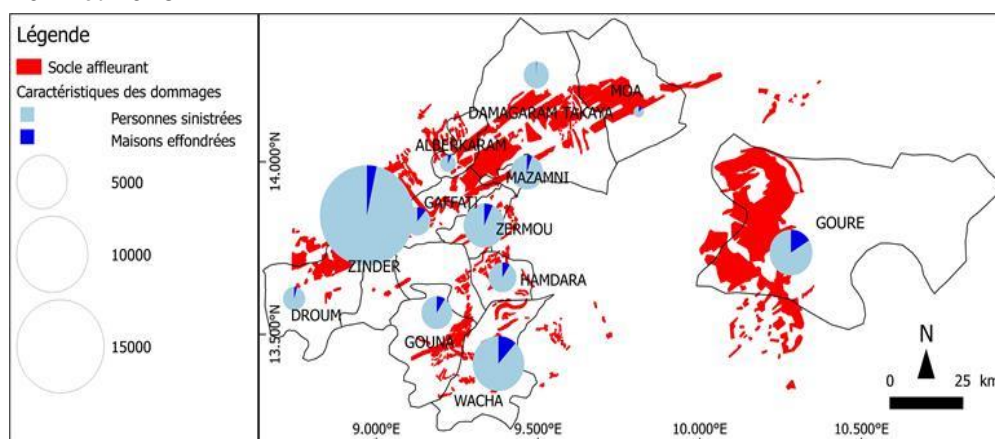
Source des données : Direction régionale de l'hydraulique de Zinder

En somme, les processus hydrodynamiques superficiels des sols ont une forte influence sur le devenir de l'eau en zone de socle. Ces processus déterminent la redistribution des eaux de pluie entre ruissellement et infiltration. Au regard des faibles proportions d'eau qui peuvent s'infiltrer, les zones de socle constituent donc des zones de production et de vidange qui drainent d'importants écoulements ailleurs. Au cours de drainage, les eaux engendrent d'énormes dégâts par inondation et après la saison des pluies, la vidange expose la population à des graves pénuries en eau. Ce paradoxe d'inondation et de pénurie sur un même espace s'explique donc par la partition des eaux de pluie qu'opèrent les processus hydrodynamiques des sols. Les lignes qui suivent décrivent les conséquences de ces aléas sur les populations de quelques communes de la région.

2.2. Dommages liés aux inondations et à la pénurie en eau dans quelques communes situées sur le Damagaram-Mounio

La Figure 8 présente les nombres des personnes sinistrées et des maisons effondrées entre 2012 et 2018 dans quelques communes sises sur les formations cristallines du Damagaram-Mounio.

Figure 8 : Personnes sinistrées et maisons effondrées par commune entre 2012 et 2018



Source des données : Direction Régionale de la Protection Civile de Zinder (Niger)

La Ville de Zinder (composée des cinq communes) est la plus affectées avec près de 17 500 sinistrés. Elle est suivie par les communes de Wacha et de Gouré avec respectivement quelques 5 300 et 3 650 sinistrés. Pour chacune de ces trois entités, le nombre des personnes sinistrées équivaut à au moins 5 % de son effectif de 2012, ce qui n'est pas négligeable. Aussi, les maisons effondrées à cause des inondations sont de l'ordre 700 à Gouré et à Wacha et 600 à Zinder. A ces dommages s'ajoutent les inondations des champs agricoles et même des pertes en vies humaines. Il est ainsi totalisé

PARADOXE DE L'EAU DANS LES ZONES DE SOCLE AU NIGER : ENTRE INONDATION ET PENURIE

plus de 600 ha de cultures englouties et une trentaine de décès entre 2012 et 2018 dont près de 20 pour la seule Ville de Zinder.

La fréquence d'exposition des communes aux inondations n'est pas identique (Tableau I). La commune de Gouré à une fréquence d'exposition de 100 %. Elle est donc affectée chaque année par les inondations. La majorité de communes a une fréquence d'exposition d'un an sur deux et plus. Cela traduit la quasi régularité de l'aléa inondation dans ces communes. Cette fréquence tient, au moins en partie, à leur situation en zone cristalline. Elle peut s'expliquer par ailleurs, par l'intensification récente des phénomènes hydro-climatiques au Sahel d'une manière générale (Panthou *et al.*, 2014 ; Abdou *et al.*, 2016 ; Wilcox *et al.*, 2018) et par l'absence d'un aménagement urbain conséquent. De ce fait, la recrudescence des inondations est observée presque partout dans cette zone (Descroix *et al.*, 2013 ; Aich *et al.*, 2015 ; Nka *et al.*, 2015 ; Bahari Ibrahim *et al.*, 2018), mais son occurrence est davantage enregistrée dans les zones cristallines. Ainsi, cela entraîne des multiples dommages liés à l'excès d'eau mais aussi à la pénurie car les eaux s'infiltrent moins et sont donc drainés vers d'autres horizons.

Tableau I : Fréquence d'exposition des communes aux inondations

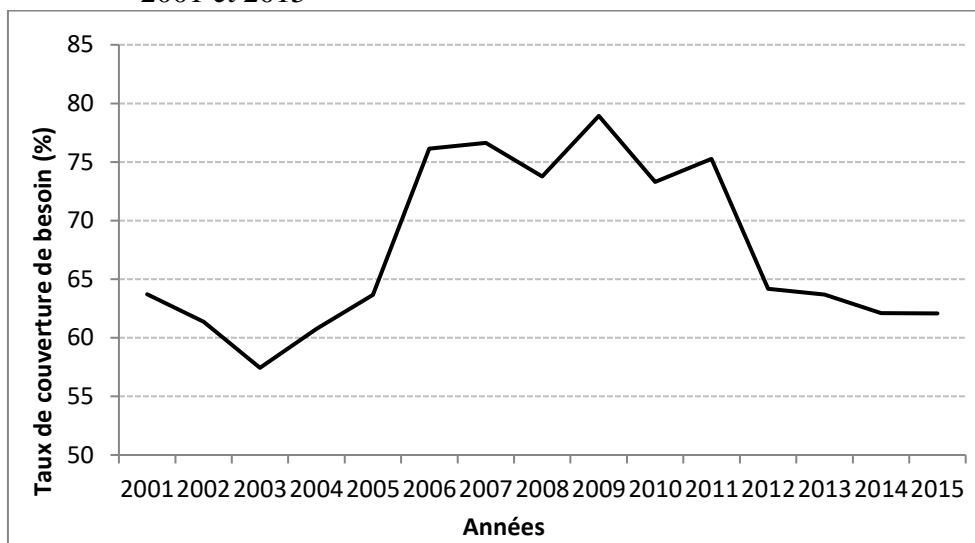
Commune	Fréquence
Alberkaram	33.3
Damagaram Takaya	66.7
Droum	16.7
Gaffati	33.3
Gouna	66.7
Gouré	100.0
Hamdara	50.0
Mazamni	50.0
Moa	33.3
Wacha	83.3
Zermou	33.3
Ville de Zinder	50.0

Source des données : Direction Régionale de la Protection Civile de Zinder (Niger)

2.3. La pénurie d'eau et ses conséquences

La pénurie se manifeste par la couverture non effective des besoins en eau. Pour mettre cela en évidence, nous avons exploité les données sur le taux de couverture annuels de besoins en eau de la Ville de Zinder où la pénurie est une donnée quotidienne. La Figure 9 présente l'évolution de la couverture des besoins en eau de la Ville entre 2001 et 2015, pour un besoin journalier de 50 litres par habitant.

Figure 9 : Evolution du taux de couverture des besoins en eau à Zinder entre 2001 et 2015

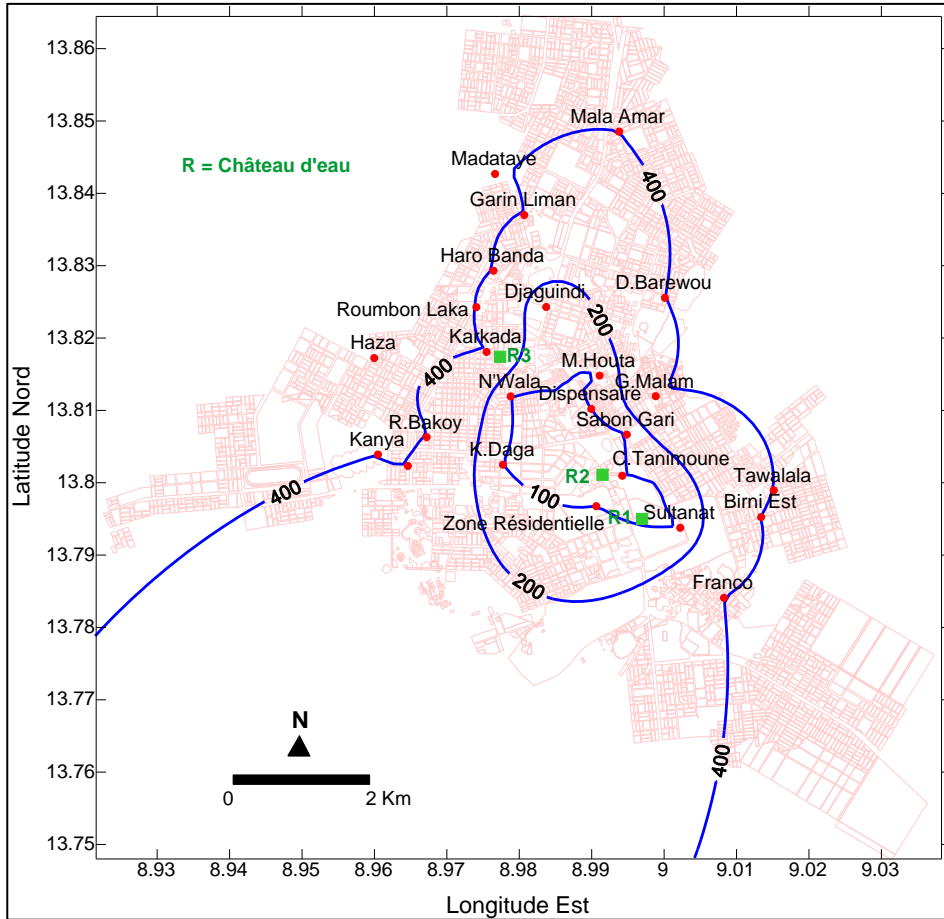


Source des données : Société d'exploitation des eaux du Niger (SEEN)

Les taux de couverture varient, d'une manière générale entre 50 et 80 %. Durant cette période, les couvertures maximales ont été atteintes entre 2005 et 2011 grâce à la mise en place de la station de pompage de Aroungouza en 2005. Mais la hausse de la production d'eau est aussitôt compensée par l'augmentation de la population, d'où une décroissance du taux de couverture à partir de 2012. Toutefois, la mise en place d'une nouvelle station de pompage (Station de Ganaram) en 2016 a, de nouveau, significativement amélioré ces taux. Il est au moins de l'ordre de 80 % ces deux dernières années. Néanmoins, la pénurie persiste toujours avec parfois une grande sévérité entre les mois d'Avril et de juin qui correspondent aux mois des grandes chaleurs. Cela est précédemment montré par Mamadou et al. (2016). Durant la forte pénurie, les quartiers périphériques sont les plus affectés. La Figure10 présente la variation spatiale du prix d'un bidon d'eau de 20 litres par quartiers de la Ville.

PARADOXE DE L'EAU DANS LES ZONES DE SOCLE AU NIGER : ENTRE INONDATION ET PENURIE

Figure 10 : Variation du prix (FCFA) d'un bidon d'eau de 20 litres dans la Ville de Zinder durant les pénuries



Source : Enquête de terrain de 2015. NB. 1 FCFA = 0.0015 € = 0.0016 \$ US

Il apparaît ainsi que les résidents des quartiers comme Mala Amar, Kanya, Tawalala, Franco et d'autres situés à la périphérie payent l'eau plus cher que ceux des quartiers centraux et ou proche des châteaux d'eau comme Sultanat, Camp Tanimoune, Sabon Gari, Djaguindi. Cela met en évidence une « discrimination spatiale » dans l'accès à l'eau et qui est parfois aggravée par la topographie car plus l'altitude est élevée, plus le débit de desserte est faible.

Le déficit d'accès à l'eau a plusieurs conséquences dont, entre autres, un ralentissement des activités socio-économiques, une difficulté d'assainissement mais aussi, un sentiment grandissant d'accusation envers les gestionnaires de l'eau. A Zinder, cela s'est traduit par des émeutes qui ont engendré d'énormes dégâts sur les infrastructures de la Ville en 2015 (Mamadou *et al.*, 2016).

Par ailleurs, la pénurie d'eau résultant des conditions géologiques cristallines sévit également dans la majorité des communes échantillonnées. Dans la Ville de Zinder comme dans ces communes, celle-ci peut être liée à plusieurs facteurs certes (démographie, conditions climatiques, etc.) mais elle est engendrée avant tout par le contexte géologique cristallin peu perméable ne disposant que de quelques réservoirs discontinus.

CONCLUSION

En zone cristalline, l'infiltration de l'eau est généralement limitée par le socle affleurant. Ainsi, ce travail a montré que les conductivités hydrauliques des états de surface explorés varient en moyenne entre 10 et 20 mm.h⁻¹. Cela implique une forte production des ruissellements. Les coefficients de ruissellement moyens des trois états de surface caractéristiques sont de l'ordre de 60 % et montrent, si besoin est, l'aptitude au ruissellement de ces zones. Cette dernière se manifeste par un important réseau de drainage qui se superpose aux zones d'affleurement. Elle prédispose, premièrement, les localités sises dans ces zones à des graves inondations et les dommages qui leurs associés. L'analyse des dommages (nombre des personnes sinistrées, nombre des maisons effondrées) enregistrés entre 2012 et 2018 dans quelques communes de la Région de Zinder où le socle affleure a permis de montrer l'ampleur du phénomène. Quatre-vingt-onze pour cent (91 %) de ces communes ont une fréquence d'exposition d'au moins un an sur trois. Ensuite, l'important drainage expose la population à une sévère pénurie en eau. Du fait de la faible disponibilité des réserves en eau souterraine, les débits de production sont faibles, de l'ordre de 0.6 m³.h⁻¹. La faible productivité intrinsèque des zones cristallines implique la non effectivité de couverture des besoins, comme c'est souvent le cas pour la Ville de Zinder où se développe une discrimination spatiale d'accès à l'eau ayant pour conséquence un ralentissement des activités socioéconomiques notamment. Ainsi, les zones cristallines produisent abondamment de l'eau qui est souvent peu utilisée. La multiplication des ouvrages de retenue d'eau contribuerait sans doute à écrêter les débits, réduire les inondations mais aussi permettre un développement des activités agricoles autour des plans d'eau retenue. Cela nécessite un véritable plan d'aménagement et de gestion des ressources en eau devant se réaliser par la mobilisation et la maîtrise des eaux de surface.

Remerciements

Les auteurs remercient vivement le Secrétariat Permanent Régional du Comité de Prévention et de Gestion des Catastrophes ainsi que les Directions Régionales de l'Hydraulique et de la SEEN de Zinder pour leurs disponibilités et leurs franches collaborations.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ABDOU (H.), MAMADOU (I.), MALAM ABDOU (M.), MOUSTAPHA (M. S.), ALOU (Y.), 2016. « Stratégies de gestion des risques d'inondation dans la Ville de Zinder au Niger ». In *Les Sciences humaines et le défi du développement en Afrique de l'Ouest : Adaptations, Résiliences et Perspectives*. Vol. 2. Niamey (Niger), Edition Gashingo/IRSH, pp. 129- 150.

ABDOU-BABAYÉ (M. S.), 2012. *Evaluation des ressources en eau souterraine dans le bassin de Dargol (Liptako - Niger)*. Liège, Université de Liège, 244 p.

ABDOU-BABAYE (M.-S.), ORBAN (P.), OUSMANE (B.), FAVREAU (G.), BROUYÈRE (S.), DASSARGUES (A.), 2018. « Characterization of recharge mechanisms in a Precambrian basement aquifer in semi-arid south-west Niger», *Hydrogeology Journal*. DOI 10.1007/s10040-018-1799-x. 17 p.

AICH (V.), KONÉ (B.), HATTERMANN (F.), MÜLLER (E. N.), 2014. «Floods in the Niger basin; analysis and attribution », *Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions*, Vol. 2, N°8, pp. 5171- 5212.

AICH (V.), LIERSCH (S.), VETTER (T.), ANDERSSON (J. C. M.), MÜLLER (E. N.), HATTERMANN (F. F.), 2015. «Climate or Land Use? Attribution of Changes in River Flooding in the Sahel Zone », in *Water*, Vol. 7, N°6, pp. 2796- 2820.

ALLÉ (C.), DESCLOITRES (M.), VOUILLAMOZ (J.-M.), YALO (N.), LAWSON (F. M. A.), ADIHOUCHE (C.), 2015. « Caractérisation des aquifères de socle par la résistivité électrique. Pratique de l'implantation des forages et perspectives d'amélioration au Bénin ». In: *Aquifères de socle : le point sur les concepts et les applications opérationnelles*. La Roche-sur-Yon, Association Internationale des Hydrogéologues.

BAHARI IBRAHIM (M.), BOUZOU MOUSSA (I.), FARAN MAIGA (O.), 2018. « Évolution des caractéristiques pluviométriques et recrudescence des inondations dans les localités riveraines du fleuve Niger », in *Vertigo* - la revue électronique en sciences de l'environnement. <http://journals.openedition.org/vertigo/19891>

BOUZOU MOUSSA (I.), BAHARI IBRAHIM (M.), FARAN MAIGA (O.), ISSAKA (H.), ABDOU ALOU (A.), LONA (I.), BONTIANTI (A.), MAMADOU (I.), ABDOULAYE (A.), DESCROIX (L.), DIEDHIOU (A.), ALIKO (M.), 2016. « Changement climatique, géomorphologie et inondabilité de la plaine alluviale du fleuve Niger à Niamey (Niger) », in *Revue du CAMES*, N°007, pp. 299- 314.

BRGM., 1987. *Actualisation de l'atlas des eaux souterraines du Niger*.

Orléans, BRGM.

CASENAVE (A.), VALENTIN (C.), 1992. « A runoff capability classification system based on surface features criteria in semi-arid areas of West Africa », *Journal of Hydrology*, Vol.130, N°1-4, pp. 231-249.

DESCROIX (L.), DIONGUE NIANG (A.), DACOSTA (H.), PANTHOU (G.), QUANTIN (G.), DIEDHIOU (A.), 2013. « Évolution des pluies de cumul élevé et recrudescence des crues depuis 1951 dans le bassin du Niger Moyen (Sahel) », in *Climatologie*, Vol. 10, pp. 37-50.

GERARD (P.), 1993. *Techniques isotopiques (15-N, 18-O) appliquées à l'étude des nappes des altérites et du socle fracturé de l'Ouest africain. Etude de cas : l'ouest du Niger*. Montréal, Université du Québec À Montréal, 141 p. <http://bibvir.uqac.ca/theses/1486981/1486981.pdf>

GREIGERT (J.), POUUNET (R.), 1967. *Essai de description des formations géologiques de la République du Niger*. Paris, 273 p.

HORTON (R. E.), 1933. « The Role of infiltration in the hydrologic cycle », *Transactions, American Geophysical Union*, Vol.14, N°1, 446.

MALAM ABDOU (M.), 2014. *Etats de surface et fonctionnement hydrodynamique multi-échelles des bassins sahéliens ; études expérimentales en zones cristalline et sédimentaire*. Grenoble, Thèse de l'Université de Grenoble 1 et de l'Université de Niamey, 268 p.

MALAM ABDOU (M.), VANDERVAERE (J. P.), DESCROIX (L.), BOUZOU MOUSSA (I.), FARAN MAIGA (O.), ABDOU (S.), BODO SEYNI (B.), OUSSEINI DAOUDA (M. L.), 2015. « Evolution de la conductivité hydraulique d'un sol sableux cultivé dans l'Ouest du Niger », *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, Vol. 19, N°3, pp. 270-280.

MALAM ABDOU (M.), VANDERVAERE (J.-P.), BOUZOU-MOUSSA (I.), DESCROIX (L.), MAMADOU (I.), FARAN-MAIGA (O.), 2016, « Genèse des écoulements sur deux petits bassins versants cristallins de l'Ouest du Niger : approche multi-échelles du fonctionnement hydrodynamique », *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, Vol.22, N°4, pp. 363-375.

MALAM ISSA (O.), TRICHET (J.), DÉFARGE (C.), COUTÉ (A.), VALENTIN (C.), 1999. « Morphology and microstructure of microbiotic soil crusts on a tiger bush sequence (Niger, Sahel) » (C. Valentin & J. Poesen, Éd.), *Catena*, Vol.37, N°1-2, 175-196.

MAMADOU (I.), MALAM ABDOU (M.), MOUSSA ISSAKA (A.),

**PARADOXE DE L'EAU DANS LES ZONES DE SOCLE AU NIGER :
ENTRE INONDATION ET PENURIE**

BAHARI IBRAHIM (M.), IDI (M.), ISSALEY (N. A.), ABBA (B.), ABDOURAHAMANE TOURE (A.), ILLO (S.), WAZIRI MATO (M.), BOUZOU MOUSSA (I.), DESCROIX (L.), 2016. « Difficultés d'accès à l'eau potable dans la ville de Zinder, Niger: causes, conséquences et perspectives », *Afrique Science*, Vol.12, N°4, pp. 99-112.

MOUSSA (Y.), 2018. *Précarité hydrique et développement local dans la commune urbaine de Téra, Niger*. Toulouse, Université de Toulouse 2, 446 p. <http://www.theses.fr/s156859>

NKA (B. N.), OUDIN (L.), KARAMBIRI (H.), PATUREL (J.-E.), RIBSTEIN (P.), 2015. « Trends in floods in West Africa : analysis based on 11 catchments in the region », *Hydrology and Earth System Sciences*, Vol.19, N°11, pp. 4707-4719.

OUANDAOGO-YAMEOGO (S.), BLAVOUX (B.), NIKIEMA (J.), SAVADOGO (A. N.), 2013. « Caractérisation du fonctionnement des aquifères de socle dans la région de Ouagadougou à partir d'une étude de la qualité chimique des eaux », in *Revue des sciences de l'eau*, Vol. 26, N°3, 173.

PANTHOU (G.), VISCHEL (T.), LEBEL (T.), 2014. « Recent trends in the regime of extreme rainfall in the Central Sahel », *International Journal of Climatology*, Vol.34, 3998-4006.

SIGHOMNOU (D.), DESCROIX (L.), GENTHON (P.), MAHÉ (G.), BOUZOU MOUSSA (I.), GAUTIER (E.), *et al.*, 2013. « La crue de 2012 à Niamey : un paroxysme du paradoxe du Sahel ? », in *Science et changements planétaires / Sécheresse*, Vol.24, N°1, pp. 3-13.

TAYLOR (C. M.), BELUŠIĆ (D.), GUICHARD (F.), PARKER (D. J.), VISCHEL (T.), BOCK (O.), HARRIS (P.), JANICOT (S.), KLEIN (C.), PANTHOU (G.), 2017. « Frequency of extreme Sahelian storms tripled since 1982 in satellite observations », in *Nature*, Vol. 544, N°7651, pp. 475-478.

UNISDR, 2017. « Des Consultar - Charts / Query Module », <http://www.desinventar.net/DesInventar/main.jsp?countrycode=ner&lang=FR>

VALENTIN (C.), BRESSON (L.-M.), 1992. « Morphology, genesis and classification of surface crusts in loamy and sandy soils », in *Geoderma*, Vol. 55, N°3-4, pp. 225-245.

VANDERVAERE (J. P.), PEUGEOT (C.), VAUCLIN (M.), ANGULO JARAMILLO (R.), LEBEL (T.), 1997. « Estimating hydraulic conductivity of crusted soils using disc infiltrometers and minitensiometers », in *Journal of Hydrology*, Vol.188-189, N°0, pp. 203-223.

VOUILLAMOZ (J.-M.), TOSSA (A.-Y.-A.), CHATENOUX (B.), KPEGLI (K.-A.-R.), 2015. « Propriétés des aquifères de socle du Bénin: analyse multi-variables et multi-échelles des paramètres de contrôle », in *Aquifères de socle : le point sur les concepts et les applications opérationnelles*. La Roche-sur-Yon, Association Internationale des Hydrogéologues.

WILCOX (C.), VISCHEL (T.), PANTHOU (G.), BODIAN (A.), BLANCHET (J.), DESCROIX (L.), QUANTIN (G.), CASSE (C.), TANIMOUN (B.), KONE (S.), 2018. « Trends in hydrological extremes in the Senegal and Niger Rivers », in *Journal of Hydrology*, Vol. 566, pp. 531-545.