



Analyse de l'évolution des paysages de cuvettes oasiennes et de leurs alentours dans le centre-est du Niger

Analysis of the evolution of the oasis basin landscapes and their surroundings in central-eastern Niger

Mahamadou KARIMOU BARKÉ^{1*}, Bernard TYCHON¹, Issa OUSSEINI²,
Karimou Jean-Marie AMBOUTA³, Ousmane LAMINO MANZO⁴

Abstract: Located in the Sahelian belt, the study area corresponds to the area of extension of the oasis basins in the Department of Gouré (Niger). These oasis basins are essential to the population of this region because they provide the bulk of their income through irrigated agriculture. The objective of the study is to trace the history of the occupation of the oasis basins and their surroundings back to the past. The analyses are carried out at three periods with Landsat 5-TM images in 1984, SPOT 3 images in 1996 and SPOT 5-THX images in 2013. The areas of the oasis basins range from 46783 ha in 1984 to 34553 ha in 2013, transiting to 40831 ha in 1996. Unlike the area of declining cuvettes, their number increased from 1984 (8911) to 2013 (10717). This is explained by the resolution of the satellite images used, the subdivision of some cuvettes and the creation of new cuvettes. The vicinity of the basins often made up of dune edifice and the dried valleys are increasingly occupied by rain-fed crops. This study provides a first original information on the overall situation of the oasis basin landscape units in 1984 and 1996 compared to a baseline year (2013).

Keywords: oasis cuvette, dune degradation, Gouré, Niger

Résumé : Située dans la bande sahélienne, la zone d'étude correspond à l'aire d'extension des cuvettes oasiennes dans le Département de Gouré (Niger). Ces cuvettes oasiennes sont essentielles à la population de cette région car elles procurent l'essentiel de leurs revenus grâce à l'agriculture irriguée. L'étude a pour objectif de retracer l'histoire de l'occupation des cuvettes oasiennes et de leurs alentours en remontant dans le temps passé. Les analyses sont réalisées à trois périodes avec des images Landsat 5-TM en 1984, des images SPOT 3 en 1996 et des images SPOT 5-THX en 2013. Les superficies des cuvettes oasiennes passent de 46783 ha en 1984 à 34553 ha en 2013 en transitant à 40831 ha en 1996. Contrairement aux superficies des cuvettes en diminution, leur nombre a augmenté de 1984 (8911) à 2013 (10717). Ceci peut s'expliquer par la résolution des images satellitaires utilisées, la subdivision de certaines cuvettes et à la création de nouvelles cuvettes. Les abords des cuvettes constitués souvent d'édifices dunaires et les vallées sèches sont de plus en plus occupés par des cultures pluviales. Cette étude fournit une première information originale sur la situation d'ensemble des unités de paysage de cuvettes oasiennes en 1984 et 1996 par rapport à une année de référence (2013).

Mots-clés : cuvette oasienne, dégradation des dunes, Gouré, Niger

INTRODUCTION

Le Département de Gouré, compris entre les isohyètes 150 et 400 mm, est soumis au climat sahélo-saharien. Le paysage est caractérisé par des édifices dunaires, des vallées sèches, des affleurements rocheux et des cuvettes oasiennes (KARIMOU BARKÉ *et al.* 2015 ; KARIMOU BARKÉ, 2017). Ces dernières sont situées dans les dépressions inter-dunaires. Leur alimentation est assurée par les eaux de ruissellement et la remontée de la nappe phréatique et dépend beaucoup de l'évolution des aquifères (SANDAO, 2013). Les cuvettes oasiennes constituent la principale source de

¹ Département des Sciences et Gestion de l'Environnement, UR SPHERES, Avenue de Longwy, 185, B-6700 Arlon, Université de Liège, Belgique. Auteur correspondant : barke_mk@yahoo.fr

² Faculté des Lettres et Sciences Humaines, Université Abdou Moumouni, Niamey, Niger.

³ Faculté d'Agronomie, Université Abdou Moumouni, BP. 10960, Niamey, Niger.

⁴ Faculté d'Agronomie et des Sciences de l'Environnement, Université Dan Dicko Dankoulodo, Maradi, Niger.

revenus des populations qui en tirent l'essentiel des ressources pour satisfaire les besoins fondamentaux des familles en eau, nourriture, combustible (JAHIEL, 1998 ; ABDOU & DJAMBOUTO, 2009 ; BOUKAR KROU, 2016 ; DAN HABOU *et al.*, 2018). En effet, sans ces cuvettes, les populations rurales seraient obligées d'émigrer, ce qui pourrait amplifier la problématique des déplacements de populations pour des raisons environnementales (GEMENNE *et al.*, 2017).

Cependant, ces cuvettes se dégradent lentement (PLECO, 2010). Le problème de dégradation de ces zones constitue une préoccupation de l'Etat nigérien et des acteurs du développement (TYCHON *et al.*, 2009). Les contraintes liées à l'exploitation des cuvettes dans la région de Gouré sont l'ensablement progressif des cuvettes, la baisse de la nappe phréatique, la remontée saline et la mauvaise valorisation des potentialités dont regorgent les cuvettes.

Par ailleurs, compte tenu de l'origine très locale des sables responsables de l'ensablement des cuvettes (TYCHON & AMBOUTA, 2009 ; TYCHON *et al.*, 2009), la gestion du territoire en périphérie des cuvettes présente un enjeu essentiel pour le maintien en activité de celles-ci. Mise en culture, surpâturage, destruction de la végétation perenne et couloirs de passage pour l'accès des animaux aux cuvettes sont autant de causes de la remobilisation des sables aux abords des cuvettes et de leur accumulation dans celles-ci (TIDJANI *et al.*, 2009a,b).

En effet, les alentours des cuvettes, constituées essentiellement par des terres des milieux dunaires, sont en train d'être perturbés suite à la pression démographique, à la baisse de la fertilité des sols et à la variabilité climatique. Les dunes qui étaient autrefois des aires pastorales sont actuellement de plus en plus cultivées sur de grandes étendues pour faire face au déficit céréalier chronique dans la zone. Cette situation de mise en culture fragilise la stabilité des dunes et facilite leur mise en mouvement en direction des cuvettes et autres zones pastorales (OZER, 2002 ; TIDJANI *et al.*, 2009a). Cette mise en mouvement des sables autour des cuvettes est aussi fortement associée à la concentration des hommes et de leur bétail aux voisinages immédiats des cuvettes.

C'est pourquoi plusieurs études ont été effectuées dans le cadre du Programme interuniversitaire ciblé (PIC-Gouré) visant la préservation des cuvettes oasiennes et de leur rôle socio-économique dans le sud-est du Niger (PIC REC-GOURE-2, AMBOUTA *et al.*, 2018).

Afin de bien préserver les cuvettes (KARIMOU BARKÉ *et al.*, 2017), une première étude a été effectuée sur l'identification de l'ensemble des cuvettes du département, une deuxième sur la caractérisation morphologique des cuvettes et enfin une troisième sur la caractérisation des unités de paysage des cuvettes et de leurs alentours.

La présente étude est une suite logique de ces travaux. Elle a pour objectif d'évaluer (i) l'ampleur de l'évolution des superficies et du nombre de cuvettes de 1984 à 2013 et (ii) l'évolution de l'avancée de l'occupation des sols des alentours des cuvettes de 1984 à 2013.

DONNÉES ET MÉTHODES DE TRAITEMENT

Brève présentation du Département de Gouré

Le Département de Gouré est localisé entre 13°07' et 14°00' de latitude Nord et 9°35' et 11°50' de longitude Est (Fig. 1). Sa population ne fait que croître. Elle était de 162 275 habitants en 1988, de 227 400 en 2001, pour atteindre 332 278 en 2012 (INS, 2013). Le Département de Gouré a enregistré un taux d'accroissement annuel de la population de 4,3 % entre 2001 et 2012. Si ce taux devait se maintenir, la population doublera entre 2012 et 2030.

Données satellitaires et logiciels de travail

Les images satellitaires constituent les documents de base à la réalisation des cartes historiques d'occupation des sols. À partir des images, on peut extraire des informations sur les limites des unités d'occupation des sols, leur taille et leur position géographique. Les types d'images satellitaires qui ont servi à cette étude sont : six scènes d'images de SPOT 5-THX, sept scènes d'images de SPOT 3 et quatre scènes d'images de Landsat 5-TM (Tab. 1).

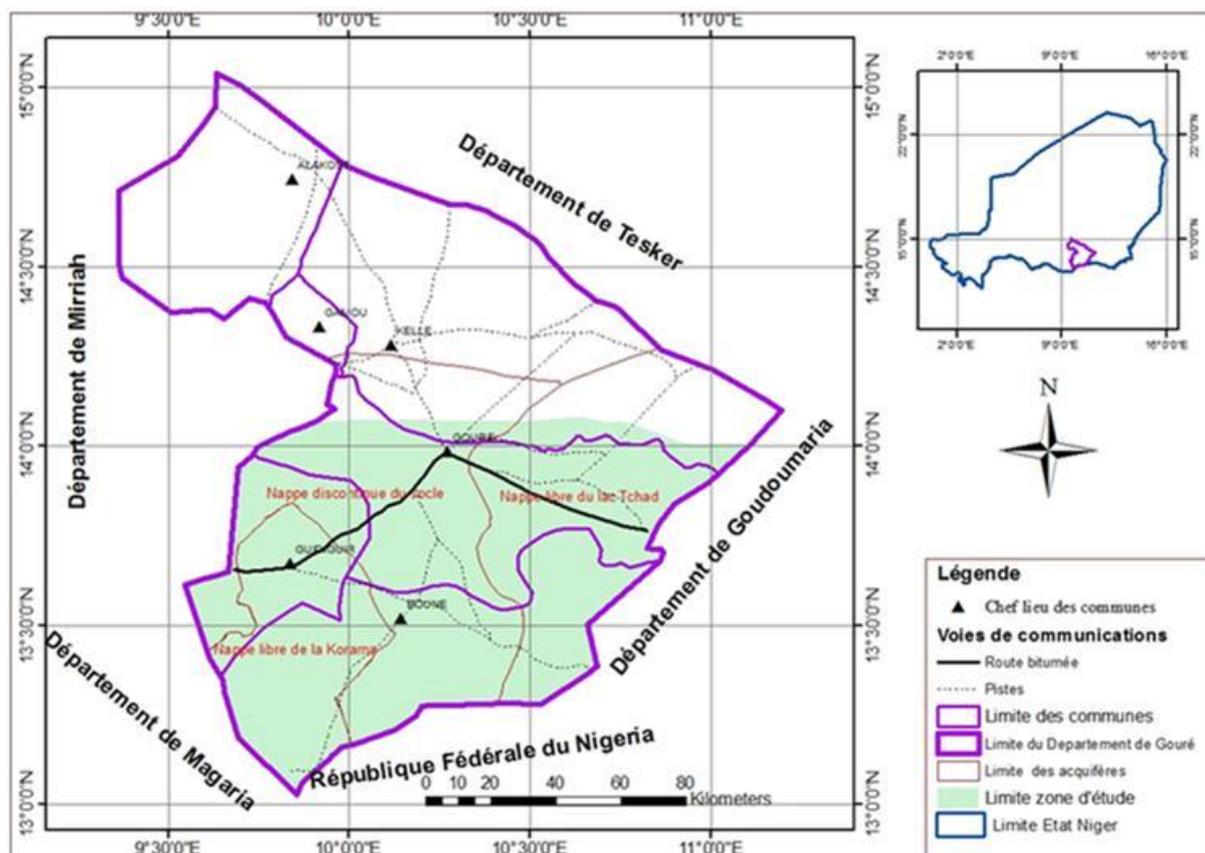


Figure 1 : Carte de localisation de la zone d'étude.

Tableau 1 : Caractéristiques des images satellitaires utilisées.

Données	Landsat 5	SPOT 3	SPOT 5
Dates d'acquisition	Octobre 1984	Octobre 1996	Octobre -Novembre 2013
Nombre de bandes	7	3	3
Capteur	TM	HRV	HRG
Résolution (m)	30	20	2,5
Bandes spectrales (µm)	TM1 0.45-0.56 TM2 0.52-0.60 TM3 0.63-0.69 TM4 0.76-0.90 TM5 1.55-1.75 TM6 10.04-12.5 TM7 2.10-2.35	XS1 0.50-0.59 XS2 0.61-0.68 XS3 0.78-0.89	B1 0.50-0.59 B2 0.61-0.68 B3 0.78-0.89

Les logiciels eCOGNITION et ARC GIS 10.1 ont été utilisés pour l'analyse et la mise en forme des données et résultats des travaux. eCognition Developer est un outil de traitement d'images orienté objet. ARC GIS 10.1 est un logiciel de système d'information géographique.

Méthodes d'établissement et d'évolution de la situation d'occupation des sols des unités de paysages de cuvettes et de leurs alentours à partir des données satellitaires

Extraction de la zone d'étude

La zone d'étude est représentée par l'aire des cuvettes oasiennes du Département de Gouré. Une couronne d'un kilomètre de largeur autour de chaque cuvette a été délimitée. Cette distance est

suffisante pour caractériser les différentes unités d'occupation des sols autour des cuvettes oasiennes qui pourraient avoir des impacts directs sur celles-ci. Elle constitue une limite raisonnable au-delà de laquelle une activité menée n'aura plus d'impacts immédiats sur la cuvette oasienne.

Pour éviter des confusions entre les cuvettes et leurs alentours, deux masques permettant de traiter séparément ces deux grandes unités sont produits. Un premier masque sur les cuvettes oasiennes a été effectué par analyse d'image automatique des images satellitaires. Le deuxième masque, qui constitue les alentours des cuvettes oasiennes été obtenu en prenant une zone tampon d'un kilomètre de largeur autour des cuvettes.

Analyse des données

Etablissement de la nomenclature

La nomenclature ou clé d'interprétation correspond à la typologie normalisée des unités d'occupation des sols. Elle définit les différentes classes d'occupation des sols et leurs caractéristiques spectrales. Dans cette étude, la clé d'interprétation élaborée par KARIMOU BARKÉ (2017) destinée à caractériser des unités de paysages de cuvettes et de leurs alentours a été utilisée. Cette clé d'interprétation est composée par les classes suivantes : colline à affleurement rocheux, édifice dunaire et vallée sèche à culture pluviale, édifice dunaire à surfaces ravivées, édifice dunaire et vallée sèche à steppe arborée et édifice dunaire à steppe arbustive. La clé utilisée pour identifier les cuvettes oasiennes est constituée de : cuvettes, vallées sèches, édifices dunaires et collines.

Interprétation des images

La classification des images est basée sur l'analyse par objet. Les étapes de cette classification par objet consistent à (KARIMOU BARKÉ, 2017) :

- l'importation des données vectorielles et raster dans un projet eCOGNITION ;
- la création d'objets images (segmentation) ;
- la définition de la signature spectrale pour chaque objet ;
- la classification des objets précédemment créés ;
- la fusion des résultats ;
- l'évaluation des résultats ;
- l'exportation des résultats.

Méthode d'analyse de l'évolution des classes d'occupation des sols établies sur la base de la clé d'interprétation

La méthodologie adaptée, pour bien cerner l'évolution des unités de paysages des alentours des cuvettes ainsi que celle des cuvettes, procède « en remontant le temps » à partir de la période actuelle ou période de référence jusqu'à la période la plus ancienne. Les données d'occupation des sols de 2013 constituent la trame de référence, la forte résolution des images ayant permis d'établir une bonne situation de référence. De plus, la période actuelle a également fait l'objet d'un contrôle de terrain. Cette situation sert donc à fixer les points de références indispensables pour évaluer les changements en faisant les comparaisons avec les situations d'avant, ce qui permet de tirer des conclusions sur l'efficacité des actions menées pour stabiliser ces paysages. Ces états rétrospectifs permettent également de s'enfoncer dans l'histoire des unités de paysages des cuvettes et de leurs alentours avec les repères indispensables à leur compréhension et leur exploitation. L'évolution des classes d'occupation de sols permet de ressortir la dynamique des cuvettes et de leurs alentours. Il a été procédé à l'analyse de l'évolution sur trois périodes : 1984-1996, 1984-2013 et 1996-2013. L'année 1984 est considérée comme la première année à données utilisables pour cette étude parce que les images satellitaires plus anciennes ont une résolution trop grossière (80 m). Les taux d'évolution des superficies des unités de paysages des cuvettes et de leurs alentours entre deux années sont obtenus en faisant la différence entre la classe de la période actuelle (Pa) et la période initiale (Pi) divisée période initiale (Pi), le tout multiplié par 100.

Evaluation des classifications réalisées

Pour l'évaluation les résultats des classes d'occupation des sols des alentours des cuvettes de 1984, 1996 et 2013, un même jeu de données de validation a été utilisé pour réaliser l'ensemble des matrices de confusion. Différents indicateurs de précision sont calculés: coefficient Kappa, précision globale, précision pour l'utilisateur et pour le réalisateur (CONGALTON, 1991; FLEISS & COHEN, 1973).

Les résultats d'identification des cuvettes ont été validés à travers un modèle de prédiction (Tab. 2). Ce modèle est aussi présenté sous forme de matrice de confusion (SCHAEFER, 1990). Dans le tableau 2, les cuvettes observées sur le terrain représentent les lignes et celles détectées par une des méthodes proposées, les colonnes. Les points de contrôle utilisés pour évaluer les performances de ces trois méthodes de détection des cuvettes oasiennes sont composés de 605 cuvettes oasiennes échantillonnées dont 164 déterminées sur le terrain et 441 par interprétation d'images satellitaires.

Tableau 2 - Notation d'une matrice de confusion contenant les effectifs de détections correctes (DC), faux positifs (FP), faux négatifs (FN) et rejets corrects (RC).

		Cuvettes observées (méthode de référence)		Total détecté
		Positif	Négatif	
Cuvettes détectées (méthode alternative)	Positif	DC Détections correctes +/+	FP Faux positifs -/+	DC + FP
	Négatif	FN Faux négatifs +/-	RC Rejets corrects -/-	FN + RC
Total observé		DC + FN	FP + RC	N

Le nombre total de cuvettes observées sur le terrain et détectées par une méthode est noté N. Trois indicateurs ont été calculés pour valider les trois méthodes :

- la probabilité de détection (POD) ou sensibilité relative est la capacité de la méthode à détecter les cuvettes lorsque les cuvettes sont bien présentes en réalité (avec la méthode de référence).

$$POD (\%) = DC / (DC + FN)$$

- le taux de faux positifs (TFP) est la probabilité qu'une cuvette soit détectée par une méthode alors qu'elle n'existe pas en réalité sur le terrain. Elle est définie comme suit :

$$TFP (\%) = FP / (DC + FP)$$

- l'indice critique de succès CSI (Critical Success Index) qui permet de quantifier la qualité de la méthode. CSI varie d'une échelle de 0 (très mauvais) à 1 (parfait).

$$CSI = DC / (DC + FN + FP)$$

Le CSI est fréquemment utilisé parce qu'il tient compte à la fois des faux positifs et des faux négatifs dans les analyses.

RÉSULTATS

Résultats de la validation des classifications d'image

L'évaluation des résultats des unités d'occupation des sols des alentours des cuvettes à travers une matrice de confusion donne une précision globale satisfaisante (supérieure à 95 %) pour les trois situations (1984, 1996 et 2013).

En ce qui concerne l'indice critique de succès, qui prend en compte le taux de faux positifs (nombre d'observations pour lesquelles une cuvette observée sur le terrain a correctement été détectée par la méthode) et de faux négatifs (nombre d'observations pour lesquelles une cuvette non observée sur le terrain a correctement été détectée par la méthode), il est de 0,94 pour les cuvettes oasiennes détectées en 1984, de 0,93 pour celles de 1996, et de 0,94 en 2013 et (Tab. 3). Cet indice traduit la qualité de l'accord entre l'estimation de la cuvette identifiée par une méthode et la vraie cuvette

observée sur le terrain ou par photo-interprétation, en dehors des erreurs aléatoires. Une cuvette est détectée lorsque la taille de la fusion des objets qui la composent est supérieure à 0,2 ha.

Tableau 3 : Calcul de l'indice critique de succès (CSI), de la probabilité de détection (POD) et du taux de faux positifs (TFP)

	DC	RC	FN	FP	N	POD (%)	TFP (%)	CSI
1984	543	0	8	27	578	98	5	0,94
1996	577	0	12	29	614	98	4	0,93
2013	600	0	5	33	638	99,2	6.5	0,94

Évolution des paysages de cuvettes et leurs alentours de 1984 à 2013

L'évolution des unités de paysages associées aux cuvettes oasiennes et des paysages des cuvettes de 1984 et 1996 par rapport à l'année de référence de 2013 sont présentées respectivement par les tableaux 4 et 5. Il s'est agi de comparer des unités de paysages des cuvettes oasiennes et de leurs alentours :

- en 1996 par rapport à l'année de référence 2013 ;
- en 1984 par rapport à l'année de référence 2013 ;
- en 1984 par rapport à l'année 1996.

Les unités d'occupation des sols des paysages associés aux cuvettes

Les superficies des unités d'édifices dunaires et de vallées sèches à steppe arborée ont régressé de 35,5 % de 1984 à 2013 (Tab. 4). La proportion de cette régression est de 34,5 % de 1984 à 1996. En 1984, la steppe arborée couvrait 11,4 % des alentours des cuvettes de la zone d'étude, 6,4 % en 1996, et seulement 5,3 % en 2013. Cette steppe arborée est localisée généralement dans les vallées sèches mais des peuplements denses par endroits se rencontrent sur les édifices dunaires. La végétation est composée majoritairement par *Acacia spp* et *Hyphaene thebaïca*.

La diminution de la steppe arborée se fait au profit des zones de cultures. Les causes de cette extension des zones de cultures sont liées aux aléas du climat et surtout aux actions anthropiques (KANEMBOU, 2007). En effet, les déficits pluviométriques enregistrés au cours de ces dernières décennies ont contribué à la réduction de la steppe arborée. Mais les principales causes sont anthropiques. Elles s'expriment d'une part par l'emprise de l'homme sur les ressources végétales (déboisement, défrichements agricoles, etc.) et par les pratiques pastorales d'autre part. De plus, la croissance démographique conduit à la conquête de nouvelles terres de cultures, au détriment des steppes arborées et à une surexploitation des ressources végétales : coupe abusive de bois, défrichage, feux de brousse, etc., ce qui pourrait sans doute influencer l'évolution de ces unités.

Les unités d'édifice dunaire à steppe arbustive ont connu une augmentation de 50 % de leurs superficies entre 1984 et 2013. En effet, les superficies ont augmenté de 9,8 % entre 1984 et 1996 et de 36,8 % entre 1996 et 2013. Les unités d'édifice dunaire à steppe arbustive ont une superficie estimée à 29 % des superficies totales des alentours des cuvettes en 1984, 28 % en 1996 et 32 % en 2013.

Les affleurements rocheux couvrent 0,24 % de la superficie totale des alentours des cuvettes en 1984, 0,21 % en 1996 et 0,22 % en 2013. Ces unités ont augmenté de 367 ha entre 1984 et 2013. Une raison pouvant expliquer les changements calculés serait liée à la résolution des images qui diffère selon les trois périodes analysées. Ces affleurements rocheux sont localisés dans la zone de socle du Département de Gouré représenté par les collines granitiques du massif du Mounio.

Dans l'ensemble, les unités d'édifices dunaires à surface ravivée de 1984 ont affiché une tendance à la hausse de 78,8 % par rapport à celles de 2013. Ces unités ont surtout progressé de 87,5 % durant la période 1984-1996. Ainsi, les surfaces ravivées représentaient 3,4 % de la superficie totale des alentours des cuvettes en 1984, 5,5 % en 1996 et 4,2 % en 2013. L'évolution des dunes

vives de 1996 à 2013 corrobore beaucoup d'études sur le Sahel (SENDZIMIR *et al.*, 2011) soutenant au cours de ces dernières années un reverdissement des paysages en certains endroits. Ceci expliquerait la réduction des dunes vives de 4,7 % entre 1996 et 2013. Cette réduction entre 1996 et 2013 peut aussi s'expliquer par les impacts des actions de fixation des dunes réalisées dans cette zone.

Tableau 4 : Evolution de la superficie des unités paysagères des alentours des cuvettes oasiennes du centre-est nigérien de 1984 à 2013.

Unités paysagères des alentours de cuvettes	1984 (ha)	1996 (ha)	2013 (ha)	Evolution 1984-1996	Evolution 1996-2013	Evolution 1984-2013
Édifice dunaire et vallée sèche à steppe arborée	60174	39394	38827	-34,5 %	-1,4 %	-35,5 %
				-20780 ha	-567 ha	-21347 ha
Édifice dunaire à steppe arbustive	153624	168675	230799	+9,8 %	+36,8 %	+50,2 %
				+15051 ha	+62124 ha	+77175 ha
Colline à affleurement rocheux	1252	1285	1619	+2,6 %	+26,0 %	+29,3 %
				+34 ha	+334 ha	+367 ha
Édifice dunaire et vallée sèche à culture pluviale	295697	368153	423876	+24,5 %	+15,1%	+43,3 %
				+72456 ha	+55723 ha	+128179 ha
Édifice dunaire à surface ravivée	17967	33690	32123	+87,5 %	-4,7 %	+78,8 %
				+15723 ha	-1568 ha	+14156 ha

Unités paysagères des alentours des cuvettes

Dans le Département de Gouré, les zones de cultures localisées autour des cuvettes ont aussi connu une augmentation de 43,3 % entre 1984 à 2013. Cette augmentation est de 24,5 % entre 1984 et 1996. L'augmentation des superficies cultivées dans les zones alentours des cuvettes entre 1984 et 2013 (et entre 1996 et 2013) s'explique par le taux d'accroissement de la population (3,3 % d'après INS, 2014) qui fait que la population a plus que doublé durant la période d'étude. En plus, la baisse de la pluviométrie a entraîné celle de la production agricole, obligeant ainsi les agriculteurs à de nouvelles stratégies agricoles, notamment l'intensification de la mise en culture des terres dunaires, avec pour conséquence une extension des champs (KANEMBOU, 2007). Les zones de cultures occupent la plus forte proportion des alentours des cuvettes de la zone d'étude. Elles totalisent 295697 ha (56 %) en 1984, 368153 ha (60 %) en 1996 et 423876 ha (58 %) en 2013. Ces cultures se pratiquent sur les sols sableux au niveau des édifices dunaires et sur des sols sablo-limoneux ou argileux pour les vallées sèches. Le problème de l'extension des terres de cultures se pose de plus en plus du fait que le nombre d'exploitants augmente car les difficultés financières font que certains éleveurs se convertissent en agriculteurs.

Les unités de paysages de cuvette

Les superficies des cuvettes oasiennes qui représentaient 46783 ha en 1984 étaient de 40831 ha en 1996 et de 34553 ha en 2013 soit une diminution de 26,1 % pour la période 1984-2013 et de 15,4 % pour la période 1996-2013 (Tab. 5).

Contrairement à la superficie des cuvettes, le nombre de cuvettes a augmenté entre 1984 à 2013. Ainsi, 16,9 % du nombre total des cuvettes identifiées en 2013 sur les images SPOT 5-THX de 2,5 m de résolution n'ont pas été détectés sur les images Landsat 5-TM de 30 m résolution de 1984. Aussi,

4,4 % des cuvettes identifiées sur les images SPOT 3 de 20 m de résolution de 1996 ne sont pas discernables sur les images Landsat 5-TM de 30 m résolution de 1984.

Tableau 5 : Evolution de la superficie et du nombre des cuvettes oasiennes du centre-est nigérien de 2013 à 1984.

	1984	1996	2013	Evolution 1984-1996	Evolution 1996-2013	Evolution 1984-2013
Nombre de cuvettes	8911	9326	10717	+4,6 % +415	+14,9 % +1391	+20,3 % +1806
Superficie totale (ha)	46783	40831	34553	-12,7 % -5953 ha	-15,4 % -6278 ha	-26,1 % -12230 ha

Analyse spatiale des causes d'augmentation du nombre des cuvettes oasiennes et de réduction de leurs superficies

La figure 2 montre l'évolution et la répartition de la taille et du nombre des cuvettes de 1984 à 2013. L'essentiel des cuvettes de taille inférieure à 0,5 ha s'observe en 2013. On note ainsi une augmentation de 1377 cuvettes de taille inférieure à 0,5 ha entre 1996 et 2013 pour un total de 1391 nouvelles cuvettes sur cette période, 1264 cuvettes entre 1984 et 1996 pour 415 nouvelles cuvettes apparues durant la période. 2641 cuvettes représentent la différence du nombre de cuvettes observées entre 1984 et 2013 pour 1806 nouvelles cuvettes sur cette période.

Quant aux cuvettes de taille supérieure à 1 ha, elles étaient plus nombreuses en 1984 puis en 1996. Cela voudrait dire qu'en 1984 il y avait plus de grandes cuvettes qu'aujourd'hui. A cette période, la végétation était relativement stable autour des cuvettes comme en témoignent les proportions des édifices dunaires et vallées sèches à steppe arborée qui se sont réduites de 11 % en 1984 à 5 % en 2013.

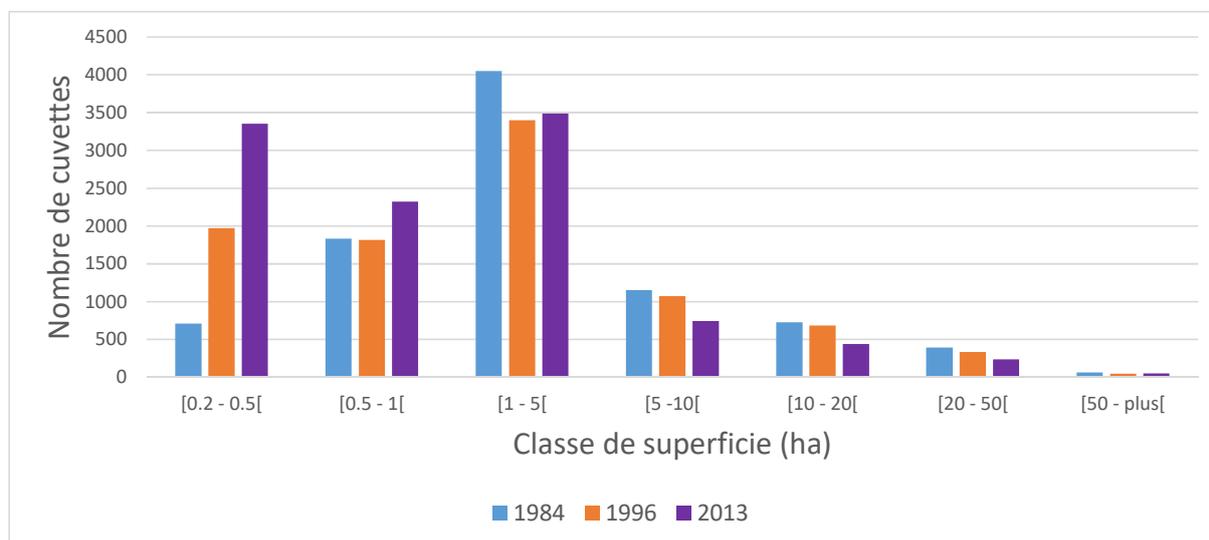


Figure 2 : Évolution de la distribution des cuvettes du centre-est nigérien de 1984 à 2013.

L'évolution et la répartition des classes de superficies des cuvettes de 1984 à 2013 selon la taille (Fig. 3) montrent une augmentation des superficies totales des cuvettes de tailles comprises entre 0,2 et 0,5 ha et de 0,5 à 1 ha de 1984 à 2013. Cette augmentation peut s'expliquer par le nombre de cuvettes de taille inférieure à 0,5 ha qui est plus important en 2013 qu'en 1996 et 1984 (Fig. 2). Cependant, les cuvettes de taille supérieure à 1 ha ont connu une réduction de leur superficie totale. Elles occupent une superficie de 35855 ha en 1984, 30497 ha en 1996 et 21869 ha en 2013 soit une différence de 5358 ha entre 1984 et 1996, 8628 ha entre 1996 et 2013 et 13986 ha entre 1984 et 2013.

La figure 3 confirme les résultats de la figure 2 et explique aussi les changements des superficies totales des cuvettes pour les périodes 1984-2013, 1984-1996 et 1996-2013. Ainsi la réduction des superficies totales des cuvettes de 1984 à 2013 peut s'expliquer par une diminution de la taille des cuvettes.

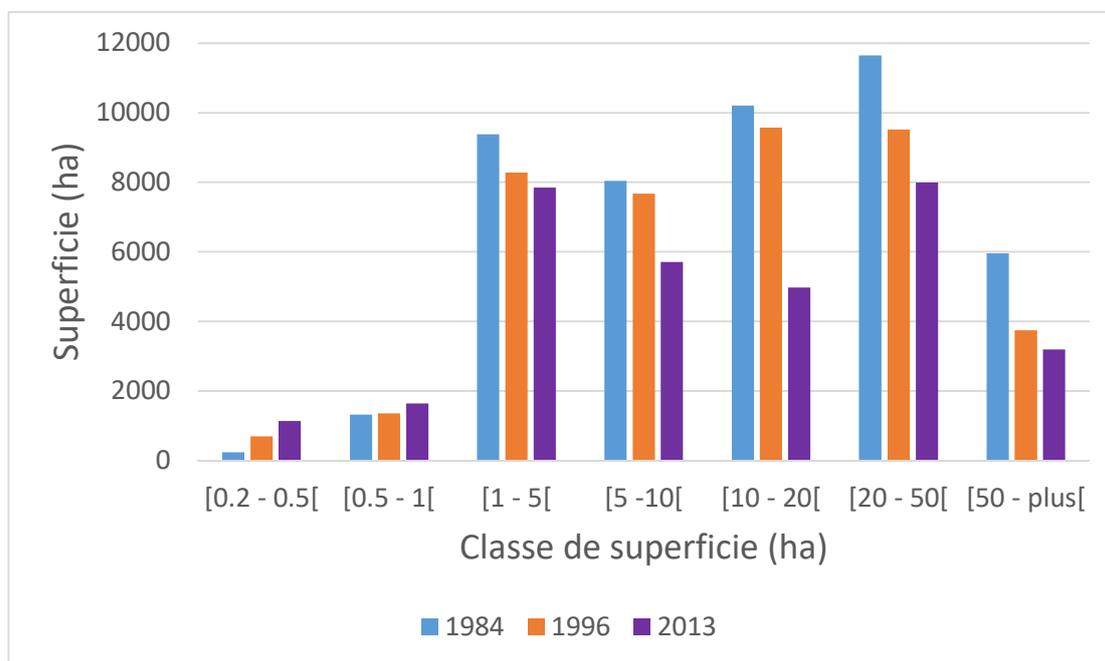


Figure 3 : Évolution de la distribution des superficies des cuvettes du centre-est nigérien de 1984 à 2013.

Les cuvettes oasiennes à l'est (Fig. 4) et à l'ouest (Fig. 5) détectées en 1984, en 1996 et en 2013 dans la zone d'étude sont superposées respectivement sur les images Landsat 5-TM, SPOT 3 et SPOT 5 afin d'observer leur évolution. Ces figures ont permis de valider par analyse visuelle des images, les causes de l'augmentation du nombre des cuvettes et la réduction de leur superficie de 1984 à 2013. Sur les figures 4 et 5, la taille des cuvettes de 1984 (340 ha) est plus grande que celle de 1996 (232 ha) qui à leur tour est supérieure à celle de 2013 (185 ha). Les faibles superficies des cuvettes oasiennes enregistrées en 2013 s'expliquent par une réduction de la taille des cuvettes identifiées en 1984 qui serait liée à leur ensablement. Par ce phénomène, les dunes vives avancent au détriment des superficies des cuvettes. En effet, dans cette zone, beaucoup de cuvettes sont menacées de disparition sous l'emprise du phénomène d'ensablement. Il se traduit généralement par la réduction de leur superficie par ensevelissement, voire leur dégradation totale.

La comparaison visuelle des cuvettes identifiées sur les figures 4 et 5 a montré qu'en 1984, les alentours des cuvettes sont peu utilisés pour les cultures pluviales et qu'en 1996 la mise en valeur agricole des alentours des cuvettes commence à prendre de l'ampleur. A partir de 2013, l'ensemble des alentours des cuvettes est exploité à des fins agricoles. Selon le chef de village d'Iskour, le village a quitté son ancien site en raison des envahissements dunaires du village pour s'installer en son site actuel à côté de deux cuvettes (Fig. 5). Depuis lors, il y a une pression de plus en plus forte sur les terres autour des cuvettes. Les alentours des cuvettes tendent à se dégrader. Les activités de défrichage de zones de parcours autour des cuvettes pour installer des cultures pluviales, le ramassage des résidus de récoltes dans les champs et les remaniements dus aux passages des troupeaux sont, pour une bonne partie, responsables de l'ensablement des cuvettes (PLECO, 2010 ; KANEMBOU & KARIMOUNE, 2013). Le tapis herbacé relativement dense pendant l'hivernage est rapidement consommé ou piétiné en saison sèche mettant à nu le sol qui se trouve soumis à la déflation éolienne et à l'érosion hydrique pendant les premières pluies de l'hivernage. Ceci a favorisé la mise en place de dunes vives qui envahissent les cuvettes.

En ce qui concerne l'augmentation du nombre des cuvettes, diverses explications peuvent être avancées. La première est liée à la résolution des images utilisées dans l'étude. Par exemple, une

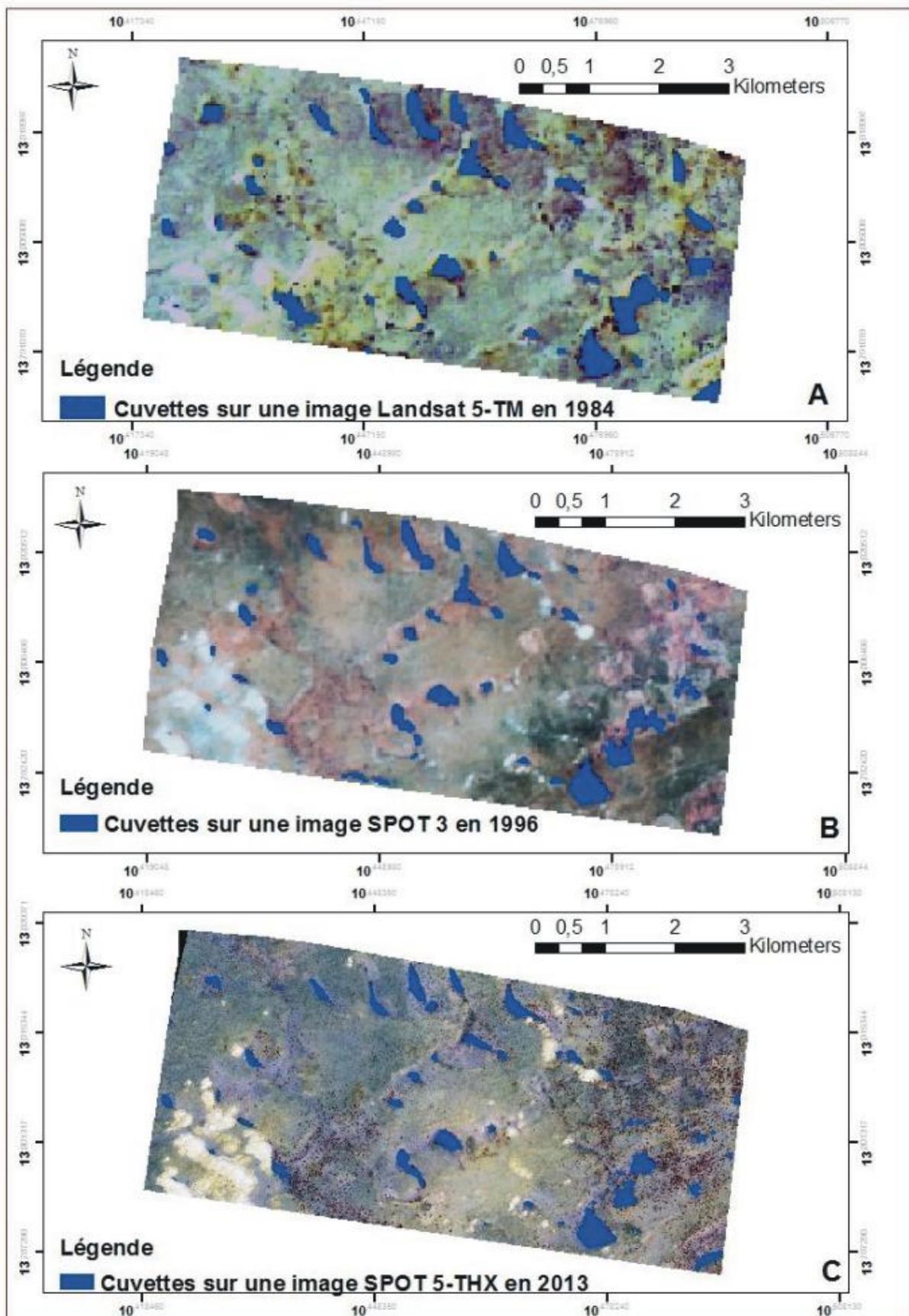


Figure 4 : Évolution des cuvettes oasiennes identifiées sur des images Landsat 5-TM en 1984 (A), SPOT 3 en 1996 (B) et SPOT 5 en 2013 (C) par classification d'image à l'est du Département de Gouré.

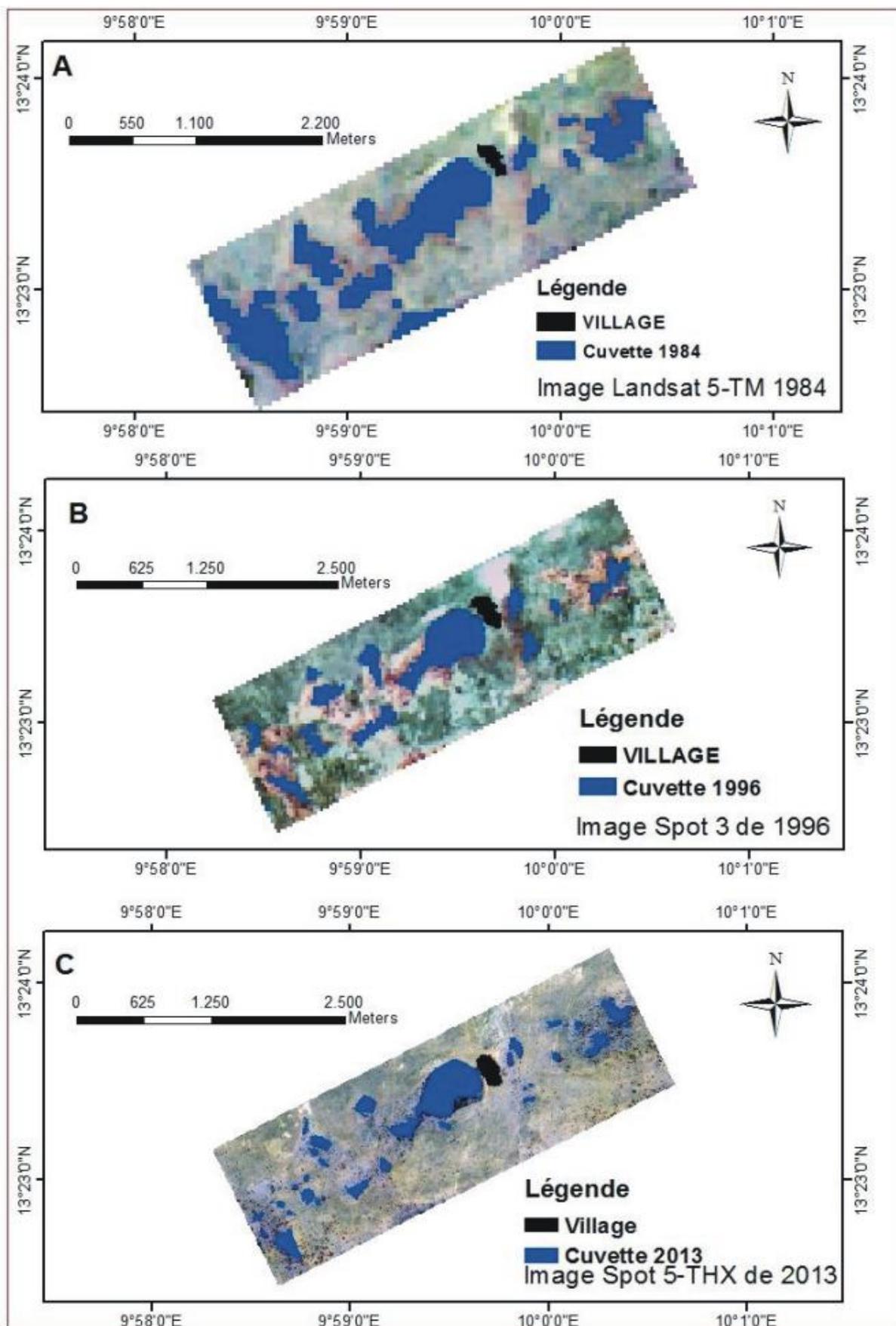


Figure 5 : Évolution des cuvettes oasiennes identifiées sur des images Landsat 5-TM en 1984 (A), SPOT 3 en 1996 (B) et SPOT 5 en 2013 (C) par classification d'image à l'ouest du Département de Gouré.

cuvette de 0,2 ha est représentée par 2,2 pixels sur du Landsat 5-TM de 1984, 5 pixels sur du SPOT 3 et 320 pixels sur du SPOT 5 de 2013. Ce qui fait que les cuvettes de taille inférieure sont difficiles à détecter même par analyse visuelle sur des images Landsat 5-TM et SPOT 3. Les petites cuvettes identifiées en 1984 peuvent aussi voir réduire leur superficie suite à leur ensablement. Ceci peut limiter leur chance d'être identifiées sur les images SPOT de 20 m de résolution. EL KHARKI *et al.* (2015) montrent, dans une étude d'impact de la résolution spatiale dans l'analyse d'image par objet, que la précision globale des résultats de la classification d'image par objet augmente avec l'augmentation de l'échelle. Ces auteurs montrent aussi que, quand on change de résolution, la classification par objet d'image de moyenne résolution (supérieure à 20 m) présente moins d'avantages par rapport à celle à base de pixels. La deuxième raison qui explique l'augmentation des cuvettes est le fait que les grandes cuvettes se sont fragmentées. Cette fragmentation est liée aux dépôts de sable à l'intérieur des cuvettes par apports éoliens. Ces dépôts finissent par former des barrages dunaires qui partitionnent les cuvettes. Sur les figures 4 et 5, 51 cuvettes sont identifiées en 1984, 60 cuvettes en 1996 et 106 cuvettes en 2013.

La dernière raison de l'augmentation des cuvettes est la renaissance et la création de nouvelles cuvettes par déflation éolienne (TIDJANI *et al.*, 2009a). Il faut noter que les édifices dunaires sont parfois vallonnés ou remaniés par l'érosion éolienne. Ce qui entraîne la création de couloirs de déflation et de creux de déflation. Ceux-ci se développent à partir des cavités ou dépressions interdunaires qui s'approfondissent et s'élargissent suite à une augmentation locale de l'impact des vents (TIDJANI *et al.*, 2009a). La déflation est très accentuée dans la partie centrale des dépressions interdunaires. C'est ainsi que, les creusements des édifices dunaires par déflation éolienne ont conduit à la création de plusieurs dépressions interdunaires dans le secteur. La déflation continue dans ces creux rapproche les nappes de la surface et provoque souvent leur inondation. En conséquence, la colonisation par une végétation composée d'*Hyphaene thebaica* associé au *Leptadenia pyrotechnica* et *Pergularia tomentosa*, est facilitée.

Notons aussi que, la caractéristique principale des cuvettes oasiennes est la végétation phréatophile de palmiers (*Hyphaene thebaica*), indicatrice de milieu où la nappe phréatique n'est pas profonde. En effet, les sécheresses des années 1975-1987 ont entraîné la baisse du niveau de la nappe dans cette zone (BODART & OZER, 2009). Ceci a conduit à la destruction voire la disparition de la végétation phréatophile dans certaines cuvettes oasiennes. Depuis les années 1990, plusieurs études montrent un retour à des conditions pluviométriques meilleures dans toute la région sahélienne et dans l'est du Niger en particulier (OZER *et al.*, 2003, 2005, 2009, 2017). De ce fait, la pluviométrie de ces dernières années a contribué à l'accroissement et à la régénération naturelle des palmiers dans ces dépressions interdunaires, au vu des conditions stationnelles qui leurs sont favorables. En effet, la végétation phréatophile favorisée par la reprise d'une pluviométrie plus normale conférerait à ces dépressions interdunaires une allure de cuvette oasienne.

La réapparition de la végétation dans ces dépressions après le retour d'une pluviométrie plus abondante est confirmée par plusieurs études au Sahel et au Niger en particulier (SAVADOGO *et al.*, 2015 ; BODART & OZER, 2009 ; SENDZIMIR *et al.*, 2011) quoique cela ne soit pas toujours le cas, tant les pressions anthropiques se renforcent avec le temps (DARDEL *et al.*, 2014 ; HOUNTONDI *et al.*, 2006). Aussi, notons que l'efficacité de l'utilisation de l'eau par la végétation semble être le plus souvent en déclin (HOUNTONDI *et al.*, 2005). En outre, le retour de la végétation serait – en certains endroits – essentiellement quantitatif plutôt que qualitatif (HERRMANN & TAPPAN, 2013, TRICHON *et al.*, 2018). Ainsi, dans l'est du Niger, on assiste principalement au développement important de peuplements de *Leptadenia pyrotechnica* et *Calotropis procera* (OZER *et al.*, 2007). Selon BODART et OZER (2009), à Gouré c'est dans les secteurs où aucune activité anthropique n'est venue amplifier le processus de dégradation des terres que le couvert végétal a pu réapparaître en restant toutefois moins important que ceux des années humides (ici 1957).

Par ailleurs, avec l'appui de certains projets, les populations ont mis en place des pratiques de protection de la régénération naturelle (LAMINO MANZO *et al.*, 2009 ; TIDJANI *et al.*, 2009a). Cette régénération naturelle est à la base de la revégétalisation de plusieurs petites dépressions. Ceci a eu des résultats assez positifs qui se traduisent par l'apparition d'une végétation pionnière de dépression inter-dunaire. C'est ainsi que certaines dépressions inter-dunaires ont pu évoluer en faciès proche des cuvettes oasiennes.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES DE RECHERCHE

Cette étude était focalisée sur la dynamique des cuvettes oasiennes ainsi que des terres des milieux dunaires de leurs alentours de 1984 à 2013. Les résultats de détection des cuvettes et des classes d'occupation des sols des alentours des cuvettes par classification à base d'objets de trois images satellites de résolutions spatiales différentes (1984 et 1996 : moyenne résolution ; 2013 : très haute résolution) donnent des précisions satisfaisantes. Cependant, pour des agro-écosystèmes tels que les cuvettes où les unités paysagères sont variées et parfois d'extension spatiale réduite, les images de résolutions spatiales grossières (plus de 20 m) montrent certaines limites. A ces résolutions spatiales, certains détails d'unités de paysage des cuvettes et des paysages qui leur sont associés ne peuvent pas avoir bien été discriminés. Sur les images de 1984 et 1996, les superficies de certaines cuvettes sont surestimées alors que les cuvettes de petite taille (inférieure à 0,3 ha) sont difficilement détectables.

Les unités d'occupation des sols des abords de cuvette connaissent une forte pression anthropique. Les superficies des édifices dunaires et vallées sèches à cultures pluviales représentent 55,9 % en 1984 des alentours des cuvettes oasiennes contre 58,3 % en 2013. Ces unités sont de plus en plus mises en valeur. Ce mode d'occupation des sols a facilité la dégradation des terres dunaires et la remise en mouvement du sable en direction des cuvettes oasiennes. Ceci est à la base de la réduction des superficies totales des cuvettes oasiennes de 1984 à 2013. Les cuvettes oasiennes du centre-est du Niger ont subi des modifications tant au niveau de leurs superficies qu'au niveau de leur nombre. Elles passent de 46783 ha en 1984 à 34553 ha en 2013. L'ensablement est la cause principale de la réduction des superficies des cuvettes oasiennes.

Il ressort donc de cette étude que l'ensablement gagne du terrain dans toutes les unités de l'occupation des sols. Outre les cuvettes, l'ensablement s'observe principalement dans les édifices dunaires à steppe arbustive composés de peuplements de *Leptadenia pyrotechnica* et *Calotropis procera* ainsi que dans les édifices dunaires et vallées sèches à culture pluviale.

En perspective de recherche, il serait souhaitable d'élargir le champ d'investigation à l'ensemble des facteurs qui sont susceptibles de dégrader les cuvettes et leurs alentours. Ces facteurs doivent permettre de proposer des solutions aux habitants de ces cuvettes pour subvenir plus facilement à leurs besoins et de vivre dans de meilleures conditions. Des solutions visant la réduction de la dégradation des ressources naturelles (eau, sol, végétation...), des cuvettes et l'amélioration des conditions de vie dans ces milieux doivent être recherchées. Parallèlement, il faut permettre aux populations de mieux valoriser les cuvettes d'un point de vue agronomique, ce qui passe par des techniques culturales adaptées et un meilleur accès aux marchés. Ça peut être aussi la mise en place un outil de monitoring de l'ensemble des cuvettes oasiennes de la zone d'étude pour déterminer leurs valeurs économiques.

REMERCIEMENTS

Nous remercions le programme ISIS (Incitation à l'Utilisation Scientifique des Images SPOT). Les images SPOT 5-THX qui ont servi à cette étude ont été subventionnées par le programme ISIS (contrat ISIS N°718 MONO LICENCE).

BIBLIOGRAPHIE

- ABDOU Y. & DJAMBOUTO B., 2009. Les justifications et les faisabilités économiques et sociales du traitement des dunes de sable dans le Département de Gouré au Niger : cas du village de Tchago. *Geo-Eco-Trop*, 33: 125-132.
- AMBOUTA K.J.M., KARIMOU BARKE M., TIDJANI A.D. & TYCHON B., 2018. Les cuvettes du Manga, un écosystème unique en milieu semi-aride objet d'une recherche interdisciplinaire et pluri-institutionnelle. *Geo-Eco-Trop*, 42: 245-257.
- BODART C. & OZER A., 2009. Apports de la télédétection dans l'étude de la remise en mouvement du sable dunaire dans la région de Gouré (sud-est du Niger). *Geo-Eco-Trop*, 33: 57-68.
- CONGALTON R.G., 1991. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, 37: 35-46.

- DAN HABOU S., TIDJANI A.D., AWA KROU M.B. & YAMBA B., 2018. Analyse du système de production et commercialisation des ressources naturelles dans les cuvettes oasiennes de Gouré. *Geo-Eco-Trop*, 42: 361-372.
- DARDEL C., KERGOAT L., HIERNAUX P., MOUGIN E., GRIPPA M. & TUCKER C.J. 2014. Re-greening Sahel: 30 years of remote sensing data and field observations (Mali, Niger). *Remote Sensing of Environment*, 140: 350-364.
- EL KHARKI O., MECHBOUH J., ROUCHDI M., EL ABOUDI A. & NGONO J.M., 2015. Les effets du niveau de l'échelle et de la résolution spatiale sur la classification orientée objet : Application à la cartographie de l'Arganeraie (Région Agadir, Maroc). *International Journal of Innovation and Scientific Research*, 14: 21-31.
- FLEISS J.L. & COHEN J., 1973. The equivalence of weighted kappa and the interclass correlation coefficient as measures of reliability. *Educational and psychological measurement*, 33: 613-619.
- GEMENNE F., BLOCHER J., DE LONGUEVILLE F., VIGIL DIAZ TELENTI S., ZICKGRAF C., GHARBAOUI D. & OZER P., 2017. Changement climatique, catastrophes naturelles et mobilité humaine en Afrique de l'Ouest. *Geo-Eco-Trop*, 41: 317-337.
- HERRMANN S.M. & TAPPAN G.G., 2013. Vegetation impoverishment despite greening: A case study from central Senegal. *Journal of Arid Environments*, 90: 55-66.
- HOUNTONDI Y.C., NICOLAS J., SOKPON N. & OZER P., 2005. Mise en évidence de la résilience de la végétation sahélienne par télédétection basse résolution au Niger à la suite d'épisodes de sécheresse. *Belgeo*, 4 / 2005: 499-516.
- HOUNTONDI Y.C., SOKPON N. & OZER P., 2006. Analysis of the vegetation trends using low resolution remote sensing data in Burkina Faso (1982–1999) for the monitoring of desertification. *International Journal of Remote Sensing*, 27: 871-884.
- INS [Institut national de la statistique], 2013. Présentation des résultats préliminaires du quatrième recensement général de la population et de l'habitat (RGP/H) 2012. INS, Niamey, Niger, 9 p.
- JAHIEL M., 1998. Rôle du palmier dattier dans la sécurisation foncière et alimentaire au sud-est du Niger. *Sécheresse*, 2: 167-174.
- KANEMBOU L. & KARIMOUNE S., 2013. Processus d'ensablement des cuvettes et suivi par télédétection dans le Département de Gouré, Niger. *Revue de Géographie de l'Université de Ouagadougou*, 2: 173-197.
- KANEMBOU L., 2007. Etude de la dynamique des aires pastorales dans le Département de Gouré : Apport de la télédétection et du SIG. Mémoire de DEA en géographie, Université Abdou Moumouni, Niamey, Niger, 79 p.
- KARIMOU BARKÉ M., 2017. Caractérisation et élaboration d'un outil de monitoring des cuvettes oasiennes et de leurs alentours par télédétection et système d'information géographique. Thèse de doctorat, Université de Liège, Liège, Belgique, 192 p.
- KARIMOU BARKÉ M., TYCHON B., OUSSEINI I. & OZER A., 2015. Détection des cuvettes oasiennes du Centre-Est du Niger par classification d'une image texturale basée sur la variance. *Photo-Interprétation*, 51: 24-36.
- KARIMOU BARKÉ M., OUSSEINI I., BIELDERS C., AMBOUTA K.J.M. & TYCHON B., 2017. Caractérisation morphologique des cuvettes oasiennes du Centre-Est du Niger. *Physio-Géo : Géographie physique et environnement*, 11: 255-276.
- LAMINOÛ MANZO O., CAMPANELLA B. & PAUL R., 2009. Sélection d'espèces ligneuses adaptées à la fixation biologique de dunes au Niger. *Geo-Eco-Trop*, 33: 99-106.
- MALAM BOUKAR A.K., 2016. Système d'exploitation et potentialités économiques des cuvettes oasiennes du sud-est du Niger. Thèse de doctorat, Université Abdou Moumouni, Niamey, Niger, 214 p.
- OZER P., 2002. Dust variability and land degradation in the Sahel. *Belgeo*, 2 / 2002: 195-210.
- OZER P., BODART C. & TYCHON B., 2005. Analyse climatique de la région de Gouré, Niger oriental : récentes modifications et impacts environnementaux. *Cybergeo*. No.308, DOI: 10.4000/cybergeo.3338.
- OZER P., ERPICUM M., DEMARÉE G. & VANDIEPENBEECK M., 2003. The Sahelian drought may have ended during the 1990s. *Hydrological Sciences Journal*, 48: 489-492.
- OZER P., GASSANI J., HOUNTONDI Y.C., NIANG A.J. & AMBOUTA K.J.M., 2007. La désertification est-elle en recul au Sahel? *Bois et Forêts des Tropiques*, 293: 23-28.
- OZER P., HOUNTONDI Y.C. & LAMINOÛ MANZO O., 2009. Evolution des caractéristiques pluviométriques dans l'est du Niger de 1940 à 2007. *Geo-Eco-Trop*, 33: 11-30.
- OZER P., LAMINOÛ MANZO O., TIDJANI D., DJABY B. & DE LONGUEVILLE F., 2017. Evolution récente des extrêmes pluviométriques au Niger (1950-2014). *Geo-Eco-Trop*, 41: 375-383.
- PLECO, 2010. Identification des zones les plus menacées par l'invasion des dunes de sable dans la zone d'intervention du PLECO (Projet de Lutte Contre l'Ensablement des Cuvettes Oasiennes dans les Départements de Gouré et de Maïné-Soroa). Édit. PLECO, Rapport, Gouré / Maïné-Soroa, Niger, 47 p.

- SANDAO I., 2013. Etudes hydrodynamique, hydrochimique et isotopique des eaux souterraines du bassin versant de la Korama/Sud Zinder, Niger : Impacts de la variabilité climatique et des activités anthropiques. Thèse de doctorat, Université Abdou Moumouni, Niamey, Niger, 196 p.
- SAVADOGO O.M., OUATTARA K., BARRON J., OUEDRAOGO I., GORDON L., ENFORS E. & ZOMBRE N.P., 2015. Etats des écosystèmes sahéliens: reverdissement, perte de la diversité et qualité des sols. *Afrique Science*, 11: 433-446.
- SCHAEFER J.T., 1990. The critical success index as an indicator of warning skill. *Weather and Forecasting*, 5: 570-575.
- SENDZIMIR J., REIJ C.P. & MAGNUSZEWSKI P., 2011. Rebuilding resilience in the Sahel: regreening in the Maradi and Zinder regions of Niger. *Ecology and Society*, 16(3):1.
- TIDJANI A.D., AMBOUTA K.J.M. & BIELDERS C., 2009a. Réhabilitation d'une dune vive par fixation mécanique : flux éoliens, fertilité du sol et biodiversité des herbacées. *Geo-Eco-Trop*, 33: 81-98.
- TIDJANI A.D., BIELDERS C.L. & AMBOUTA K.J.M., 2009b. Dynamique saisonnière des paramètres déterminant l'érosion éolienne sur les pâturages dunaires du Niger. *Geo-Eco-Trop*, 33: 39-56.
- TRICHON V., HIERNAUX P., WALCKER R. & MOUGIN E., 2018. The persistent decline of patterned woody vegetation: The tiger bush in the context of the regional Sahel greening trend. *Global Change Biology*, 24: 2633-2648.
- TYCHON B. & AMBOUTA K., 2009. Gestion interdisciplinaire du problème d'ensablement des cuvettes en milieu sahélien nigérien. *Geo-Eco-Trop*, 33: 1-10.
- TYCHON B., AMBOUTA K.J.M., OZER A., BIELDERS C., PAUL R. & OZER P., 2009. Quel avenir pour les cuvettes oasiennes dans le Niger oriental? *Geo-Eco-Trop*, 33: III-VI.

