

HAUSSE DES ÉCOULEMENTS SUR LE BASSIN VERSANT DE DARGOL : ENTRE FACTEURS ANTHROPIQUES ET CLIMATIQUES

MALAM ABDOU Moussa

Département de Géographie, Université de Zinder, BP 656, Zinder Niger

E-mail : moussa.malamabdou@gmail.com

RESUME

Plusieurs travaux ont récemment mis en évidence une hausse des écoulements des rivières sahéliennes qui s'est produite durant la période des sécheresses. Cette inadéquation (sécheresses et hausse des écoulements) constitue un écueil hydrologique important dont l'origine est liée tantôt au climat, tantôt à l'homme. Ce travail a pour objectif d'appréhender la part respective de l'homme et du climat dans la hausse des écoulements à travers une étude de cas sur le bassin de Dargol, un des principaux affluents sahéliens du fleuve Niger. La corrélation des données pluviométriques et hydrométriques des 60 dernières années et la dynamique d'occupation des sols du bassin ont permis de dégager, suivant un ordre chronologique, l'influence prépondérante des actions anthropiques et climatiques dans l'augmentation des écoulements. La tendance à la hausse a connu deux ruptures positives intervenues respectivement en 1985 et 1995. Entre ces deux dates, les écoulements ont augmenté de 95 % par rapport à ceux d'avant 1985. Cette hausse, observée durant les sécheresses, coïncide avec une forte tendance à l'augmentation des surfaces nues encroûtées et à la baisse du couvert végétal liée aux actions anthropiques sur le bassin (mise en culture et déboisement). Après 1995, les écoulements ont de nouveau enregistré une augmentation de l'ordre de 75 % par rapport à ceux observés entre 1985 et 1995. Ils sont fortement corrélés à l'amélioration de la pluviosité et à l'intensification de l'agressivité climatique. Ainsi, les hausses sont respectivement liées à l'homme puis au climat.

Mots clés : écoulement, occupation des sols, variabilité climatique, Dargol, Niger

ABSTRACT

Rise of flows on the Dargol catchment: between human and climatic factors

Recent works highlighted an increase in stream flows of Sahelian rivers during the dry period 1968-1995. This inconsistency (drought and increase in runoff) constitutes a main scientific challenge; it originates from Human and Climatic factors. This paper aims to propose to determine the respective part of Human and Climatic factors in the increase in runoff; this will be carried out through the Dargol river basin, one of the main Sahelian tributaries of Niger River. The statistical analysis of hydrometric and rainfall data in the last 60 years and the land use evolution in the basin allowed us to determine a time evolution with firstly human factors and then natural ones (climatic) to explain the increase in discharges. The increasing trend showed two positive breaks respectively in 1985 and 1995. During the 1985-1995 period, stream flows increased by 95% compared with the previous period (1957-1984). This rise, observed during the dry period that affected West Africa after 1967, is consistent with a large increase in bare and crusted soils areas and the reduction of vegetation cover linked with human actions in the Dargol basin (extension of cropping, deforestation), and thus can be correlated with the basin anthropisation. After 1995, discharges strongly increased again, by 75% compared to the 1985-1995 period, being then correlated with the rise in rainfall and climate aggressiveness intensification. It can be summarized that the increase in stream flows is respectively linked to human activities, and then to climate evolution.

Keywords: runoff, land use, climatic variability, Dargol, Niger.

INTRODUCTION

Entre les années 1970 et 1990, l'espace sahélien a subi une phase de sécheresses inégalées dans le monde (Dai *et al.*, 2004). Paradoxalement, au cours de la même période, des études ont rapporté qu'on avait assisté à une augmentation des écoulements des cours d'eau sahéliens (Albergel, 1987 ; Mahé *et al.*, 2003 ; Mahé *et al.*, 2005 ; Mahé et Paturel, 2009 ; Amogu *et al.*, 2010, Descroix *et al.*, 2011). Les travaux pionniers de Albergel (1987) effectués au Burkina Faso ont été les premiers à mettre en évidence une hausse des écoulements des rivières pendant les sécheresses des années 1970 à 1990. Ce constat fut par la suite étendu à l'ensemble de la zone d'Afrique de l'Ouest sahélo-saharienne puis sahélo-soudanienne. Ce phénomène hydrologique, connu sous le nom du « paradoxe du Sahel », constitue depuis lors un enjeu scientifique majeur puisqu'il décrit une relation apparemment contre intuitive (baisse de pluie et hausse paradoxale des écoulements). Du fait que l'augmentation des écoulements s'est produite durant la sécheresse, certains auteurs (Loireau, 1998 ; Leblanc *et al.*, 2008 ; Bouzou Moussa *et al.*, 2009 ; Abba, 2012 ; Souley Yero, 2012) ont relié sa cause aux changements d'occupation des sols caractérisés par l'extension des zones cultivées, au détriment de la jachère et de la végétation naturelle. Des liens sont ainsi établis entre l'augmentation des écoulements et la mise en culture des terres en montrant que cette dernière entraîne l'encroûtement des sols (Albergel et Valentin, 1991, Séguis *et al.*, 2004, Malam Abdou 2014 ; Malam Abdou *et al.*, 2015). Pour d'autres par contre (Pouyaud, 1987 ; Richard, 1990, Herbès et Valentin, 1997, Hiernaux *et al.*, 2009), l'augmentation des écoulements a une origine climatique. Ces derniers affirment que les sécheresses récurrentes ont causé la surmortalité des ligneux et la dégradation des paysages. Elles ont, en conséquence, altéré les caractéristiques physico-chimiques des sols et engendré l'accroissement des écoulements. Pour d'autres encore (Vischel, 2006 ; Descroix *et al.*, 2013, Panthou *et al.*, 2012, 2014), l'amélioration de la pluviosité observée au Sahel depuis le début de la décennie 1990 (Lebel et Ali, 2009) a accentué la production des écoulements. L'augmentation des écoulements est donc une conséquence qui traduit une dégradation environnementale due soit à l'homme soit au climat soit à la conjonction des deux. Quelles sont donc les manifestations des facteurs climatiques et anthropiques qui impliquent la hausse des écoulements sur le bassin de Dargol ? Pour y répondre, on admet en hypothèse de travail que l'agressivité climatique et les changements d'occupation des terres impactent les écoulements en engendrant une modification des comportements hydrologiques des sols.

L'objectif principal de cet article est d'analyser l'impact de l'homme et du climat dans l'augmentation des écoulements sur le bassin du Dargol.

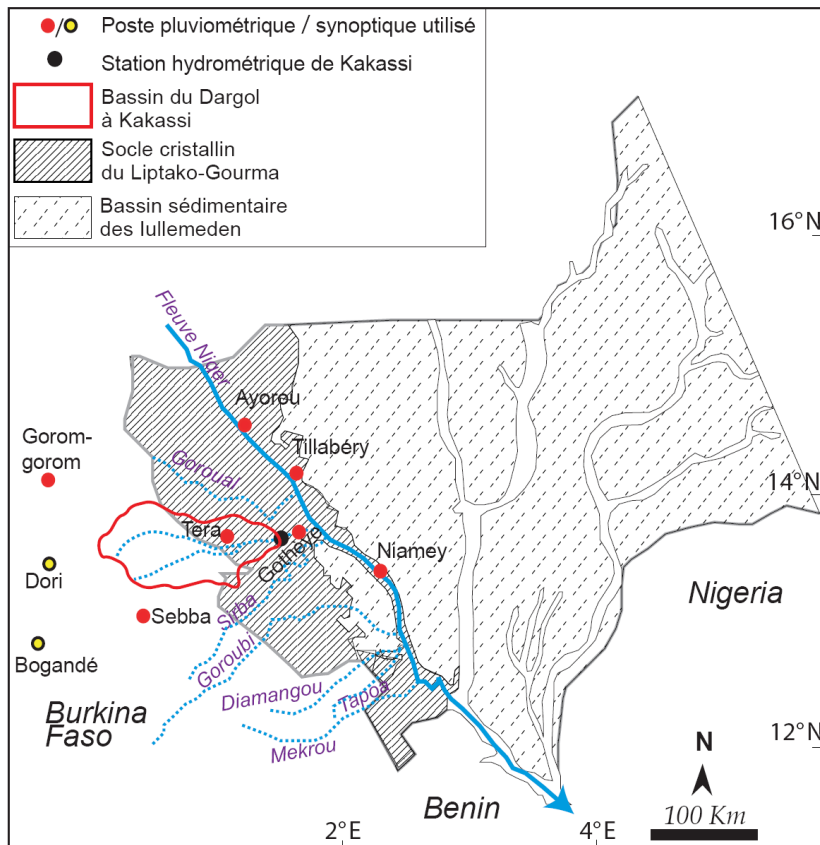
HAUSSE DES ECOULEMENTS SUR LE BASSIN VERSANT DE DARGOL : ENTRE FACTEURS ANTHROPIQUE ET CLIMATIQUE

Cela a, scientifiquement, pour intérêt d'appréhender les facteurs d'évolution environnementale et des ressources en eau sur ce bassin de socle où la disponibilité et l'accessibilité à l'eau est une contrainte majeure. La hausse des écoulements pourrait donc être une perspective d'atténuation de cette contrainte.

1. MATERIEL ET METHODES

Le Dargol est l'un des principaux affluents du fleuve Niger dans sa partie sahélienne. Il a un régime d'écoulement saisonnier et draine un bassin de l'ordre de 7000 km² (à la station hydrométrique de Kakassi) sis sur les formations précambriennes granitiques et volcano-sédimentaires du Liptako-Gourma (Figure 1).

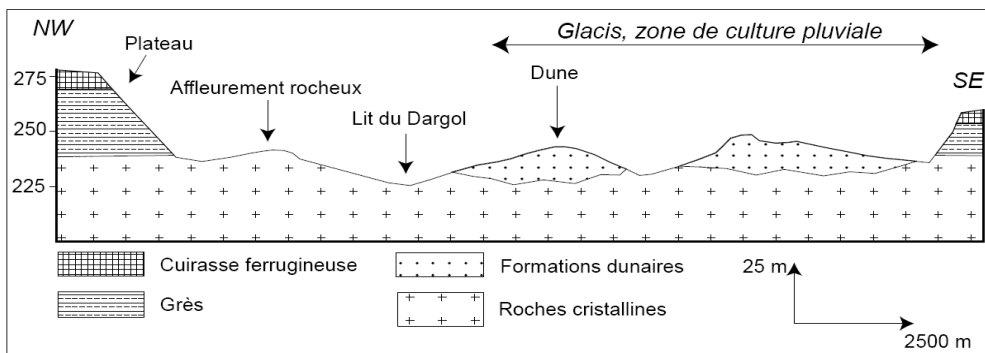
Figure 1. Situation du bassin de Dargol et des postes pluviométriques utilisés



Source : fond géologique de Greigert et Pougnet (1967)

Le paysage actuel de ce bassin se caractérise par la juxtaposition de diverses unités géodynamiques dont les principales sont les plateaux, les glacis et les fonds des vallées (Figure 2). Les plateaux, constitués des grès argileux qui reposent en discordance sur le socle cristallin, surplombent de longs glacis entrecoupés soit par des affleurements rocheux soit par des cordons dunaires. Ces derniers, orientés principalement Est-Ouest, bordent par endroit le lit actuel du fleuve Niger. L'hydromorphie permanente du lit du fleuve fait que cette unité est constamment mise en valeur pour l'agriculture. Les cultures pluviales sont essentiellement pratiquées sur les glacis et les cordons dunaires tandis les cultures de contre saison (irrigation, maraichage) sont exclusivement pratiquées au bord du fleuve Niger et dans les bas-fonds humides. La zone d'agriculture pluviale est constituée d'un ensemble d'espaces cultivés et de jachères dont la proportion est variable d'une période à une autre. Pour étudier les impacts de l'agressivité climatique et des changements d'occupation des sols sur l'écoulement, l'approche générale a consisté à analyser les données de pluies et d'occupation des sols. Ces données sont ensuite corrélées aux données hydrométriques afin de dégager les tendances des pluies et des débits, d'une part, puis des débits et de la dynamique d'occupation des sols, d'autre part. Les méthodes d'analyse sont présentées dans les lignes qui suivent.

Figure 2. Unités morfo-pédologiques caractéristiques du bassin de Dargol



Source : fond topographique de Google Earth (image de 2014) et données de terrain

Le transect ici représenté est compris entre les villages de Ouama (NW) et de Bohi Tondi (SE). Les couches géologiques ne sont pas à l'échelle.

1.1. Méthode de collecte et d'analyse des données pluviométriques

Les données pluviométriques utilisées couvrent la période de 1950 à 2013 et proviennent des directions de la météorologie nationale du Niger et

HAUSSE DES ECOULEMENTS SUR LE BASSIN VERSANT DE DARGOL : ENTRE FACTEURS ANTHROPIQUE ET CLIMATIQUE

du Burkina Faso. Les postes utilisés (Figure 1) sont choisis pour la disponibilité et l'ancienneté de leurs chroniques et leur proximité au bassin du Dargol. L'analyse des données pluviométriques consiste à étudier l'évolution temporelle de la pluie annuelle. Ainsi, les séries des postes pluviométriques retenues sont soumises aux tests statistiques afin de détecter d'éventuelles ruptures ou stationnarités chronologiques. Le logiciel Khronostat[®] (IRD-HSM, 2002) est utilisé à cet effet. Ce logiciel regroupe quatre tests permettant de repérer un changement temporel de comportement des variables non aléatoires. Tous les tests ont pour hypothèse nulle (H0) l'absence de rupture. Ils proposent, le cas échéant, une estimation de la date de rupture. Dans cette étude, nous utilisons particulièrement la méthode de Pettitt et la segmentation de Hubert réputées pour leur robustesse (Lubes-Niel *et al.*, 1998).

La pluie annuelle sur le bassin est calculée en moyennant les cumuls pluviométriques des postes suscités. Celle-ci est ensuite spatialisée à l'échelle du bassin par interpolation linéaire (krigeage) à l'aide du logiciel Surfer[®].

Par ailleurs, pour faire ressortir l'influence du climat sur le milieu, nous avons déterminé et spatialisé l'indice d'agressivité climatique (R). Cet indice, qui intervient dans l'équation universelle d'évaluation de pertes en terres proposée par Wischmeier (1959), traduit l'impact des pluies sur les sols. Il est défini comme le produit de l'énergie cinétique (E_c) des pluies unitaires par leur intensité maximale durant 30 mn (I_{30}) :

$$R = E_c \times I_{30} \quad (Eq. 1)$$

Le dépouillement lent et fastidieux des pluviogrammes, voire l'absence de ces données, a amené des chercheurs (Roose, 1977 ; Fournier, 1993 ; Morschel et Fox, 2004) à proposer bien d'autres relations pour déterminer l'indice d'agressivité climatique. L'analyse statistique des données collectées en Afrique de l'Ouest par Roose (1973, 1977, 1983) a permis d'établir de simples régressions linéaires liant l'indice d'agressivité et la pluie annuelle (h). L'indice (R) est obtenu par (Roose, 1977) selon la formule :

$$R = 0.5h \quad (Eq. 2)$$

La marge d'erreur estimée est d'environ 5 % (Roose, 1977). L'auteur rapporte que cette équation n'est applicable que si l'on dispose d'une série de données étalées sur 5 à 10 ans au minimum. Nous l'avons appliquée dans cette étude pour des raisons de simplicité et d'adaptabilité au contexte climatique sahélien.

L'indice R est traditionnellement exprimé en unités américaines « foot.tons/acre.inch » rapportant l'expression d'un poids par unité de surface. Il a donc la dimension d'une pression.

1.2. Mesure des données hydrométriques

Les données hydrométriques utilisées sont relevées à la station de Kakassi (situé en amont de la confluence du Dargol avec le fleuve Niger) par le projet « Niger-Hycos » de l’Autorité du Bassin du Niger (ABN) (<http://nigerhycos.abn.ne/user-anon/htm/listStationByGroup.php>). Les données qui nous sont fournies représentent l’écoulement moyen annuel et couvrent la période de 1957 à 2013. Cependant, celles-ci présentent une dizaine d’années de lacune, observées entre les années 1989 et 2005. Avant d’analyser l’évolution temporelle de la variable hydrométrique sous KhronoStat, nous avons complété ces lacunes par des valeurs moyennes glissantes triennales. Les valeurs moyennes utilisées pour combler les données manquantes, qu’elles soient triennales, quinquennales ou décennales, ne modifient pas le comportement de la variable. Nous avons de ce fait préféré les moyennes triennales afin de ne pas trop lisser les valeurs. Des régressions sont ensuite établies pour étudier les relations pluies-écoulements à l’échelle du bassin.

1.3. Approche d’analyse de l’occupation des sols

Pour le suivi temporel des changements opérés dans l’occupation des sols, nous avons réalisé deux cartes par exploitation des scènes satellitaires SPOT de 1986 et de 2010. Le choix de 1986 se justifie par le fait que les premières images SPOT couvrant notre zone d’étude datent de cette année tandis que l’année 2010 correspond à celle de l’achat des images. Toutes les images ont été prises en fin de saison des pluies, entre septembre et octobre et ont été traitées avec le logiciel Envi®. Le traitement a consisté à extraire des informations sur l’occupation des sols en procédant par la classification supervisée des images à l’aide des sept parcelles d’entraînement (ROI) prédéfinies. Les parcelles sont composées de la végétation (steppes, broussailles et cordon ripicole), la mosaïque culture-jachère, le sol nu (encrouté et ou affleurement rocheux) et l’hydrographie. Tous ces éléments influencent les écoulements et donc leurs changements peuvent affecter ces derniers. Les cartes établies sont ensuite post-validées sur le terrain.

2. RESULTATS

2.1. Les tendances pluviométriques

L'analyse des cumuls pluviométriques de 1950 à 2013 montre que, pour les 9 postes pluviométriques étudiés, la distribution temporelle des précipitations a connu des changements significatifs. Le tableau I résume les dates et tendances des principaux changements détectés par poste.

Tableau I : Dates de rupture et tendances pluviométriques des postes étudiés

	1 ^{ère} rupture	2 ^{ème} rupture	Evolution des cumuls avant et après la 1 ^{ère} rupture (%)	Evolution des cumuls entre la 1 ^{ère} et la 2 ^{ème} rupture (%)
Ayorou	1966	1997	-30	+36
Gothèye	1967	/	-21	/
Niamey	1967	/	-14	/
Tera	1967	/	-25	/
Tillabéry	1967	/	-28	/
Bogandé	1968	1993	-25	+19
Dori	1966	/	-26	/
Grom- Grom	1969	2000	-32	+46
Sebba	1967	/	-28	/
Moyenne des 9 stations	1967	1997	-29	+18

Les barres « slash » signifient l'absence de rupture

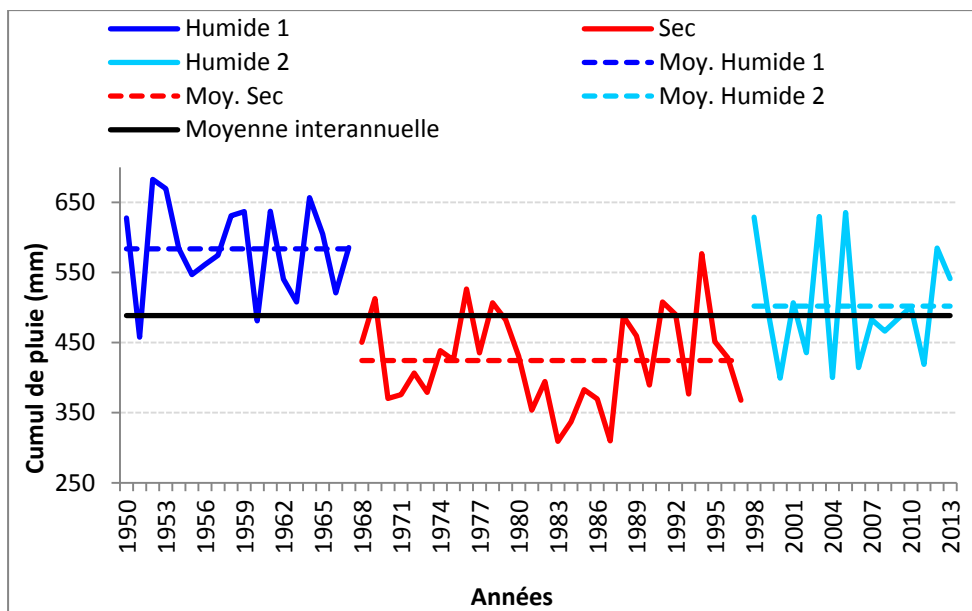
D'une manière générale, on constate (Tableau I) que les cumuls pluviométriques annuels ont connu un changement temporel dont la date est comprise entre 1966 et 1969. Cette première rupture marque le début d'une période de récession pluviométrique qui s'est étalée sur une trentaine d'années et qui a causé une baisse allant de 14 à plus de 30 % par rapport à la période humide des décennies 1950 et 1960. Ce long épisode de déficit, rapporté par plusieurs auteurs (Le Barbé *et al.*, 2002 ; Lebel et Ali, 2009 ; Mahé et Paturol, 2009), résulte de la variabilité des interactions entre la mousson africaine, l'océan atlantique, la biosphère continentale et l'atmosphère (Fontaine *et al.*, 2012). Ces variations modifient, d'une part, la position et l'intensité de « l'appel » d'air humide vers le continent, ce qui affecte, d'autre part, la circulation de la mousson, les convections et les précipitations (Chauvin *et al.* 2010 ; Fontaine *et al.*, 2012). On note, en conséquence, une diminution du nombre d'événements au cœur de la saison

des pluies (Le Barbé *et al.*, 2002 ; Panthou, 2013) expliquant ainsi le déficit pluviométrique.

Après les années 1990, on note, pour les stations de Ayorou, Bogandé et Grom-grom, une deuxième rupture traduisant une amélioration des cumuls pluviométriques (de 19 à plus de 45 %) par rapport à la période sèche précédente sans que celle-ci n'atteigne cependant les cumuls des décennies humides.

L'analyse du cumul pluviométrique moyen interannuel des 9 stations étudiées fait ressortir deux ruptures (Figure 3). Une rupture négative en 1967 qui traduit un déficit moyen de l'ordre de 29 % puis un changement positif à partir de 1997, correspondant à une amélioration de la pluviosité qui est estimée à 18 %.

Figure 3. Tendances pluviométriques de 1950 à 2013 sur le bassin du Dargol



Source de données : DMN (Niger et Burkina Faso)

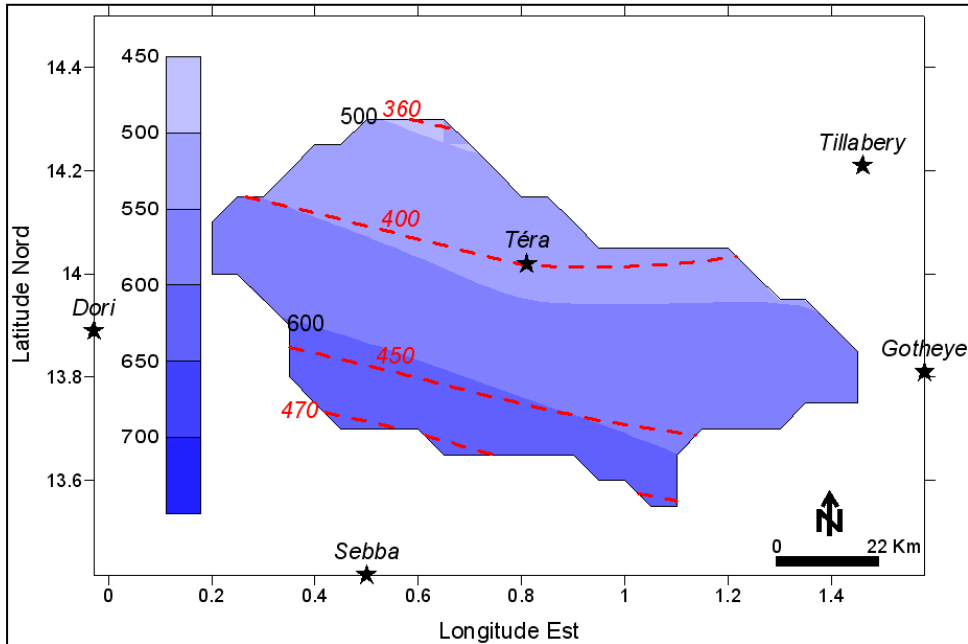
Les données représentées sur cette figure correspondent aux valeurs moyennes des 9 stations étudiées. La période humide (1) va de 1950-1967 ; la période sèche va de 1968-1997 et la période humide (2) va de 1998 à 2013.

La baisse des cumuls a causé un déplacement des isohyètes vers le sud. La figure 4 illustre la migration des isohyètes entre la période humide de 1950-1967 et la période sèche de 1968-1997. Durant la période humide, l'isohyète de 500 mm qui se trouvait à la limite septentrionale du bassin a

HAUSSE DES ECOULEMENTS SUR LE BASSIN VERSANT DE DARGOL : ENTRE FACTEURS ANTHROPIQUE ET CLIMATIQUE

migré vers le sud sur plus de 65 km pour se trouver hors du bassin durant la période sèche. Les extrema, limitant le bassin sont de 360 et 470 mm, respectivement pour le minimum et le maximum durant la période sèche, contre 500 et 640 mm durant la période humide.

Figure 4. Situation des isohyètes durant les périodes humide (1950-1967) et sèche (1968-1997) sur le bassin de Dargol



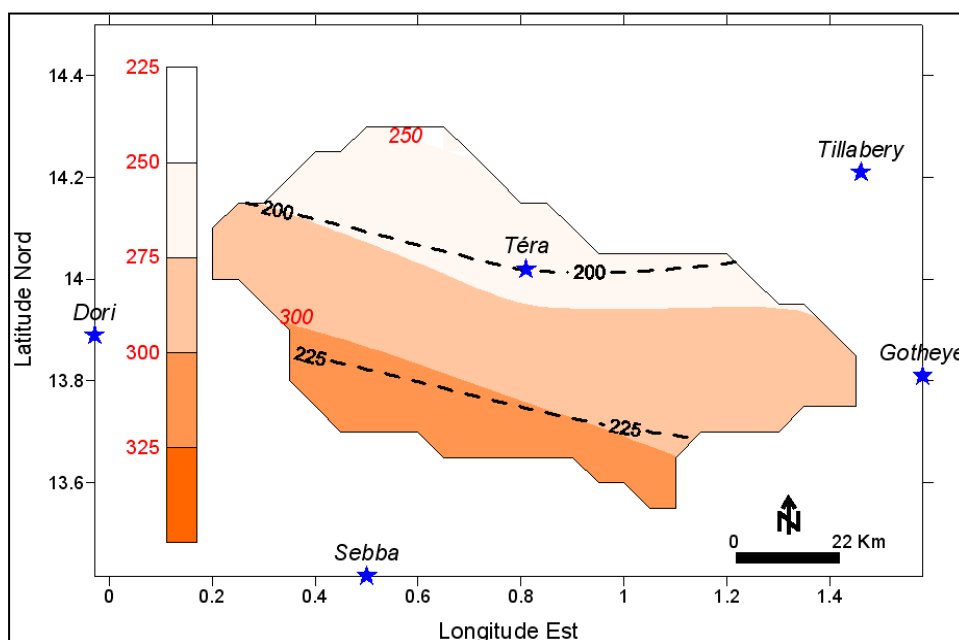
Les isohyètes de la période humide sont représentés en bleu (échelle à gauche) et ceux de la période sèche en lignes rouges discontinues.

Cette baisse de la pluviométrie a engendré une dégradation des formations végétales. Des rapports ont fait état d'une disparition en masse ou d'une surmortalité des ligneux au Niger (d'Herbès et Valentin, 1997), au Mali (Hiernaux *et al.*, 2009) et d'une dégradation du paysage ouest africain (Richard, 1990). La disparition de la végétation a pour conséquence l'exposition directe de la surface des sols à l'agressivité climatique (impacts des pluies).

2.2. Évolution de l'agressivité climatique (R)

La figure 5 représente la distribution de l'indice d'agressivité climatique (R) durant la période humide (1950-1967) et la période sèche (1968-1997). Pendant la sécheresse, on remarque que l'agressivité climatique est faible (comparée à celle de la période humide), ce qui est tout à fait attendu puisque l'indice R est fonction de la hauteur de pluie (Eq. 2). Les valeurs de R varient de 180 à 240 foot.tons/acre.inch (f.t/a.i) à l'échelle du bassin. Ces valeurs décroissent du Sud vers le Nord conformément à la variation des cumuls pluviométriques annuels.

Figure 5. Distribution de l'indice d'agressivité climatique durant les périodes humide (1950-1967) et sèche (1968-1997) sur le bassin de Dargol



Les valeurs de la période humide sont représentées en orange (échelle à gauche) et celles de la période sèche en lignes noires discontinues.

Entre les années 1970 et 1990, les valeurs de R calculées sur le bassin du Dargol sont du même ordre de grandeur que les valeurs de 200 à 300 fournies par Roose (1977) et Fournier (1993) pour la région de Niamey (Niger) et pour d'autres régions sahéliennes (Dakar, Ndjaména). Ces valeurs sont inférieures à celles de la zone tropicale humide où Roose (op. cité) rapporte les grandeurs de 800 pour Lagos (Nigeria), 1000 pour Abidjan (Côte d'Ivoire) et 2000 Douala (Cameroun) et Conakry (Guinée). L'agressivité potentielle du climat sahélien reste, toutefois, d'un niveau suffisant pour

HAUSSE DES ECOULEMENTS SUR LE BASSIN VERSANT DE DARGOL : ENTRE FACTEURS ANTHROPIQUE ET CLIMATIQUE

engendrer la dégradation des sols par érosion hydrique sur le bassin. Les mesures effectuées sur des parcelles expérimentales de 10 m² en 2012 et 2013 fournissent des grandeurs d'érosion potentielle variant entre 1 et 5 t/ha/an selon les états de surface.

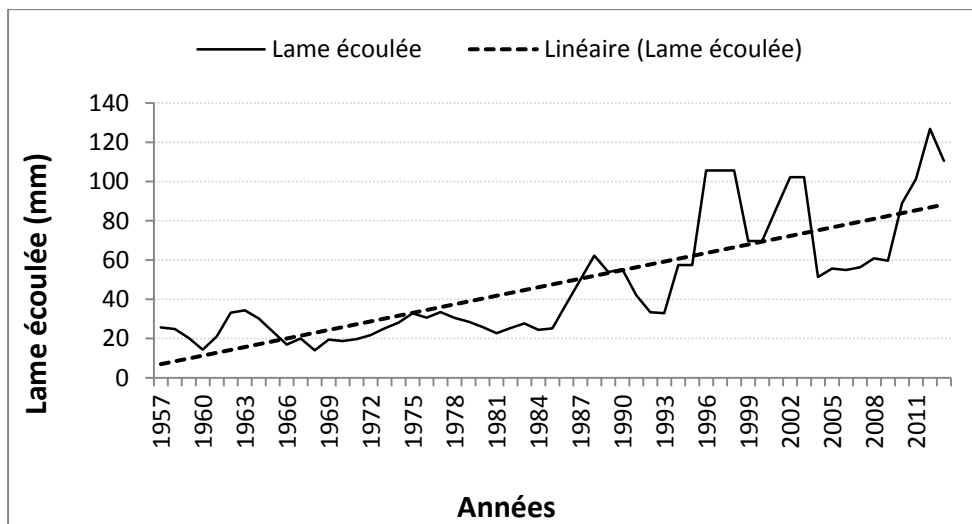
Sur les bassins de Gorouol et de la Sirba (deux affluents du fleuve Niger, adjacents au bassin du Dargol), Amogu (2009) a montré que la disparition de la végétation entre les années 1970 et 1999 a accentué le ruissellement et la disponibilité des sédiments du fait de l'exposition des sols à l'agressivité climatique.

Mais les tendances pluviométriques et l'agressivité climatique expliquent-elles l'augmentation des écoulements sur le bassin de Dargol ?

2.3. Relations pluies-écoulements sur le bassin de Dargol

La figure 6 met en évidence l'augmentation des écoulements sur le bassin de Dargol des années 1950 à nos jours. L'analyse de cette série a permis de détecter deux ruptures, toutes positives, dont la première a eu lieu en 1985 et la seconde en 1995.

Figure 6. Tendence d'évolution de la lame écoulée de 1950 à 2013 sur le bassin de Dargol



Sources : Niger Hycos /ABN, 2014

Les valeurs ici représentées correspondent aux moyennes mobiles triennales

En prenant en compte ces deux dates de rupture, on découpe alors la série d'écoulement en trois séquences chronologiques (Tableau II). Entre la première et la deuxième séquence, il est enregistré une augmentation de 95 %

de la lame écoulée tandis qu'entre la première et la troisième séquence, on a assisté à un triplement de volume d'eau écoulé sur le bassin de Dargol.

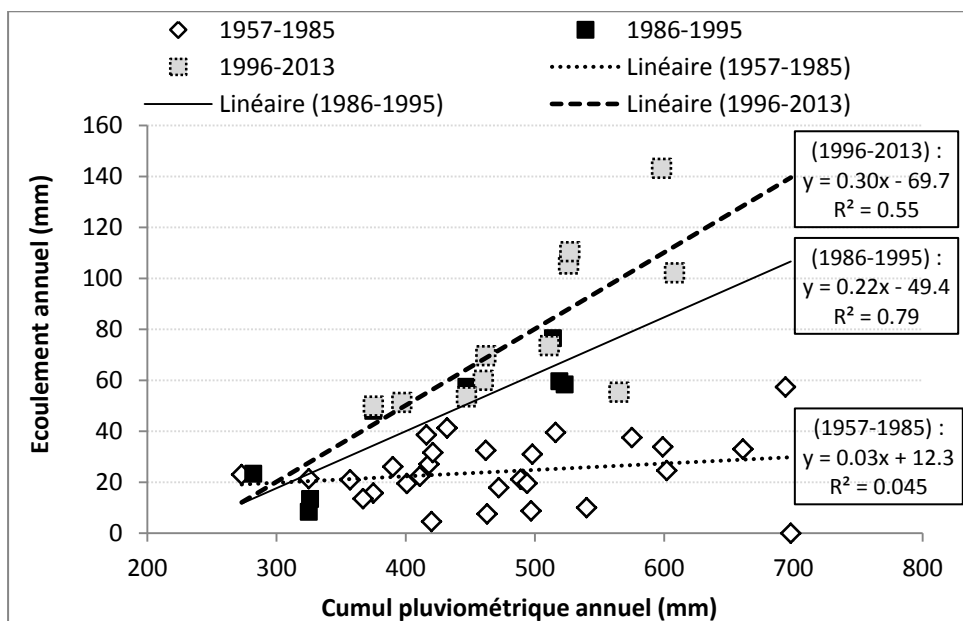
Tableau II : Séquences et évolution d'écoulement entre les séquences

Séquence	Lame écoulée moyenne par séquence (mm)	Ecart (en %) de l'écoulement par rapport à la moyenne de la séquence 1957-1985
1957-1985	25	/
1986-1995	48	+ 95
1996-2013	84	+ 239

La séquence 1986-1995 est située dans la période pluviométrique sèche (Figure 3). Pourtant, il est observé une augmentation paradoxale des écoulements qui passent du simple au double. Ceci laisse supposer que cette augmentation n'est pas en lien avec la pluie, moins encore avec l'agressivité climatique car celle-ci est jugée plutôt faible de la fin des années 1960 jusqu'à la fin des années 1990 (Figure 5).

La figure 7 établit les corrélations entre la pluie et l'écoulement pour les trois séquences hydro-chronologiques sus évoquées.

Figure 7 : Relations pluies-écoulements sur le bassin du Dargol



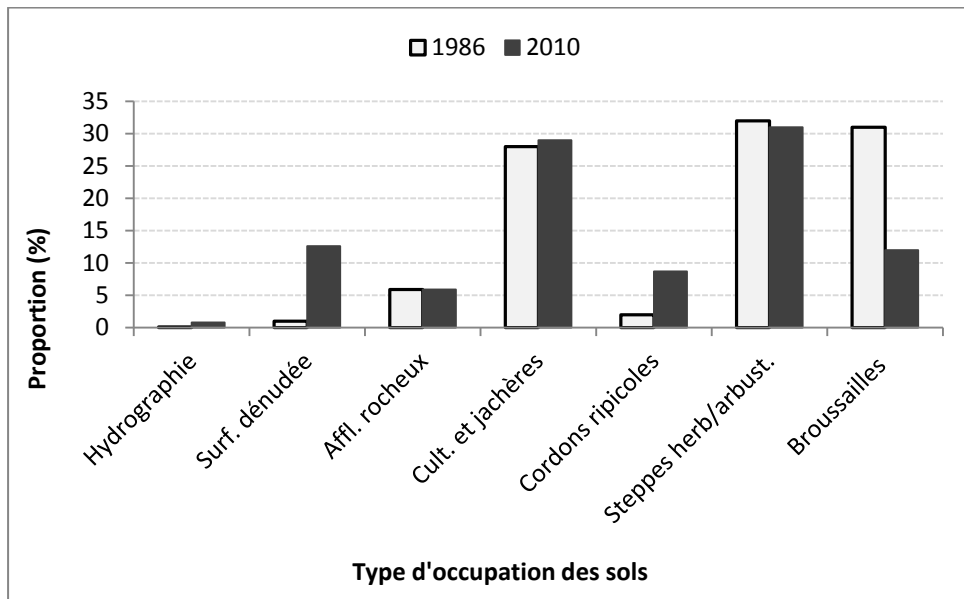
Durant la séquence chronologique de 1957-1985, l'écoulement augmente très timidement et surtout de manière fortement non linéaire ($r^2 <$

0.5). La pluie n'explique l'écoulement qu'en faible proportion (3 %), ce qui laisse penser alors à l'existence d'autres facteurs explicatifs, plus importants, de l'écoulement à l'échelle du bassin durant cette période. Au cours des deux dernières séquences, la part de la pluie dans l'explication de l'écoulement a significativement augmenté et la relation entre ces deux variables tend à être linéaire. Ceci met en évidence une modification de la surface des sols car l'écoulement est, d'une manière générale, fonction de la pluie et des propriétés hydrodynamiques des sols. Si ces propriétés se dégradent, elles diminuent l'infiltration et dans ce cas, l'écoulement augmente. De ce fait, que peut-on retenir sur la tendance d'évolution des propriétés hydrodynamiques des sols sur le bassin de Dargol ?

2.4. Dynamique d'occupation des sols de 1986 à 2010

En zone sahélienne, les propriétés hydrodynamiques des sols sont contrôlées par les états de surface et l'occupation des sols. Ces derniers peuvent évoluer sous l'influence des facteurs anthropiques. Pour appréhender l'évolution spatio-temporelle de ces propriétés sur le bassin de Dargol, nous avons utilisé une approche indirecte qui a consisté à étudier, par analyse diachroniques des images, l'influence de l'homme dans la dynamique d'occupation des sols. La figure 8 montre la tendance observée entre deux périodes étudiées (1986 et 2010).

Figure 8. Dynamique d'occupation des sols entre 1986 et 2010 sur le bassin de Dargol

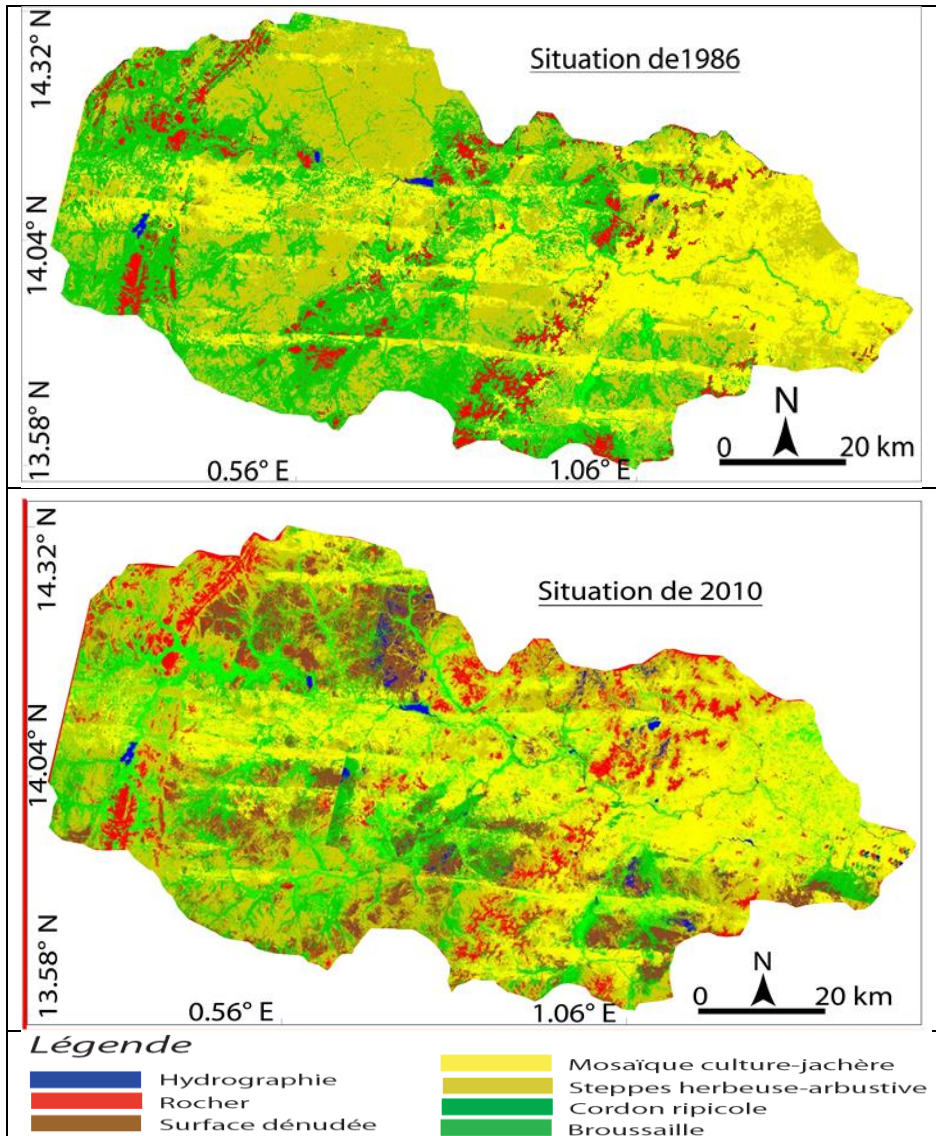


Les changements remarquables concernent les broussailles, les cordons ripicoles et les surfaces dénudées.

Les broussailles sont des formations arbustives qui se développent généralement sur les glacis et les ensembles dunaires. En 2010, leur proportion a connu une diminution de l'ordre de 60 % par rapport à la situation de 1986. Cela pourrait s'expliquer par l'importance de défrichement préalable à la mise en culture des terres des unités topographiques les comportant, qui sont par ailleurs des zones très favorables aux cultures pluviales (Figures 2 et 9). La dégradation des broussailles peut également être en lien avec la hausse de la consommation de bois pour des usages domestiques des centres urbains de Niamey et Tillabéry notamment. Cette diminution s'est traduite par la dénudation des sols. En effet, entre 1986 et 2010, la proportion des surfaces nues a été multipliée par 12. Or ces surfaces nues, très souvent encroûtées, sont connues pour être des impluviums où naissent et se produisent les ruissellements.

HAUSSE DES ECOULEMENTS SUR LE BASSIN VERSANT DE DARGOL : ENTRE FACTEURS ANTHROPIQUE ET CLIMATIQUE

Figure 9. Occupation des sols en 1986 et 2010 sur le bassin de Dargol



Les éléments en jaune, orientés est-ouest sont des cordons dunaires

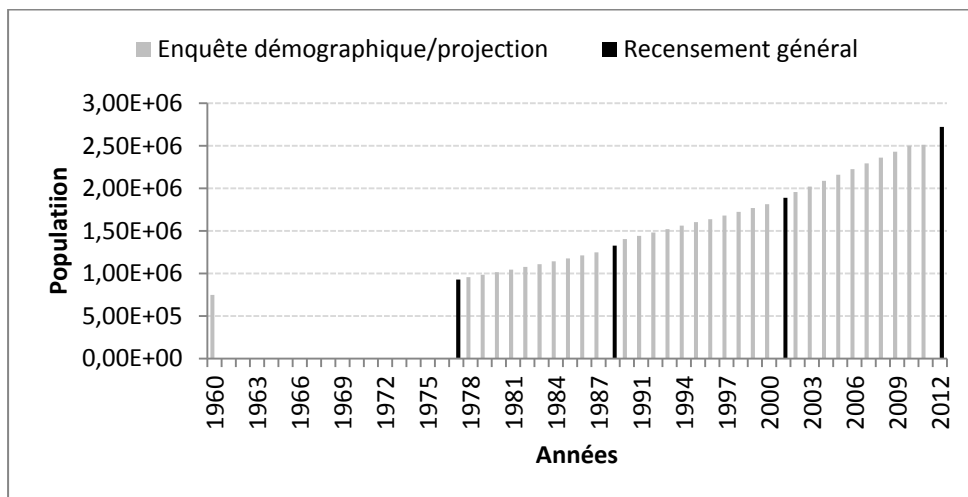
L'augmentation concomitante de ces surfaces nues et de l'écoulement permet d'expliquer, de manière concordante, la corrélation entre ces variables et de déduire alors l'influence prépondérante de l'homme dans l'augmentation des écoulements sur le bassin de Dargol. D'une manière générale, les sécheresses récurrentes que subit le Sahel depuis les années 1970 ont déclenché un dérèglement environnemental se traduisant par la dégradation des sols et de la végétation et par la baisse des rendements

agricoles. Depuis, l'influence des facteurs anthropiques sur l'évolution de l'occupation des sols s'est accrue. La végétation naturelle recule fortement au profit des cultures et, de plus en plus, des terrains sont dégradés et les sols dénudés. La figure 9 illustre cet état de fait. Ces types d'évolution se répercutent sur la relation pluie-débit par la diminution de la capacité d'infiltration des sols et par l'accélération des écoulements sur les versants étant donné que ces derniers sont déjà couverts en partie par des affleurements rocheux du socle.

L'accroissement démographique, qui engendre une intense pression sur les ressources, a par ailleurs accentué ces tendances. A titre d'exemple, la région de Tillabéry (où se situe la partie nigérienne du bassin de Dargol) avait 748 000 habitants en 1960 (INS, 2010) pour une superficie de 97 251 km², soit une densité moyenne de 8 habitants au km². Lorsque, en 1977, le premier recensement général de la population du Niger a été réalisé, la région de Tillabéry comptait 928 849 habitants dont 96 % vivait en milieu rural. Les résultats définitifs du quatrième recensement général (INS, 2014) font état de 2 722 482 habitants, soit une densité moyenne de 28 habitants au km².

En 35 ans (entre 1960 et 2012), la population de la région a donc connu une croissance de 292 %, soit un quasi quadruplement. La figure 10 illustre l'évolution de la population entre 1960 et 2012.

Figure 10. Évolution de population de la région de Tillabéry de 1960 et 2012



Source : INS (2010, actualisé)

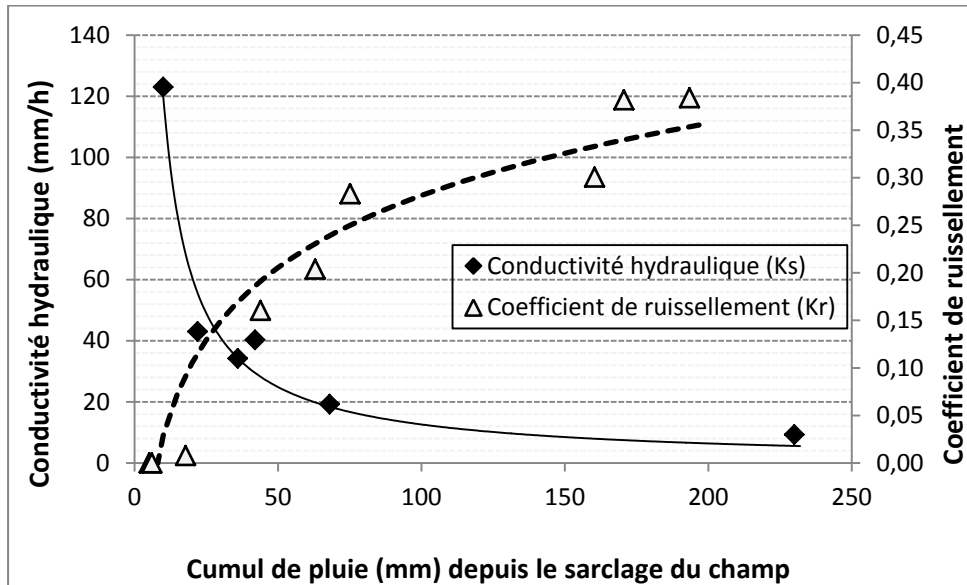
Dans cette région où 90 % de la population vit de l'agriculture, la dynamique démographique entraîne, sans doute, une pression sur les ressources agricoles (sol et végétation) et une redistribution spatiale de la population suivant les

possibilités d'exploitation de ces ressources. Les secteurs les mieux pourvus en ressources foncières (cordons dunaires, glacis) et forestières (steppes, broussailles) subissent le plus de pression et, en conséquence, elles se dégradent rapidement par dénudation et encroûtement.

3. DISCUSSION

L'analyse des données hydrométriques collectées sur le bassin de Dargol fait ressortir deux changements de comportement hydrologique. Le premier est intervenu en 1985, date à partir de laquelle les écoulements ont commencé à augmenter significativement. Or, au cours de cette même période, la pluviométrie est en forte baisse sur le bassin. Ceci permet d'affirmer que cette première phase de hausse d'écoulement n'est pas due à la pluie (et donc au climat). Si l'écoulement était fortement corrélé à la pluie, il connaîtrait la même tendance que cette dernière, ce qui n'est pas ici le cas. Parallèlement, l'analyse de la dynamique d'occupation des sols sur le bassin met en évidence une diminution du couvert végétal au profit des zones cultivées et une forte augmentation des surfaces nues. Ces tendances synchrones à l'augmentation des écoulements permettent d'expliquer cette hausse car l'absence du couvert végétal et la mise en culture des terres engendrent la modification des propriétés des sols qui se manifeste par l'encroûtement. En effet, des études expérimentales (Malam Abdou *et al.*, 2015) effectuées à l'échelle de la saison des pluies ont montré que la mise en culture des terres entraîne l'encroûtement et l'augmentation des ruissellements (Figure 11).

Figure 11. Évolution simultanée de l'infiltration (K_s) et du ruissellement (K_r) sur une zone cultivée en fonction du cumul de pluie reçue depuis le sarclage.



D'après Malam Abdou et al., (2015).

Les points représentent des mesures. Les courbes sont des ajustements.

La figure 11 montre la décroissance temporelle de la conductivité hydraulique et, donc, l'encroûtement de zones cultivées. Cela est confirmé par l'augmentation concomitante du ruissellement sur les mêmes surfaces. La tendance à l'augmentation des écoulements sur le bassin de Dargol est précédemment rapportée par Mahé et al. (2003) qui notifiaient une nette augmentation des écoulements dès le début des années 1970. Le module de ce bassin est ainsi passé de $4.95 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ avant 1972 à $5.96 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ après cette date. Il en est de même pour le coefficient de ruissellement qui a enregistré un ratio de + 57 % par rapport à l'avant 1972.

A l'échelle interannuelle, plusieurs travaux (Albergel et Valentin, 1991, Séguis et al., 2004, Leblanc et al., 2008, Bouzou Moussa et al., 2009) ont établi des liens entre la mise en culture, la dégradation des sols et l'augmentation des écoulements, conformément à ce qui est ici montré. L'augmentation des écoulements est observée à toutes les échelles spatiales, de la parcelle élémentaire (Albergel, 1987) aux bassins expérimentaux (Pouyaud, 1987, Amogu et al., 2015) et aux bassins fluviaux (Amani et Nguetora, 2002, Mahé et al., 2005, Mahé et Paturel, 2009, Amogu et al., 2010). Cependant, elle n'a concerné que la zone sahélienne, zone de production du ruissellement majoritairement hortonien (Descroix et al., 2009)

où la genèse des écoulements est contrôlée par les états superficiels des sols (Casenave et Valentin, 1990). En zone soudanienne, la baisse des pluies s'est accompagnée d'une baisse des écoulements (Descroix *et al.*, 2009, Mahé et Paturel, 2009, Amogu *et al.*, 2010). Ceci s'explique en partie par la forte diminution du niveau des nappes et de leurs contributions aux écoulements de base (Mahé *et al.*, 2000), traduisant de fait un écoulement dominant de type cappusien (Cappus, 1960, Descroix *et al.*, 2009).

Sur le bassin du Dargol, la deuxième rupture hydrologique est intervenue en 1995 et se manifeste par l'accentuation de la hausse des écoulements débutée depuis 1985. Cette rupture coïncide, en revanche, avec l'amélioration de la pluviosité et l'intensification de l'agressivité climatique à l'échelle du bassin. Cette concomitance rend donc plausible l'hypothèse d'une forte influence du climat dans la hausse des écoulements après les années 1990. Ceci est illustré par la pente relativement forte de la régression pluie-écoulement de la séquence 1996-2013 (Figure 7). Les conditions pluviométriques moins déficitaires que connaît la zone d'étude depuis les années 1995 créent, en effet, des situations complexes caractérisées par des morphogenèses intenses et des inondations. Une pluie, même de faible volume, tend effectivement à ruisseler à cause de la disparition de la végétation et de la dégradation des sols, c'est ce qui explique l'augmentation des points d'eau et des cordons ripicoles à l'échelle du bassin (Figures 8 et 9). Des travaux récents caractérisant l'intensification pluviométrique au Sahel (Descroix *et al.*, 2013, Panthou *et al.*, 2012, 2014), dégagent une nette cohérence entre les extrêmes pluviométriques, l'augmentation des écoulements et des inondations. Ce qui laisse alors conclure, avec ce travail, que la deuxième rupture hydrologique positive observée sur le bassin de Dargol est d'ordre climatique.

La hausse constatée des écoulements pourrait constituer une externalité permettant d'améliorer l'accès à l'eau sur ce bassin de socle où les réserves souterraines sont faibles. En effet, la formation géologique cristalline du bassin fait que les aquifères sont discontinus et spatialement limités (Abdou-Babayé, 2012). En outre, la capacité d'infiltration faible des sols implique une forte aptitude au ruissellement (Malam Abdou, 2014). En conséquence, les volumes ruisselés sont importants. La valorisation de ces ruissellements permettrait, d'une part, de rendre l'eau plus disponible pour la population, en la stockant dans des barrages par exemple et, d'autre part, d'accroître les productions agricoles à travers les techniques de conservation des eaux et des sols (CES).

CONCLUSION

L'objectif de ce travail est de déterminer l'influence de l'homme et du climat dans l'augmentation des écoulements sur le bassin de Dargol. Les données pluviométriques des 60 dernières années et la dynamique d'occupation des sols du bassin sont ainsi étudiées. L'analyse des données hydrométriques a mis en évidence deux ruptures positives (en 1985 et en 1995) dans la tendance des écoulements. La corrélation de ces ruptures avec les variables climatiques et anthropiques a permis de hiérarchiser l'influence respective et chronologique de l'homme et du climat dans l'augmentation des écoulements. Ainsi, la première rupture, observée durant la période de sécheresse climatique, est faiblement corrélée à la pluie et à l'agressivité climatique. Elle résulte donc principalement de la modification de l'occupation des sols causée par l'homme et illustre le paradoxe hydrologique sahélien (baisse des pluies et augmentation concomitante des écoulements) déjà mis en évidence à diverses échelles. En revanche, la deuxième rupture coïncide avec l'amélioration de la pluviosité et l'intensification de l'agressivité climatique et est donc fortement liée au climat. L'augmentation des écoulements a pour conséquences, entre autres, d'accroître les inondations comme ce fut le cas en 2010, 2012 et 2013 pour la ville de Niamey. La valorisation de ces eaux de ruissellements pourrait être une perspective d'atténuation des difficultés d'accès à l'eau par la population ainsi que celle des productions agricoles.

Remerciements

Ce travail a été financé par l'IFS, le PPR-SREC et a bénéficié de la collaboration de l'Autorité du Bassin du Niger (ABN) et de l'ISIS-France que nous remercions vivement ici. Nous remercions également M. Luc DESCROIX pour les données.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABBA (B.), 2012. *Changements d'usage des sols et érosion dans l'aire «ayi noma» à la périphérie du parc national du W du Niger*. Thèse de l'Université Abdou Moumouni de Niamey, 227 p.
- ABDOU-BABAYE (M.), 2012. *Évaluation des ressources en eau souterraine dans le bassin de Dargol (Liptako - Niger)*. Thèse de l'Université de Liège, Liège. 244 p.
- ALBERGEL (J.), 1987. « Sécheresse, désertification et ressources en eau de surface : application aux petits bassins du Burkina Faso » in *Influence on Climate Change and Climatic Variability on the Hydrologic Regime and Water Resources*, IAHS publication n° 168, pp. 355–365.
- ALBERGEL (J.) et VALENTIN (C.), 1991. « Sahélisation d'un petit bassin versant soudanien : Kognere-Boulsa, au Burkina Faso », pp. 119-133. in RICHARD (J.-F.) (Eds). *La dégradation des paysages en Afrique de l'Ouest : points de vue et perspectives de recherches*. Presses Universitaires de Dakar, 310 pages.
- AMANI (A.) et NGUETORA (M.), 2002. « Évidence d'une modification du régime hydrologique du fleuve Niger à Niamey » in *IAHS Publication n°274*, pp. 449–456.
- AMOGU (O.), 2009. *La dégradation des espaces sahéliens et ses conséquences sur l'alluvionnement du fleuve Niger moyen*. Thèse de l'Université de Grenoble 1, 425 p.
- AMOGU (O.), DESCROIX (L.), SOULEY YERO (K.), LE-BRETON (E.), MAMADOU (I.), ALI (A.), VISCHEL (T.), BADER (J.C.), BOUZOU MOUSSA (I.), GAUTIER (E.), BOUKRAOUI (S.) ET BELLEUDY (P.), 2010. « Increasing River Flows in the Sahel? » in *Water vol. 2, n°2*, pp. 170–199.
- AMOGU (O.), ESTEVES (M.), VANDERVAERE (J.-P.), MALAM ABDOU (M.), PANTHOU (G.), RAJOT (J.-L.), SOULEY YÉRO (K.), BOUKRAOUI (S.), LAPETITE (J.M.), DESSAY (N.), ZIN (I.), ALKALY TANIMOUN (B.), BOUZOU MOUSSA (I.), FARAN MAIGA (O.), GAUTIER (E.) et DESCROIX (L.), 2015 « Runoff evolution due to land-use change in a small Sahelian catchment » in *Hydrological Sciences Journal* vol.60, n°1, pp. 78-95.
- BOUZOU MOUSSA (I.), FARAN MAIGA (O.), KARIMOU AMBOUTA (J.M.), SARR (B.), DESCROIX (L.) et ADAMOU (M. M.), 2009. « Les conséquences géomorphologiques de l'occupation du sol et des changements climatiques dans un bassin-versant rural sahélien » in *Sécheresse* vol. 20, n°1, pp. 145-152.

- CAPPUS (P.), 1960. « Bassin expérimental d'Alrance. Etude des lois de l'écoulement : Application au calcul et à la prévision des débits » in: *Houille Blanche A*, pp. 493-520.
- CASENAVE (A.) et VALENTIN (C.), 1990. « Les états de surface : une des clefs de l'hydrologie sahélienne » in *The state-of-the-art of hydrology and hydrogeology in the arid and semi-arid areas of Africa: proceedings of the Sahel Forum*, pp. 135–147. Urbana: International Water Resources Association.
- CHAUVIN (F.), ROEHRIG (R.) ET LAFORE (J.-P.), 2010. « Intra-seasonal Variability of the Saharan Heat Low and Its Link with Midlatitudes » in *Journal of Climate*, vol. 23, n°10, pp. 2544-2561.
- D'HERBES (J. M.) & VALENTIN (C.), 1997. « Land surface conditions of the Niamey region: ecological and hydrological implications » in *Journal of Hydrology*, vol. 188–189, pp. 18–42.
- DAI (A.), LAMB (P. J.), TRENBERTH (K. E.), HULME (M.), JONES (P. D.) & XIE (P.), 2004. « The recent Sahel drought is real » in *International Journal of Climatology*, vol. 24, n°11, pp. 1323–1331.
- DESCROIX (L.), MAHE (G.), LEBEL (T.), FAVREAU (G.), GALLE (S.), GAUTIER (E.), OLIVRY (J.-C.), ALBERGEL (J.), AMOGU (O.), CAPPELARE (B.), DESSOUASSI (R.), DIEDHIYOU (A.), LE BRETO (E.), MAMADOU (I.) et SIGHOMNOU (D.), 2009. « Spatio-temporal variability of hydrological regimes around the boundaries between Sahelian and Sudanian areas of West Africa: A synthesis » in *Journal of Hydrology* vol. 375, n°1–2, pp. 90–102.
- DESCROIX (L.), ESTEVES (M.), SOULEY YERO (K.), RAJOT (J.-L.), MALAM ABDOU (M.), Boubkraoui (S.), LAPETITE (J. M.), 2011. « Runoff evolution according to land use change in a small Sahelian catchment » in *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, volume 8, numéro 1, pp. 1569–1607.
- DESCROIX (L.), DIONGUE Niang (A.), DACOSTA (H.), PANTHOU (G.), QUANTIN (G.) & DIEDHIYOU (A.), 2013. « Évolution des pluies de cumul élevé et recrudescence des crues depuis 1951 dans le bassin du Niger Moyen (Sahel) » in *Climatologie* volume 10, pp. 37–50.
- FONTAINE (B.), ROUCOU (P.), CAMARA (M.), VIGAUD (N.), KONARE (A.), SANDA (S. I.), DIEDHIYOU (A.) et JANICO (S.), 2012. « Variabilité pluviométrique, changement climatique et régionalisation en région de mousson africaine » in *La Météorologie* n°8 / Special-AMMA, p. 41.

**HAUSSE DES ECOULEMENTS SUR LE BASSIN VERSANT DE DARGOL :
ENTRE FACTEURS ANTHROPIQUE ET CLIMATIQUE**

- FOURNIER (J.), 1993. *Agressivité climatique et risques érosifs dans la région de Dschang, Ouest Cameroun*, Cameroun: Université de Dschang, 12 pages.
- GREIGERT (J.) & POUUNET (R.), 1967. *Essai de description des formations géologiques de la République du Niger*. BRGM Paris, 273 pages.
- HIERNAUX (P.), DIARRA (L.), TRICHON (V.), MOUGIN (E.), SOUMAGUEL (N.) & BAUP (F.), 2009. « Woody plant population dynamics in response to climate changes from 1984 to 2006 in Sahel (Gourma, Mali) » in *Journal of Hydrology* vol. 375, n°1–2, pp. 103–113.
- INS. (2010). *Annuaire statistique des cinquante ans d'indépendance du Niger*. Institut national de la statistique du Niger, 338 p.
- INS. (2014). *4ème recensement général de la population et de l'habitat du Niger/Repertoire national des localités*. Institut national de la statistique du Niger, 734 p.
- IRD-HSM. (2002) *KhronoStat*. Montpellier.
<http://www.hydrosociences.org/spip.php?article239>.
- Le-BARBE (L.), LEBEL (T.) et TAPSOBA (D.), 2002. « Rainfall Variability in West Africa during the Years 1950–90 » in *Journal of Climate* vol.15, n°2, pp. 187–202.
- LEBEL (T.) et ALI (A.), 2009. « Recent trends in the Central and Western Sahel rainfall regime (1990-2007) » in *Journal of Hydrology* vol. 375, n°1-2, pp. 52–64.
- LEBLANC (M. J.), FAVREAU (G.), MASSUEL (S.), TWEED (S.O.), LOIREAU (M.) & CAPPELAERE (B.), 2008. « Land clearance and hydrological change in the Sahel : SW Niger » in *Global and Planetary Change* vol. 61, n°3–4, pp. 135-150.
- LOIREAU (M.), 1998. *Espaces-ressources-usages : spatialisation des interactions dynamiques entre les systèmes sociaux et les systèmes écologiques au Sahel nigérien*. Thèse de l'Université de Montpellier 3. 411 pages.
- LUBES-NIEL (H.), MASSON (J.), PATUREL (J.) et SERVAT (E.), 1998. « Variabilité climatique et statistiques. Étude par simulation de la puissance et de la robustesse de quelques tests utilisés pour vérifier l'homogénéité de chroniques » in *Revue des Sciences de l'Eau* n°3, pp. 383-408.
- MAHE (G.), OLIVRY (J.-C.), DESSOUASSI (R.), ORANGE (D.), BAMBA (F.) et SERVAT (E.), 2000. « Relations eaux de surface–eaux

- souterraines d'une rivière tropicale au Mali » in *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences. Earth and Planetary Science* vol. 330, n°10, pp. 689–692.
- MAHÉ (G.), LEDUC (C.), AMANI (A.), PATUREL (J.-E.), GIRARD (S.), SERVAT (E.) et DEZETTER (A.), 2003. « Augmentation récente du ruissellement de surface en région soudano-sahélienne et impact sur les ressources en eau » in *IAHS Publication*, n° 278, pp. 215–222.
- MAHE (G.), OLIVRY (J.) & SERVAT (E.), 2005. «Sensibilité des cours d'eau ouest-africains aux changements climatiques et environnementaux : extrêmes et paradoxes » in *IAHS Publication* n°296, pp 169–177.
- MAHE (G.) & PATUREL (J.-E.), 2009. «1896–2006 Sahelian annual rainfall variability and runoff increase of Sahelian Rivers » in *Comptes Rendus Geoscience* volume 341, n°7, pp 538–546.
- MALAM ABDOU (M.), 2014. *États de surface et fonctionnement hydrodynamique multi-échelles des bassins sahéliens ; études expérimentales en zones cristalline et sédimentaire*. Thèse de Doctorat réalisée en cotutelle entre l'Université de Grenoble 1 et l'Université Abdou Moumouni de Niamey. 268p + annexes
- MALAM ABDOU (M.), VANDERVAERE (J.P.), BOUZOU MOUSSA (I.), DESCROIX (L.), FARAN MAIGA (O.), SOULEY (A.), BODO SEYNI (B.) OUSSEINI DAOUDA (M.L.), 2015. «Évolution temporelle de la conductivité hydraulique d'un sol sableux cultivé du Niger » in *Biotechnologie Agronomie Société et Environnement*, vol. 19, n°3, pp 270–280.
- MORSCHER (J.) & FOX (D.), 2004. «Une méthode de cartographie du risque érosif : application aux collines du Terrefort Lauragais » *Mappemonde* volume 4, n°76, pp 1-11.
- PANTHOU (G.), 2013. *Analyse des extrêmes pluviométriques en Afrique de l'Ouest et de leur évolution au cours des 60 dernières années*. Thèse de l'Université de Grenoble 1. 270p
- PANTHOU (G.), VISCHER (T.), LEBEL (T.), QUANTIN (G.) & FAVRE (A.-C.), 2012. « Évolution récente des extrêmes pluviométriques en Afrique de l'ouest », pp. 595–600, in BIGOT (S.) et ROME (S.) (Eds). *Les climats régionaux : observation et modélisation*, Actes de l'AIC, volume 25, 810 pages. Grenoble.
- PANTHOU (G.), VISCHER (T.) & LEBEL (T.), 2014. «Recent trends in the regime of extreme rainfall in the Central Sahel » in *International Journal of Climatology* volume 34, pp. 3998-4006

- POUYAUD (B.), 1987. *Variabilité spatiale et temporelle des bilans hydriques de quelques bassins versants d'Afrique de l'Ouest en liaison avec les changements climatiques*, 21 pages. ORSTOM, Montpellier.
- RICHARD (J.-F.), 1990. *La dégradation des paysages en Afrique de l'Ouest : points de vue et perspectives de recherches*. RICHARD (J.-F) (Ed.). Presse universitaire de Dakar, 310 pages.
- ROOSE (E.), 1973. *Dix-sept années de mesures expérimentales de l'érosion et du ruissellement sur un sol ferrallitique sableux de Basse Côte d'Ivoire. Contribution à l'étude de l'érosion hydrique en milieu intertropical*. Thèse de l'Université d'Abidjan. 221 pages.
- ROOSE (E.), 1977. *Érosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest, vingt années de mesures en parcelles expérimentales*. Travaux et Documents de l'ORSTOM n° 78, 108 pages.
- ROOSE (E.), 1983. «Ruissellement et érosion avant et après défrichement en fonction du type de culture en Afrique Occidentale » in *Cahier ORSTOM Série Pédologie* vol. 20, n°4, pp. 327–339.
- SEGUI (L.), CAPPELAERE (B.), MILESI (G.), PEUGEOT (C.), MASSUEL (S.) et FAVREAU (G.), 2004. «Simulated impacts of climate change and land-clearing on runoff from a small Sahelian catchment » *Hydrological Processes*, vol.18, n°17, pp. 3401–3413.
- SOULEY YERO (K.), 2012. *Évolution de l'occupation des sols dans l'Ouest du Niger : Influence sur le cycle de l'eau*. Thèse de l'Université de Grenoble 1. 231 p.
- VISCHEL (T.), 2006. *Impact de la variabilité pluviométrique de méso-échelle sur la réponse des systèmes hydrologiques sahéliens modélisation, simulation et désagréation*. Thèse de l'Université de Grenoble- INPG. 279 p.
- WISCHMEIER (W. H.), 1959. «A Rainfall Erosion Index for a Universal Soil-Loss Equation » in *Soil Science Society of American Journal*. vol 23, n°3, pp 246-249.