

**VARIABILITÉ CLIMATIQUE ET DYNAMIQUES
INTERANNUELLES DES MARES ET RAVINES EN ZONES
CRISTALLINE ET SÉDIMENTAIRE DE L'OUEST DU NIGER**

**Moussa MALAM ABDOU^{1*}, Mahamadou BAHARI IBRAHIM²,
Oumarou FARAN MAIGA², Souleymane MOHAMED BELLO²,
Ibrahim MAMADOU¹, Bachir ABBA¹,
Ibrahim BOUZOU MOUSSA² et Luc DESCROIX³**

¹ *Université de Zinder, Département de Géographie, BP 656, Zinder, NIGER*

² *Université Abdou Moumouni de Niamey, Département de Géographie,
BP 418, Niamey, NIGER*

³ *Institut de Recherche pour le Développement (IRD), UMR 208 PALOC
MNHN, Département Hommes, Nature, Sociétés.
75231 Paris cedex 05, France*

* Correspondance, e-mail : moussa.malamabdou@gmail.com

RÉSUMÉ

Ce travail a pour objectif de comparer les dynamiques des mares et ravines dans les deux ensembles géologiques de l'Ouest du Niger dans un contexte de variabilité climatique. Il s'appuie sur l'étude diachronique des images SPOT et sur l'analyse des données pluviométriques des soixante dernières années. Les résultats mettent en évidence quatre (4) types de dynamiques : la stabilité, la disparition, la coalescence et la création de nouvelles mares. Les mares stables, celles dont la variation de superficie entre 1986 et 2010 n'est pas significative, sont peu nombreuses ($\approx 6\%$) et sont situées sur les plateaux subhorizontaux caractéristiques du bassin sédimentaire des Iullemeden. A l'inverse, 85 % des mares disparues ou ayant tendance à disparaître sont situées dans les lits des cours d'eau où l'intensité de la dynamique érosive engendre leur envasement ou leur morcellement. En zone cristalline, le nombre de mares a plus que doublé en 25 ans, contre une progression de l'ordre de 45 % en zone sédimentaire. L'augmentation du nombre des mares est observée aussi bien pendant les années pluvieuses que pendant les sécheresses. Elle présente de réelles opportunités de productions agricoles de contre saison.

Mots-clés : *augmentation de mares, socle cristallin, bassin sédimentaire, endoréisme-exoréisme, Niger, Sahel.*

ABSTRACT

Climatic variability and inter-annual dynamics of ponds and gullies in crystalline and sedimentary areas of western Niger

This work aims to compare the inter-annual dynamics of ponds and gullies in two geological domains of western Niger in a climatic variability context. It is based on the diachronic study of SPOT images and on the analysis of rainfall data for the last sixty years. The results highlight four (4) types of dynamics: stability, disappearance, coalescence and the creation of new ponds. The stable ponds, those whose surface variation between 1986 and 2010 is not significant, are few ($\approx 6\%$) and are located on the sub-horizontal plateaus characteristic of the Iullemeden sedimentary basin. On the other hand, 85% of the disappeared or disappearing ponds are located in the beds of streams where the intensity of the erosive dynamics causes their siltation or fragmentation. In the crystalline area, the number of ponds has more than doubled in 25 years, compared with an increase of about 45% in the sedimentary area. The increase in the number of ponds is observed both during the rainy years and during the droughts. It presents real opportunities for off-season agricultural production.

Keywords : *ponds increasing, crystalline basement, sedimentary basin, endorheic-exoreic, Niger, Sahel.*

I - INTRODUCTION

Au Sahel, plusieurs études ont mis en évidence une baisse des précipitations dont le début se situe vers la fin des années 1960 [1, 2]. Cette tendance à la baisse a d'ailleurs persisté jusqu'aux années 1995 voire 2000 [3, 4] devenant ainsi la phase de sécheresses jamais égalée dans le monde en durée et en intensité [5] depuis la normalisation des mesures météorologiques en 1850. Paradoxalement, d'autres études ont montré qu'on avait assisté, au cours de la même période, à une augmentation des écoulements des cours d'eau [6 - 8] et à une multiplication du nombre de mares [9, 10]. Les recherches hydrologiques effectuées dans l'Ouest du Niger sont essentiellement centrées sur le bassin sédimentaire des Iullemeden. Sur ce bassin, il est ainsi montré une augmentation du nombre des mares [9] et qui a largement contribué à l'accumulation des réserves en eau des nappes phréatiques du Continental Terminal [11 - 13]. L'abondance de ces ressources en eau s'y manifeste par des résurgences et des sources qui affleurent localement dans les lits des cours d'eau fossiles [14, 15]. Ces nappes affleurantes soutiennent de plus en plus les écoulements et laissent présager une reprise de fonctionnalité de ces cours fossiles, ce qui est probable dans le contexte actuel des conditions

pluviométriques relativement meilleures [3, 4]. La reprise peut, par ailleurs, être accélérée par des dynamiques érosives très intenses modifiant la morphologie de lit des cours d'eau [16 - 19]. Sur le socle cristallin du Liptako-Gourma, qui est le second ensemble géologique de l'Ouest du Niger, la dynamique des mares et, par extension, la dynamique hydrologique est assez mal connue. Les quelques rares études [20 - 25] qui y sont réalisées ont, néanmoins, permis de montrer l'aptitude intrinsèque au ruissellement de ce secteur [24, 25] ainsi que l'exorésisme des écoulements et l'intensité de crues [18, 26] et des inondations [22, 27]. Dans ce contexte géologique, la dynamique spatio-temporelle des mares est-elle similaire à celle du bassin sédimentaire ? Si oui, quelles sont les conséquences de cette dynamique sur le comportement hydrologique (endorésisme, exorésisme) des cours d'eau et sur les activités socio-économiques ? Ce travail a donc pour objectif de comparer les dynamiques des mares et ravines dans les deux contextes géologiques de l'Ouest du Niger en lien avec les tendances climatiques des années 1950 à nos jours.

II - MATÉRIEL ET MÉTHODES

La *Figure 1* illustre la zone d'étude qui correspond à une fenêtre-échantillon d'environ 25000 km² et qui s'étend de part et d'autre du fleuve Niger. Elle intègre les deux ensembles géologiques et hydrologiques caractéristiques de l'Ouest du Niger, cristalline et exoréique d'une part, sédimentaire et endoréique de l'autre. Morphologiquement, la zone cristalline est le domaine de plaines et de longs glacis, entrecoupés par des affleurements rocheux (boules chaotiques, dômes) et ou par des buttes résiduelles. En revanche, le relief de la zone sédimentaire est largement dominé par des plateaux subhorizontaux séparés des versants relativement courts et peu pentus. Le régime pluviométrique de la zone d'étude est type sahélien semi-aride caractérisé par des pluies estivales (de juin à septembre). Le maximum de pluviosité s'observe généralement en Aout. Au cours des cinquante dernières années, la pluviométrie moyenne interannuelle est de l'ordre de 540 mm (± 130) à la station de Niamey. Les productions agricoles sont essentiellement pluviales. On note, néanmoins, les cultures irriguées et le maraichage qui se pratiquent de manière intensive au bord du fleuve Niger ou autour de certaines mares plus ou moins permanentes. Pour caractériser les dynamiques interannuelles des mares, une analyse diachronique est ainsi réalisée par l'exploitation des images SPOT des années 1986 (les premières images Spot de la zone datent de cette année) et 2010. Toutes les images ont été prises en fin de saison des pluies, entre septembre et octobre, période pendant laquelle tous les points d'eau sont plus ou moins remplis et donc facilement identifiables sur les images. L'approche d'étude a consisté à inventorier les

mares et ravines par photo-interprétation et à déterminer leurs caractéristiques, longueur pour les ravines, superficies, coordonnées et position topographique pour les mares. Les données spatiales ainsi collectées sont ensuite confrontées afin de déterminer, entre les deux dates, les mares stables, les mares disparues, les mares élargies et les mares nouvellement créées. Une mare est dite stable si la variation de sa superficie entre 1986 et 2010 n'excède pas 25 % de sa superficie de référence qui est celle de 1986. Si l'évolution, positive ou négative, dépasse les 25 %, la mare est dite respectivement élargie ou ayant tendance à disparaître.

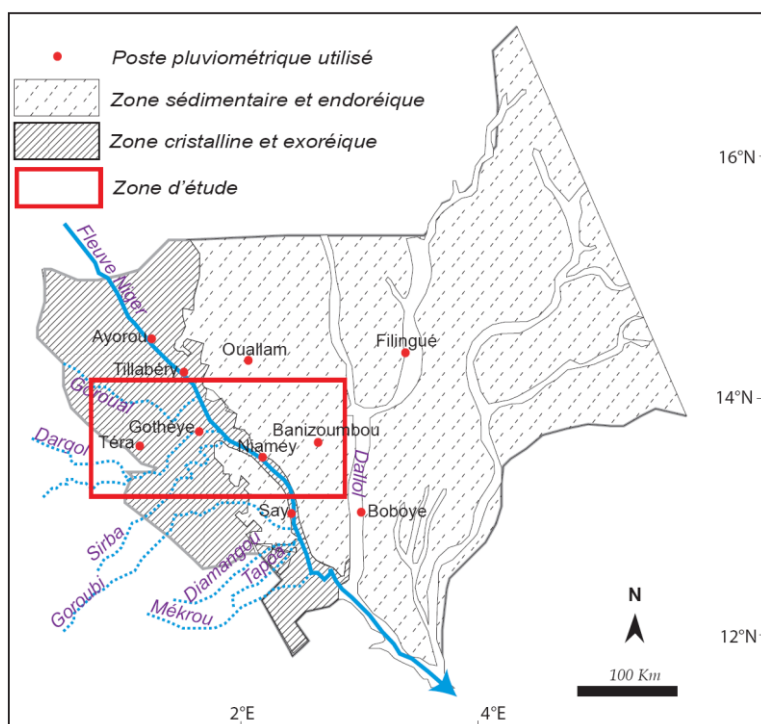


Figure 1 : Situation de la zone d'étude dans l'Ouest du Niger

L'évolution des réseaux hydrographiques est appréhendée par la détermination de la densité de drainage (D_d) qui définit la longueur de ravinement par unité de surface à un instant donné. Elle s'obtient par :

$$D_d = \frac{\sum_{i=1}^n L}{S} \quad (1)$$

(L est la longueur des cours d'eau en km et S , la superficie drainée en km^2)

Les tendances d'évolution des mares et ravines sont par la suite corrélées aux données pluviométriques des soixante dernières années afin d'analyser les

dynamiques climatiques et hydrographiques de la zone d'étude. Ainsi, les données pluviométriques de quelques stations représentatives de la zone d'étude (**Figure 1**) ont été analysées avec le logiciel Khronostat[®] afin d'étudier l'évolution de la pluviométrie par la méthode de Pettitt [28], réputée pour sa robustesse.

III - RÉSULTATS

III-1. État des mares en 1986 et en 2010 dans l'Ouest du Niger

La **Figure 2** représente l'état des mares en 1986 (A) et en 2010 (B). En admettant une variabilité de dynamique des mares par unité topographique, nous distinguons les mares des plateaux de celles des bas-fonds. En 1986, les mares de bas-fonds représentent 57 et 60 % des mares inventoriées, respectivement pour les zones cristalline et sédimentaire.

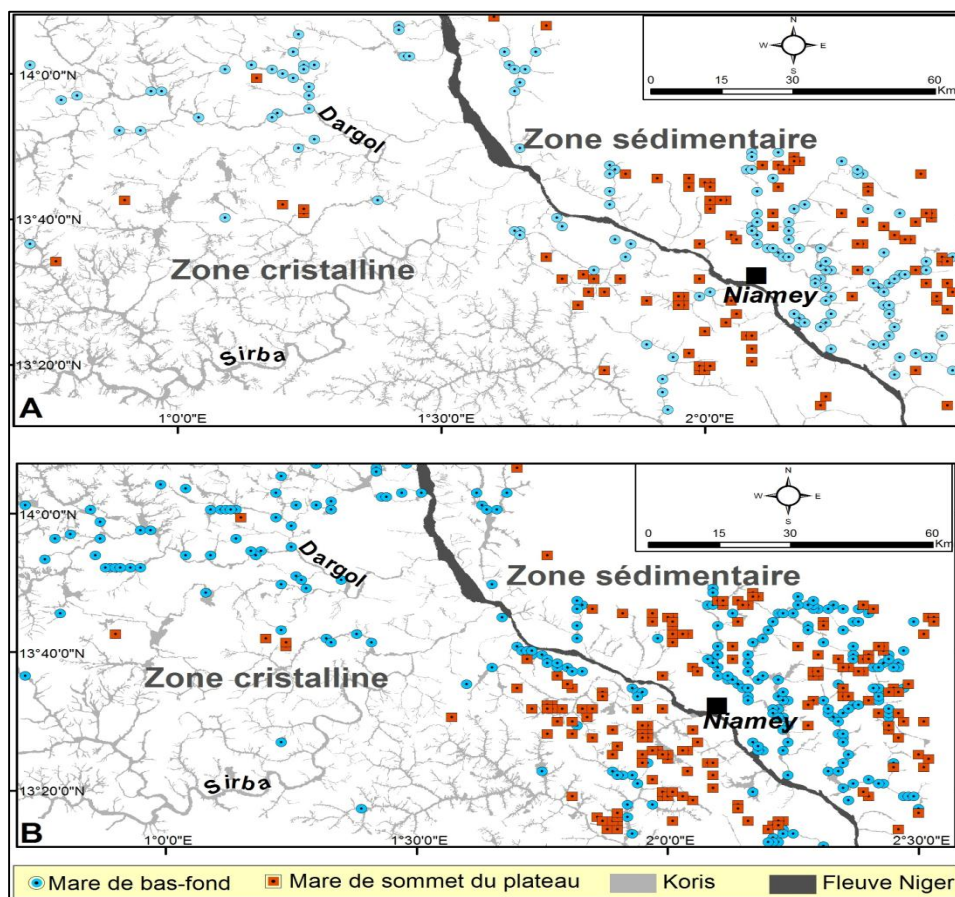


Figure 2 : Représentation des mares par contexte géologique et par unité topographique

On remarque que les mares de plateaux s'observent essentiellement à proximité du fleuve aux environs de Niamey. Ceci s'explique par l'importance, dans la région de Niamey, des plateaux gréseux entaillés dans la dernière série des dépôts continentaux (Continental Terminal, CT3) du bassin sédimentaire des Iullemeden qui s'y terminent en biseau sur les formations cristallines du Liptako. Les surfaces de ces plateaux sont subhorizontales ou légèrement déprimées, et peuvent donc voir s'accumuler des eaux pour former des mares endoréiques. D'une manière générale, le nombre de mares a augmenté tant en zone sédimentaire que cristalline. La progression est respectivement de 44 % et 129 %. Le **Tableau 1** donne l'évolution absolue des mares sur les deux zones. En zone cristalline, le nombre de mares a plus que doublé. La surface occupée par les mares est ainsi passée du simple au double en l'espace de 25 ans. Les mares sont plus abondantes en zone sédimentaire du fait de la multitude des exutoires endoréiques séparés souvent par de simples verrous sableux (cônes d'épandage) qui subsistent du fait que la faible compétence des cours d'eau actuels ne permet pas de les dégager.

Tableau 1 : Évolution du nombre et de la superficie des mares entre 1986 et 2010

	Socle		Sédimentaire	
	1986	2010	1986	2010
Nombre total des mares	86	197	161	232
Superficie totale des mares (Ha)	1461	3055	819	1568

III-2. Analyse des dynamiques des mares et ravines

La tendance globale à l'augmentation des mares dans l'Ouest du Niger présente, dans le détail, quatre types d'évolution : la stabilité, la coalescence, la disparition et la création des mares (**Figure 3**).

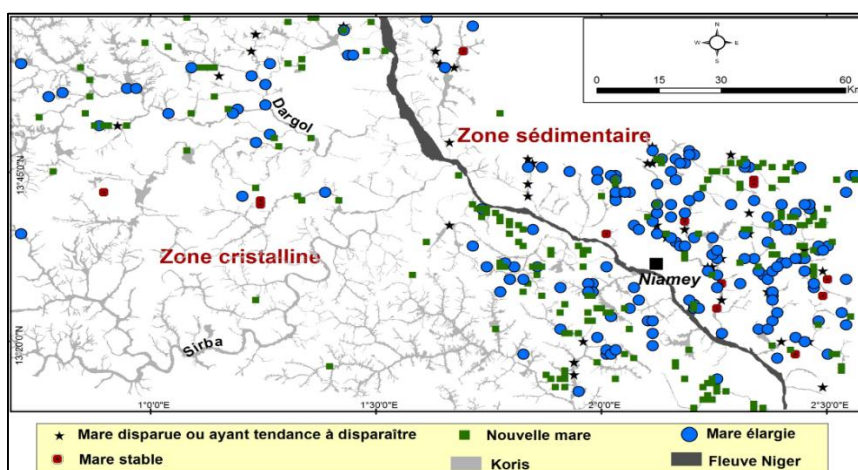


Figure 3 : Dynamiques des mares en zones cristalline et sédimentaire de l'Ouest du Niger

III-2-1. Les mares stables

Elles correspondent aux mares inventoriées en 1986 et qui, en 2010, n'ont pas connu un changement significatif de leur superficie. Le seuil de significativité étant fixé au $\frac{1}{4}$ de leurs superficies de référence qui est celle de 1986. Donc toutes les mares dont la superficie en 2010 n'a pas connu un changement (en plus ou en moins) de l'ordre de 25 % par rapport à sa superficie de 1986 sont dites stables. Les mares stables sont peu nombreuses. En effet, sur les 247 mares recensées en 1986, seules 14 sont stables dont trois en zone cristalline et onze en zone sédimentaire. Soixante pour cent de ces mares sont situées sur les plateaux gréseux qui sont davantage observés en zone sédimentaire. Ces mares endoréiques sont quasiment déconnectées des réseaux hydrographiques des bassins.

III-2-2. Les mares disparues ou ayant tendance à disparaître

Contrairement aux mares stables, 85 % des mares disparues ou ayant tendance à disparaître sont situées dans les bas-fonds, notamment dans les lits des cours d'eau. Ces mares sont soumises à des activités érosives intenses, ce qui engendre leurs envasements ou leurs morcellements. Le morcellement est davantage observé à la confluence des cours d'eau où se forment des cônes d'épandage sableux (ou des verrous sableux) nés de la perte des charges à la jonction des flux. La **Figure 4** illustre quelques cas de morcellement achevé et un autre en cours dans le cours du Kori Ouallam aux environs de Niamey. La formation des cônes entraîne la migration des mares car l'accumulation des dépôts sédimentaires aboutit progressivement au déplacement des fonds des mares. Ainsi, une mare morcelée par un cône forme deux parties qui s'éloignent l'une de l'autre au fur et à mesure que ce cône sableux s'élargit. Cet élargissement se fait au détriment des mares qui perdent alors leurs superficies ou finissent même par disparaître. En 2010, il est ainsi recensé 27 et 35 mares, respectivement pour les zones cristalline et sédimentaire, qui ont perdu de 25 à 100 % de leurs superficies de 1986.

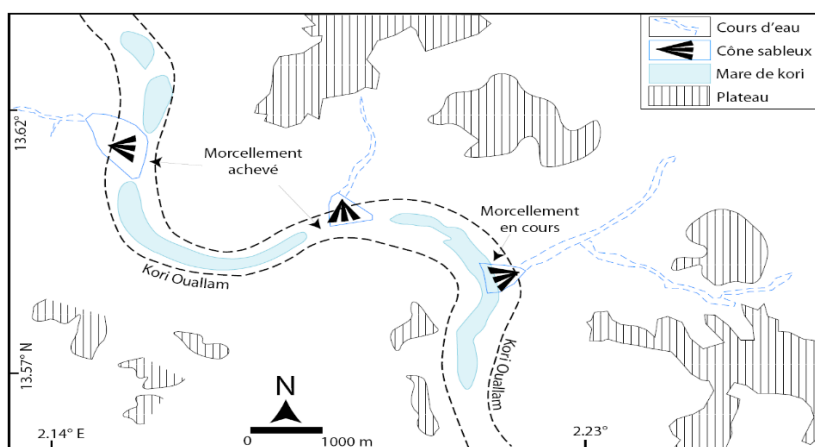


Figure 4 : *Processus de morcellement de mares par des cônes d'épandage sableux dans le lit du kori Ouallam (zone sédimentaire)*

III-2-3. Les mares élargies

Les deux parties d'une mare morcelée par un cône peuvent de nouveau se joindre pour former une seule mare à l'occasion des écoulements exceptionnels capables de rompre le verrou sableux. Ces ruptures sont peu fréquentes à l'échelle annuelle mais bien des cas sont observés à l'échelle pluriannuelle. Elles engendrent alors la coalescence ou l'élargissement des mares. Environ 65 et 70 % respectivement des mares cristallines et sédimentaires ont connu cette dynamique. La proportion d'élargissement varie entre 25 et 4000 % de la superficie initiale des mares. La coalescence d'une mare peut s'expliquer par la jonction de plusieurs mares mais aussi par l'augmentation des ruissellements en zone sahélienne qui accroît les apports d'eau vers ces mares. La hausse des ruissellements résulte des effets conjoints des sécheresses et des actions anthropiques qui ont entraîné la dégradation de l'environnement. En zone cristalline, les mares élargies s'observent, d'une part, dans le réseau hydrographique du Dargol et ses affluents du fait, probablement, des matériaux sableux facilement mobilisables que fournissent les dunes dégradées ou semi-fixées (**Figure 5**). Ces matériaux achèvent leurs courses soit dans les mares, où elles contribuent à leurs comblements, soit aux confluences, où elles forment des cônes. Les mares élargies s'observent, d'autre part, à proximité du fleuve où la majorité d'entre elles sont situées sur des plateaux sur lesquels elles s'agrandissent du fait de l'augmentation des ruissellements et de la faiblesse de la pente des plateaux qui ne permet pas le drainage des ruissellements vers l'aval. En zone sédimentaire, les mares élargies se situent dans le lit de presque tous les cours d'eau.

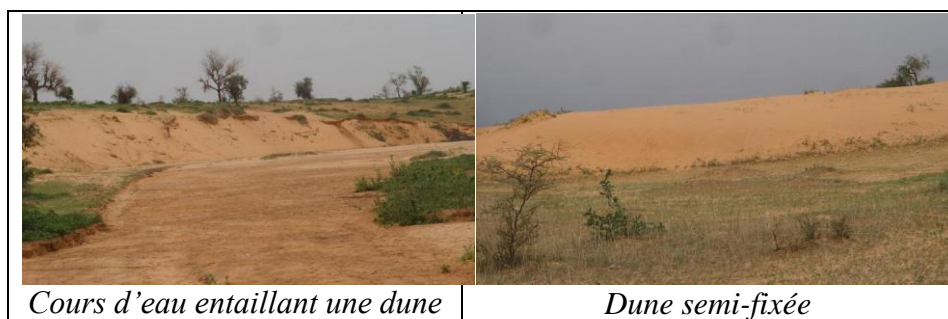


Figure 5 : Matériaux sableux mobilisables sur le bassin versant de Dargol

III-2-4. Les mares nouvelles

Elles correspondent aux mares inventoriées en 2010 et qui n'existaient pas en 1986. Plus de 200 mares sont recensées dont plus des 60 % se trouvent en zone cristalline. L'apparition de nouvelles mares est davantage observée dans les koris (65 % des cas). On déduit alors que les nouvelles mares proviennent des morcellements des mares existantes mais aussi de la création d'autres puisque

la somme des superficies des mares est plus importante en 2010 qu'en 1986 (cf. *Tableau 1*). Ainsi, la dynamique de création et d'extension des mares rapportée dans la zone sédimentaire et endoréique est également observée dans la zone cristalline de l'Ouest du Niger. La dynamique de création y est même plus intense qu'ailleurs comme l'illustre la *Figure 6*.

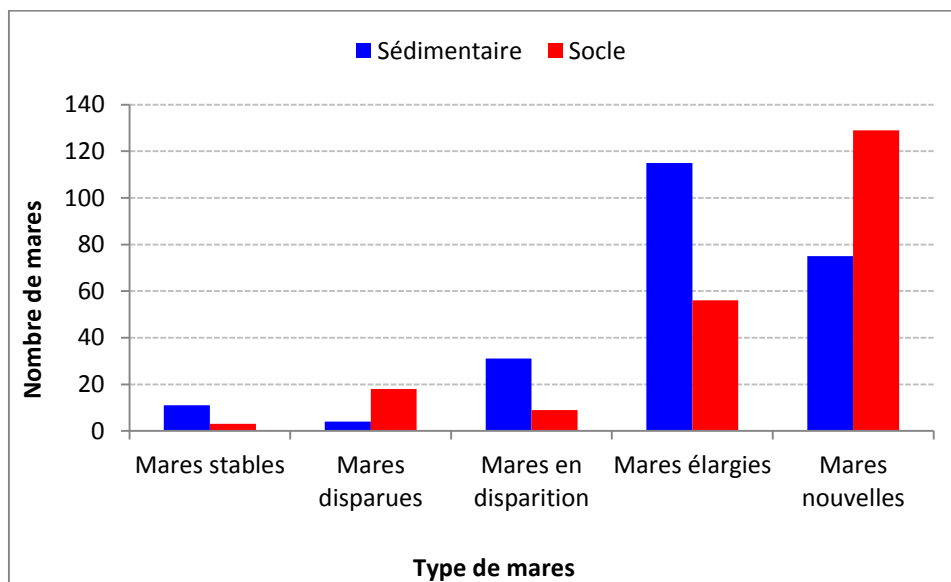


Figure 6 : *Dynamiques des mares en zones cristalline et sédimentaire de l'Ouest du Niger*

III-2-5. Dynamique des ravines

Cette dynamique a été appréhendée à travers l'analyse de la densité de drainage. En zone cristalline, cette dernière est passée de 0.74 km/km² en 1986 à 0.84 km/km² en 2010, soit une vitesse spécifique moyenne de ravinement de l'ordre de 4 m/km²/an. Cette tendance traduit donc une intensification des ravinements. La même tendance est observée sur la zone sédimentaire mais à un rythme plutôt moindre car la vitesse spécifique de ravinement de 2.5 m/km²/an.

IV - DISCUSSION

Les dynamiques des mares précédemment analysées peuvent être regroupées en deux catégories suivant la tendance négative, représentée par les mares disparues et celles en disparition et la tendance positive, représentée par les mares nouvelles et élargies. Les mares stables ne sont pas prises en compte puisqu'elles sont soumises à une dynamique plutôt lente et sont relativement

peu nombreuses. En admettant que la disparition ou la tendance à la disparition d'une mare par comblement aboutit à une continuité de l'écoulement dans le kori, la tendance négative impliquerait alors une reprise de fonctionnalité des cours d'eau se traduisant par une régularité des écoulements. Ceci est d'autant plus probable que la quasi-totalité de mares qui suivent cette dynamique sont situées dans les koris. Il est montré [29] que l'endoréisme des mares situées dans les koris est réversible, sous réserve des conditions pluviométriques relativement meilleures et capables de faire rompre les verrous. Ces conditions sont en train d'être observées dans le Sahel central [3, 4, 30] où depuis la fin de la décennie 1990, les cumuls pluviométriques annuels deviennent supérieurs, de l'ordre de 10 à 20 % [24, 31] à ceux de la période sèche des années 1970 à 1990. Des dynamiques hydro-érosives intenses [32, 33] et des ruptures d'endoréismes [18, 26] sont d'ailleurs rapportées. Si ces dynamiques continuent, elles renforceront alors la tendance à l'exoréisme des écoulements [18]. Inversement, la coalescence des mares et l'apparition des nouvelles mares traduisent le renforcement de l'endoréisme.

Ainsi, étant donné l'importance numérique de ces types de mares (*cf. Figure 6*), le fonctionnement des cours d'eau de l'Ouest du Niger tendrait donc globalement vers le renforcement de l'endoréisme. Cette tendance est davantage influencée par la situation géomorphologique de mares des plateaux dont l'endoréisme est irréversible [29]. Celles-ci sont, effet, isolées du système bassin versant et ne sont pas soumises à une activité érosive intense pouvant permettre de les intégrer dans ce système à court et moyen termes. La *Figure 7* représente les deux tendances dans l'Ouest du Niger. Celles-ci se répartissent indistinctement aux zones. La zone cristalline, qui est largement exoréique, présente des cas d'endoréisme qui s'observent d'une part, sur le bassin de Dargol du fait des matériaux sableux mobilisables qui créent des verrous dans le lit des cours d'eau et, d'autre part, à proximité du fleuve où se développent des mares des plateaux. Dans la zone sédimentaire, plutôt endoréique, plusieurs cas d'exoréisme sont observés sur le kori de Karma, le Kori Ouallam par exemple. Sur ce dernier, des écoulements se constituent sur des longues sections et peuvent même atteindre le fleuve selon les années. De ce fait, le partage de zone endoréique-exoréique établi de part et d'autre du fleuve est toujours variable et reste une question d'échelle.

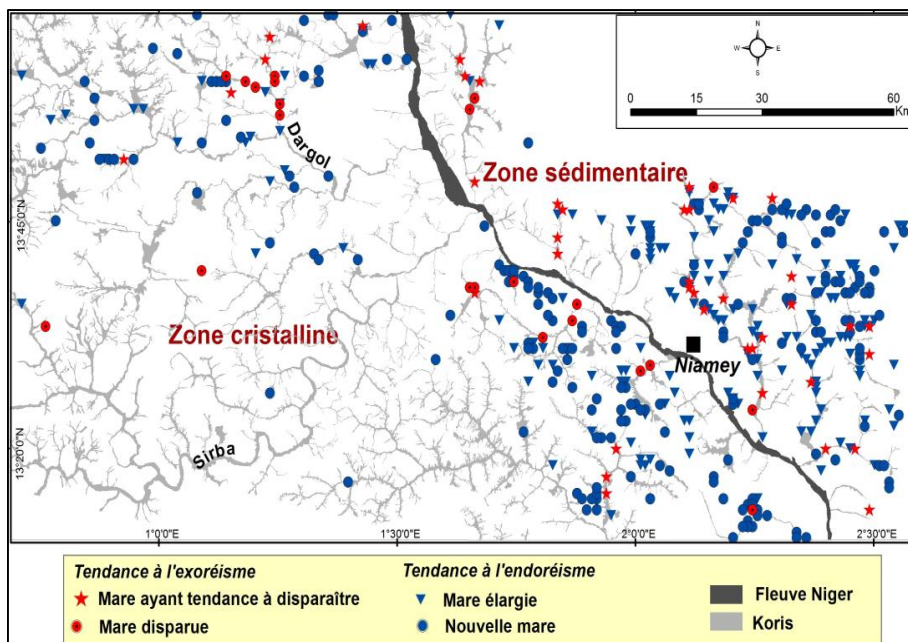


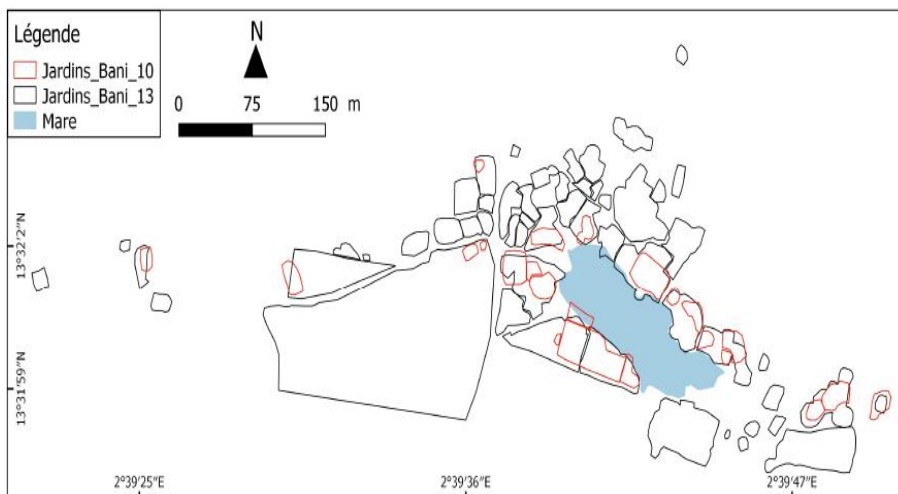
Figure 7 : *Tendance à l'endorisme et à l'exorisme des écoulements dans l'Ouest du Niger*

La tendance à l'augmentation des mares dans l'Ouest du Niger est-elle cohérente avec l'évolution climatique ? L'analyse des données pluviométriques de 1950 à 2010 montre que la distribution temporelle des précipitations a connu deux changements significatifs (**Tableau 2**). Le premier est intervenu autour de l'année 1967 et a concerné toutes les stations étudiées. Il marque le début d'une période de récession pluviométrique qui s'est étalée sur une trentaine d'années. Cette rupture négative s'est traduite par une baisse des cumuls pluviométriques allant de 14 à près de 40 % par rapport aux cumuls de la période humide des décennies 1950 et 1960. L'augmentation des mares, qui est remarqué depuis les années 1970, n'est donc pas en cohérence avec la tendance pluviométrique. Bien qu'un retour à la pluviosité soit observé pour certaines stations (Ayorou, Boboye et Ouallam), plusieurs auteurs [16, 34, 35] admettent que l'augmentation des mares résulte de la dégradation environnementale causée principalement par l'homme à travers les changements d'usage des sols.

Tableau 2 : 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	/
Say	1969	/	-20	/
Filingué	1968	/	-35	/
Ouallam	1967	1989	-39	+27
Boboye	1967	1996	-26	+22

Cependant, la disponibilité des ressources en eau née de la création et de la permanence des mares dans l'Ouest du Niger a engendré une mise en valeur agricole non négligeable à travers l'irrigation et le maraichage. C'est le cas par exemple à Banizoumbou (à 70 km à l'Est de Niamey) où la surface irriguée autour d'une mare est passée de moins d'un hectare à plus de 5 ha entre 2010 et 2013 (**Figure 8**). Des exemples abondent de plus en plus tant sur la zone sédimentaire que cristalline. Dans la zone sédimentaire, des travaux soulignent des réelles opportunités agricoles qu'engendrent l'accessibilité des eaux de surfaces et souterraines [36, 15]. Ces opportunités offrent de bonnes perspectives pour l'atteinte de sécurité alimentaire.

**Figure 8 : Évolution des jardins maraichers autour de la mare de Banizoumbou**

V - CONCLUSION

Ce travail met en évidence la similitude de dynamique des mares dans les zones cristalline et sédimentaire de l'Ouest du Niger. L'évolution interannuelle de ces mares se caractérise globalement par une augmentation et une coalescence des mares, rendant ainsi les eaux de surface plus disponibles pour les exploitations agricoles. La dynamique d'augmentation des mares est plus intense en zone cristalline où le nombre de celles-ci a plus que doublé au cours des 25 dernières années. L'analyse détaillée de l'évolution de ces mares fait ressortir des dynamiques complexes, et ce particulièrement pour les mares de koris soumises à des activités érosives intenses. Ces mares passent de l'état endoréique à exoréique et vice versa au gré de la compétence des cours d'eau. La corrélation de l'évolution des mares avec la tendance climatique récente met en exergue l'incohérence des dynamiques car l'augmentation des mares a eu lieu pendant les sécheresses qui se sont caractérisées par une très forte augmentation des ruissellements. Cependant, la disponibilité des ressources en eau de surface qui en résulte offre de bonnes perspectives de production alimentaire. Autour de ces mares, les cultures irriguées, le maraichage et la pêche se développent timidement et contribuent à des degrés variables aux revenus et à la diversité alimentaire des ménages.

RÉFÉRENCES

- [1] - L. LE BARBÉ, T. LEBEL et D. TAPSOBA, « Rainfall Variability in West Africa during the Years 1950–90 », *Journal of Climatology*, Vol. 15, N° 2 (2002) 187 - 202 p.
- [2] - G. PANTHOU, T. VISCHEL et T. LEBEL, « Recent trends in the regime of extreme rainfall in the Central Sahel », *International Journal of Climatology*, Vol. 34, (2014) 3998 - 4006 p.
- [3] - T. LEBEL et A. ALI, « Recent trends in the Central and Western Sahel rainfall regime (1990-2007) », *Journal of Hydrology*, Vol. 375, N° 1-2 (2009) 52 - 64 p.
- [4] - M. R. JURY, « A return to wet conditions over Africa : 1995–2010 », *Theoretical and Applied Climatology*, Vol. 111, N° 3-4, (2013) 471 - 481 p.
- [5] - A. DAI, P. J. LAMB, K. E. TRENBERTH, M. HULME, P. D. JONES, et P. XIE, « The recent Sahel drought is real », *International Journal of Climatology*, Vol. 24, N° 11 (2004) 1323 - 1331 p.
- [6] - O. AMOGU *et al.*, « Increasing River Flows in the Sahel? », *Water*, Vol. 2, N° 2 (2010) 170 - 199 p.
- [7] - G. MAHE *et al.*, « The rivers of Africa: witness of climate change and human impact on the environment: HOW CLIMATE AND HUMAN CHANGES IMPACTED RIVER REGIMES IN AFRICA », *Hydrological Processes*, Vol. 27, N° 15 (2013) 2105 - 2114 p.
- [8] - V. AICH, S. LIERSCH, T. VETTER, J. C. M. ANDERSSON, E. N. MÜLLER et F. F. HATTERMANN, « Climate or Land Use?—Attribution of Changes in River Flooding in the Sahel Zone », *Water*, Vol. 7, N° 6 (2015) 2796 - 2820 p.

- [9] - S. MASSUEL, « Evolution récente de la ressource en eau consécutive aux changements climatiques et environnementaux du sud-ouest Niger. Modélisation des eaux de surface et souterraines du bassin du kori de Dantiandou sur la période 1992-2003 », Université Montpellier II - Sciences et Techniques du Languedoc, (2005)
- [10] - J. GARDELLE, P. HIERNAUX, L. KERGOAT et M. GRIPPA, « Less rain, more water in ponds: a remote sensing study of the dynamics of surface waters from 1950 to present in pastoral Sahel (Gourma region, Mali) », *Hydrol Earth Syst Sci.*, Vol. 14, N° 2 (2010) 309 - 324 p.
- [11] - C. LEDUC, G. FAVREAU et P. SCHROETER, « Long-term rise in a Sahelian water-table: the Continental Terminal in South-West Niger », *Journal of Hydrology*, Vol. 243, N° 1-2 (2001) 43 - 54 p.
- [12] - G. FAVREAU *et al.*, « Land clearing, climate variability, and water resources increase in semiarid southwest Niger: A review », *Water Resources Research*, vol. 45, N° 7, (2009) W00A16, 2009 p.
- [13] - M. IBRAHIM *et al.*, « Long-term increase in diffuse groundwater recharge following expansion of rainfed cultivation in the Sahel, West Africa », *Hydrogeological Journal*, Vol. 22, N° 6 (2014) 1293 - 1305 p.
- [14] - G. FAVREAU, Y. NAZOU MOU, M. LEBLANC, A. GUÉRO et I. BABA GONI, « Groundwater resources increase in the Iullemeden Basin, west Africa », in *Climate Change Effects on Groundwater Resources: A Global Synthesis of Findings and Recommendations*, CRC Press., Holger Treidel; Jose Luis Martin-Bordes, UNESCO, International Hydrological Programme, Paris, France Jason J. Gurdak, San Francisco State University, California, USA, (2011) 414 p.
- [15] - Y. NAZOU MOU, G. FAVREAU, M. M. ADAMOUM et I. MAINASSARA, « La petite irrigation par les eaux souterraines, une solution durable contre la pauvreté et les crises alimentaires au Niger ? », *Cahiers Agriculture*, Vol. 25, (2016)
- [16] - M. J. LEBLANC, G. FAVREAU, S. MASSUEL, S. O. TWEED, M. LOIREAU et B. CAPPELAERE, « Land clearance and hydrological change in the Sahel: SW Niger », *Global Planetary Change*, Vol. 61, N° 3-4 (2008) 135 - 150 p.
- [17] - I. BOUZOU MOUSSA *et al.*, « Les changements d'usage des sols et leurs conséquences hydrogéomorphologiques sur un bassin-versant endoréique sahélien », *Sciences et Changements Planétaires Sécheresse*, Vol. 22, N° 1, (2011) 13 - 24 p.
- [18] - I. MAMADOU *et al.*, « Exorheism growth as an explanation of increasing flooding in the Sahel », *CATENA*, Vol. 131, (2015) 130 - 139 p.
- [19] - M. BAHARI IBRAHIM, « Dynamiques interannuelle et saisonnière de la mare de Mountséka (Niger) de 1980 à nos jours », in *Revue de l'IRSH-Niamey*, Niamey (Niger), Vol. 2, (2016) 91 - 106 p.
- [20] - M. S. ABDOU-BABAYE, « Evaluation des ressources en eau souterraine dans le bassin de Dargol (Liptako - Niger) », Université de Liège, Liège, (2012)
- [21] - L. DESCROIX, P. GENTHON, O. AMOGU, J.-L. RAJOT, D. SIGHOMNOU et M. VAUCLIN, « Change in Sahelian Rivers hydrograph: The case of recent red floods of the Niger River in the Niamey region », *Global Planetary Change*, Vol. 98-99, N° 0 (2012) 18 - 30 p.

- [22] - D. SIGHOMNOU *et al.*, « La crue de 2012 à Niamey : un paroxysme du paradoxe du Sahel ? », *Sci. Chang. Planétaires Sécher*, Vol. 24, N° 1, (2013) 3 - 13 p.
- [23] - M. MALAM ABDOU, « Etats de surface et fonctionnement hydrodynamique multi-échelles des bassins sahéliens ; études expérimentales en zones cristalline et sédimentaire », Thèse de l'Université de Grenoble 1 et de l'Université de Niamey, Grenoble, (2014)
- [24] - M. MALAM ABDOU, « Hausse des écoulements sur le bassin versant de Dargol : entre facteurs anthropiques et climatiques », *Revue de Géographie de l'Université de Ouagadougou RGO*, Vol. 2, N° 5 (2016) 19-44 p.
- [25] - M. MALAM ABDOU, J.-P. VANDERVAERE, I. BOUZOU-MOUSSA, L. DESCROIX, I. MAMADOU et O. FARAN-MAIGA, « Genèse des écoulements sur deux petits bassins versants cristallins de l'Ouest du Niger : approche multi-échelles du fonctionnement hydrodynamique », *Géomorphologie Relief Process. Environ*, Vol. 22, N° 4, (2016) 363 - 375 p.
- [26] - L. DESCROIX *et al.*, « Impact of drought and land - use changes on surface - water quality and quantity : the sahelian paradox », in *Current perspectives in contaminant hydrology and water resources sustainability*, P. M. Bradley, Éd. Rijeka: Intech, (2013) 243 - 271 p.
- [27] - V. AICH, B. KONÉ, F. F. HATTERMANN et E. N. MÜLLER, « Floods in the Niger basin; analysis and attribution », *Nat. Hazards Earth Syst. Sci. Discuss*, Vol. 2, N° 8 (2014) 5171 - 5212 p.
- [28] - A. N. PETTITT, « A non-parametric approach to the change-point problem », *Applied Statistics*, Vol. 28, N° 2 (1979) 126 - 135 p.
- [29] - J. DESCONNETS, « Typologie et caractérisation hydrologique des systèmes endoréiques en milieu sahélien (degré carré de Niamey, Niger) », Montpellier II, Montpellier, (1994)
- [30] - L. DESCROIX, A. DIONGUE NIANG, H. DACOSTA, G. PANTHOU, G. QUANTIN et A. DIEDHIOU, « Evolution des pluies de cumul élevé et recrudescence des crues depuis 1951 dans le bassin du Niger Moyen (Sahel) », *Climatologie*, Vol. 10, (2013) 37 - 50 p.
- [31] - G. PANTHOU, « Analyse des extrêmes pluviométriques en Afrique de l'Ouest et de leur évolution au cours des 60 dernières années », Université de Grenoble, Grenoble, (2013)
- [32] - I. MAMADOU, « La dynamique accélérée des koris de la région de Niamey et ses conséquences sur l'ensablement du fleuve Niger », Thèse de l'Université de Niamey et de l'Université Paris 1, Niamey-Niger, (2012)
- [33] - B. ABBA, « Dynamique des versants dans une zone anthropisée du Niger : cas du bassin du kori Tyala (périphérie du Parc national du W) », *Ann. Univ. Abdou Moumouni Niamey*, Vol. série B, (2014) 161 - 174 p.
- [34] - K. SOULEY YERO, « Evolution de l'occupation des sols dans l'Ouest du Niger : Influence sur le cycle de l'eau », Thèse de l'Université Joseph Fourier - Grenoble 1, Grenoble, (2012)
- [35] - O. AMOGU *et al.*, « Runoff evolution due to land-use change in a small Sahelian catchment », *Hydrological Science Journal*, Vol. 60, N° 1 (2015) 78 - 95 p.
- [36] - C. LEDUC, Y. NAZOU MOU, G. FAVREAU, S. MASSUEL, M. OÏ et B. OUSMANE, « Anthropisation et fluctuations climatiques au Sahara nigérien : évolution à long terme de la nappe phréatique du Continental Terminal près de Niamey », *Géologues*, N° 187, (2015) 52 - 56 p.