

Caractérisation morphologique des cuvettes oasiennes du Centre-Est du Niger

Mahamadou Karimou Barké, Issa Oussein, Charles Bielders, Karimou J.M. Ambouta et Bernard Tychon



Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/physio-geo/5607>
DOI : 10.4000/physio-geo.5607
ISBN : 978-2-8218-0427-2
ISSN : 1958-573X

Éditeur

Claude Martin

Édition imprimée

Pagination : 255-276

Ce document vous est offert par Université de Liège



Référence électronique

Mahamadou Karimou Barké, Issa Oussein, Charles Bielders, Karimou J.M. Ambouta et Bernard Tychon, « Caractérisation morphologique des cuvettes oasiennes du Centre-Est du Niger », *Physio-Géo* [En ligne], Volume 11 | 2017, mis en ligne le 16 décembre 2017, consulté le 15 janvier 2018. URL : <http://journals.openedition.org/physio-geo/5607> ; DOI : 10.4000/physio-geo.5607



Les contenus de *Physio-Géo - Géographie Physique et Environnement* sont mis à disposition selon les termes de la Licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International.

CARACTÉRISATION MORPHOLOGIQUE DES CUVETTES OASIENNES DU CENTRE-EST DU NIGER

Mahamadou KARIMOU BARKÉ⁽¹⁾, Issa OUSSEINI⁽²⁾,
Charles BIELDERS⁽³⁾, Karimou J.M. AMBOUTA⁽⁴⁾ et Bernard TYCHON⁽¹⁾.

- (1) : Département Sciences et Gestion de l'Environnement, Faculté des Sciences, Université de Liège, Avenue de Longwy 185, B-6700 ARLON, BELGIQUE.
Courriels : barke_mk@yahoo.fr ; bernard.tychon@ulg.ac.be
- (2) : Département de Géographie, Faculté des Lettres et Sciences Humaines, Université Abdou Moumouni, BP 418, NIAMEY, NIGER. Courriel : issaousseini31@gmail.com
- (3) : Earth and Life Institute, Université Catholique de Louvain, Croix du Sud 2, Boite 2, B-1348 LOUVAINE-NEUVE, BELGIQUE. Courriel : charles.bielaers@uclouvain.be
- (4) : Département Sciences du Sol, Faculté d'Agronomie, Université Abdou Moumouni, BP. 10960, NIAMEY, NIGER. Courriel : ambouta.karimou@yahoo.fr

RÉSUMÉ : Situées en zone semi-aride à aride du Niger, les cuvettes oasiennes du département de Gouré sont actuellement menacées d'ensablement en raison de la dégradation du couvert végétal et d'un accroissement de l'efficacité érosive des vents. Afin de comprendre les processus d'ensablement autour de ces cuvettes, une caractérisation de leurs formes et orientations a été entreprise. Le coefficient de compacité de GRAVELIUS a permis de mettre en évidence des cuvettes circulaires (8,5 %), ovales (46,8 %), amiboides (10,9 %), étirées (17,6 %) et très étirées à tendance amiboid (16,1 %). Les cuvettes oasiennes de forme circulaire ou ovale renvoient à des drains partiellement comblés par les apports éoliens. Les formes étirées et très étirées sont liées à un morcellement du réseau hydrographique par des édifices dunaires. Enfin, la mesure de l'orientation a permis d'apprécier la distribution entre quatre secteurs majeurs : E-O (22,8 %), N-S (21,4 %), NE-SO (21,6%) et SE-NO (34,3 %). Les cuvettes orientées E-O et NE-SO sont associées à des dunes longitudinales et celles orientées N-S et SE-NO à des dunes transversales.

MOTS-CLÉS : cuvettes oasiennes, indice de forme, GRAVELIUS, orientation, Gouré, Niger.

ABSTRACT : Located in semi-arid to arid areas of Niger, the oasis basins of the Department of Gouré are currently threatened with silting due to the degradation of vegetation cover and the increased efficiency of erosive winds. To understand the silting up process around these basins, characterization of their shapes and orientations was undertaken. The compactness coefficient of GRAVELIUS helped highlight circular basins (8,5 %), ovoid (46,8 %), amoeboid (10,9 %), stretched (17,6 %) and very stretched with amoeboid tendency (16,1 %). Circular or ovoid shape of oasis basins refer to the drains that are partially filled with wind. The stretched and very stretched shapes are linked to the hydrographic network fragmentation by dunes edifices. Finally, the measurement of the orientation allowed to assess the distribution between four major sectors: E-W (22,8 %), N-S (21,4 %) NE-SW (21,6 %) and SE-NW (34,3 %). The oasis basins oriented E-W and NE-SW are associated with longitudinal dunes and oriented N-S and SE-NW with transverse dunes.

KEY WORDS : oasian basins, shape index, GRAVELIUS, orientation, Gouré, Niger.

I - INTRODUCTION

Les cuvettes oasiennes sont des écosystèmes de zones arides et semi-arides. Ce sont des dépressions fermées qui se situent dans les secteurs à interfluves peu accidentés (J. TRICART

et A. CAILLEUX, 1970). Ces cuvettes, parfois cultivées intensivement, constituent des refuges pour la vie, car elles possèdent de l'eau, du sol, des micro-organismes et peuvent donc accueillir des végétaux, des animaux et des hommes (M. BEN SALAH, 2012).

Au Niger, la densité des cuvettes est très forte dans les régions géologiques du Mounio (département de Gouré, et plus précisément dans sa partie sud) et du Manga (départements de Goudoumaria et de Maïné-Soroa).

Certains travaux sur l'évolution quaternaire du lac Tchad (M. SERVANT, 1967 ; A. DURAND et P. MATHIEU, 1980 ; A. DURAND et J. LANG, 1986 ; G. GAULTIER, 2004 ; J. MALEY, 2004) montrent que les cuvettes oasiennes du Manga ont pour origine les fluctuations climatiques, responsables des variations des niveaux lacustres et des dépôts palustro-lacustres dans les creux interdunaires de l'erg ancien qui se serait mis en place suite au remaniement par le vent des sables fluviatiles du Pléistocène moyen. Ces fluctuations ont fait alterner des périodes arides et des périodes humides.

Parmi les dernières périodes sèches, deux semblent avoir particulièrement marqué de leur empreinte le façonnement des formations sableuses éoliennes au Sahel (M. SERVANT et S. SERVANT, 1970 ; A. DURAND et J. LANG, 1986 ; A. DURAND et P. MATHIEU, 1980) : la première, à l'Antéghazalien (antérieur à 40000 ans BP), aurait sévit de 65000 à 50000 ans BP ; la seconde, au Kanémien, se serait étendue de 20000 à 12000 ans BP. L'essentiel des formations sableuses éoliennes ont été façonnées au cours de ces phases arides du Quaternaire supérieur. En effet, c'est à cette époque que se formèrent la plupart des ergs de la région sahélienne. G. GREIGERT et G. BERNERT (1979) l'ont montré pour l'erg du Manga, dont une petite partie se trouve dans le sud-est du département de Gouré, près de Kilakina (voir Fig. 1). Dans ce département, la première grande période aride (Antéghazalien) a mis en place l'erg ancien. La seconde (Kanémien) s'est traduite par des remaniements des sables de l'erg ancien et par la modification du modèle dunaire hérité (A. DURAND et J. LANG, 1986 ; G. GAULTIER, 2004 ; R. ZAIRI, 2008).

Les périodes humides de l'Holocène (moins de 12000 ans BP) ont laissé des formations lacustres en rapport avec l'extension du lac Tchad (M. SERVANT et S. SERVANT, 1970), ainsi que des dépôts palustro-lacustres dans les creux du modèle dunaire. Mais elles ont été aussi marquées par l'érosion des crêtes dunaires et le remblaiement partiel des dépressions interdunaires. C'est l'ensemble de ces événements qui a façonné les cuvettes si caractéristiques du Mounio et du Manga, dans les départements de Gouré, de Goudoumaria et de Maïné-Soroa.

Une recrudescence actuelle de l'activité éolienne, rendue apparente par la remise en mouvement de dépôts éoliens, accélère aujourd'hui la dégradation des ressources naturelles du département de Gouré (L. KANEMBOU et S. KARIMOUNE, 2013). Cette dégradation est induite par la péjoration climatique (P. OZER *et al.*, 2004) et par la pression anthropique sur les ressources naturelles (B. DJAMBOUTO, 2005 ; P. OZER *et al.*, 2010).

Dans le département de Gouré (Centre-Est du Niger), le système d'exploitation développé par les populations combine une agriculture pluviale pratiquée essentiellement sur les édifices dunaires et une agriculture irriguée dans les cuvettes oasiennes (M. KARIMOU BARKÉ, 2005). Face à la pression démographique, la demande en terre agricole s'est accompagnée d'une extension des cultures au détriment des aires de pâturage, avec un renforcement global des pressions sur les maigres ressources naturelles disponibles. Ainsi les modes de gestion traditionnelle des terres conduisent-ils à la dégradation de la plupart des terres par érosion éolienne

et hydrique. Les aspects les plus sensibles sont les pertes de matière organique et de nutriments, avec pour corollaire la baisse de la fertilité des sols et du rendement des cultures. Face à cette situation, les populations ont adopté des stratégies d'adaptation en mettant en valeur les cuvettes oasiennes jusque-là peu exploitées (M. KARIMOU BARKÉ, 2008). La mise en avant des cultures irriguées dans les cuvettes oasiennes a permis de pallier les insuffisances des cultures pluviales tributaires des aléas climatiques. Les cuvettes oasiennes, très nombreuses dans le département de Gouré (M. KARIMOU BARKÉ, 2017), sont les sites fournissant actuellement l'essentiel de leurs revenus aux populations (Y. ABDOU et M. ADJI, 2009 ; Y. ABDOU et B. DJAMBOUTO, 2009).

Les cuvettes sont malheureusement menacées d'ensablement (SAA/Gouré, 2000 ; PLE-CO, 2006 ; A.D. TIDJANI *et al.*, 2009-a, 2009-c ; C. BODART *et al.*, 2010 ; L. KANEMBOU et S. KARIMOUNE, 2013). Ce phénomène commence par de la déflation sur les terres de culture et les pâturages (M. MAINGUET et Y. CALLOT, 1978), puis les sables, mobilisés par le vent se déposent sous forme de dunes. Mais ils peuvent aussi s'accumuler dans les cuvettes, celles-ci présentant une rugosité élevée (végétation, topographie contrastée). Dans la zone d'étude, l'ensablement se manifeste donc de deux manières : la remise en mouvement des dunes et la formation de nappes sableuses autour et à l'intérieur des cuvettes oasiennes. Le phénomène est d'autant plus grave qu'il perturbe les écosystèmes et l'exploitation économique de ces cuvettes. Il est à l'origine de la dégradation et à terme de la disparition de certaines cuvettes (A.D. TIDJANI *et al.*, 2009-a, 2009-b ; C. BODART *et al.*, 2010 ; L. KANEMBOU et S. KARIMOUNE, 2013).

C'est pour mieux comprendre la dynamique de l'ensablement que cette étude a été initiée. Elle s'appuie sur le coefficient de compacité de GRAVELIUS et sur l'orientation générale des cuvettes. L'objectif est de vérifier si l'évolution mise en évidence par les indices, s'opère selon des axes dépendant de la direction des vents dominants actuellement responsables de la mobilisation éolienne.

Les indices morphométriques servent à caractériser les bassins versants. Le coefficient de compacité de GRAVELIUS, qui en définit la forme, est destiné à établir un lien avec le régime des cours d'eau. Nous l'avons utilisé pour déterminer la forme des cuvettes oasiennes. Les cuvettes sont des dépressions fermées où l'écoulement est endoréique. L'endoréisme est une dynamique particulière de bassin versant dans laquelle le réseau n'est relié à aucun autre. Les écoulements sont concentrés en un point bas du bassin, soit sous forme de mare, soit par accumulation souterraine (M. ROCHE, 1963). Cet endoréisme peut avoir des causes anciennes ou récentes (M.F. COUREL, 1984). Le réseau hydrographique a été fortement oblitéré dès la mise en place des premières dunes formant les ergs. Mais les apports éoliens à la base de la création d'édifices dunaires continuent d'accentuer l'endoréisme. C'est ce type d'évolution qui est à l'origine de nombreuses cuvettes oasiennes dans le département de Gouré.

L'étude de l'orientation des cuvettes apparaît, quant à elle, intéressante dans une zone où les processus de désertification, amplifiés par les activités humaines (déboisement excessif, surpâturage, extension des terres de culture), se sont traduits par la dégradation du maigre couvert végétal (A.A. TIDJANI *et al.*, 2009-c) et par une augmentation de la vitesse des vents (A.D. TIDJANI *et al.*, 2009-a, 2009-b), conditions favorables à la remise en mouvement des dunes (C. BODART et A. OZER, 2009 ; C. BODART *et al.*, 2010). L'idée est donc de comparer les orientations des cuvettes à celles des vents. D'autres études se sont penchées sur la morphologie et l'orientation des édifices dunaires en relation avec la direction des vents (L. AUFRÈRE, 1934 ; A. CLOS-ARCEDUC, 1969 ; R. CAPOT-REY, 1970 ; M. MAINGUET,

1975 ; M. MAINGUET et Y. CALLOT, 1978 ; M. MAINGUET *et al.*, 1985 ; J.C. PION *et al.*, 1990 ; S. KARIMOUNE et A. OZER, 1994). Mais aucune ne s'est concentrée spécifiquement sur la morphologie et l'orientation des cuvettes, qui sont en interaction étroite avec celles des dunes.

II - ZONE D'ÉTUDE

Les cuvettes oasiennes du département de Gouré sont situées entre les latitudes 13° et 14° N et les longitudes 9°35'E et 11°50' E (Fig. 1). Elles sont surtout concentrées au sud-ouest (communes de Guidiguir et de Bouné) et au sud-est (commune de Gouré), même s'il en existe aussi dans le secteur délimité par les localités de Guidiguir, Gouré et Kellé.

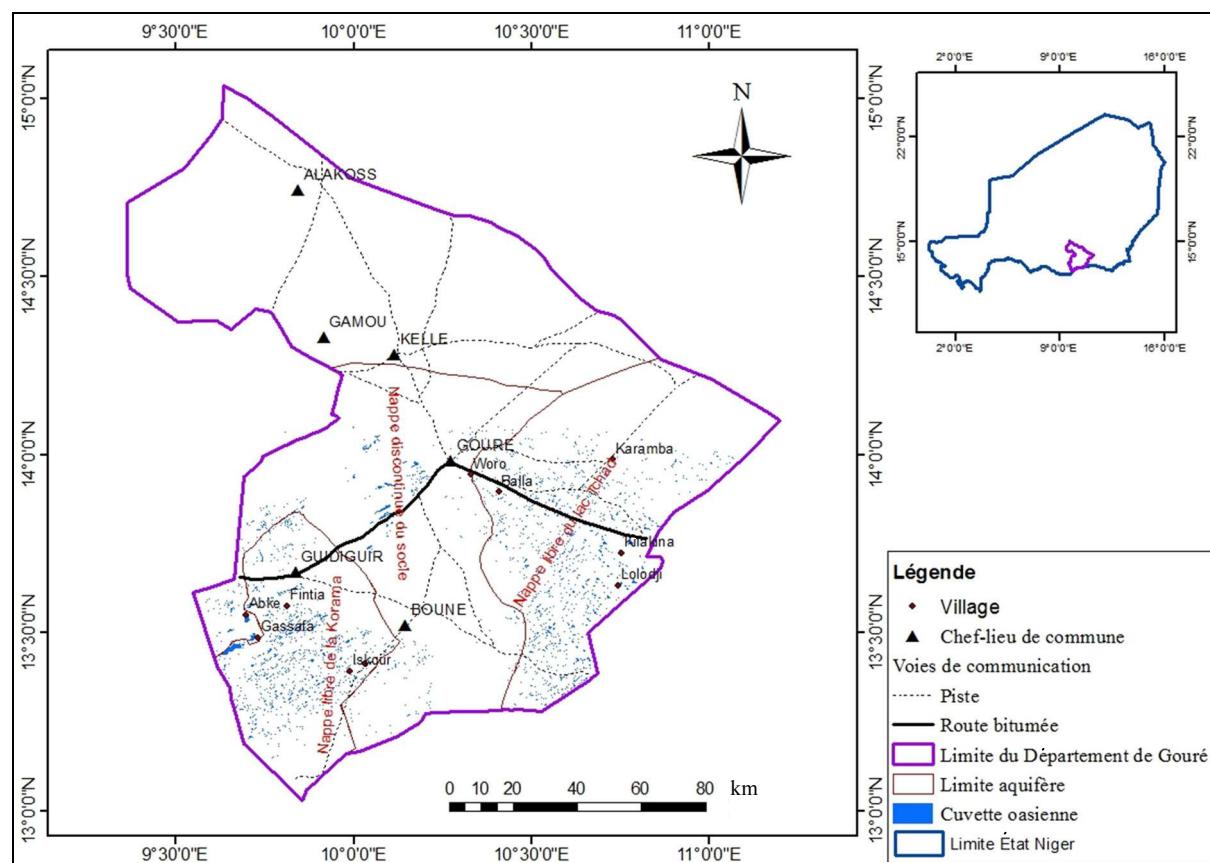


Figure 1 - Localisation des cuvettes oasiennes dans le département de Gouré.

Au point de vue géologique, ce département est essentiellement rattaché à la région géologique du Damagaram-Mounio (secteur de Zinder et Diffa) située aux limites est du bassin occidental des Oulliminden et ouest du bassin du Tchad (J. GREIGERT et R. PUGNET, 1967).

La région appartient au domaine climatique sahélien, avec une pluviosité annuelle moyenne de 300 à 350 mm.

Les formations aquifères de la zone se subdivisent en deux groupes : l'aquifère de socle du Mounio et les aquifères sédimentaires du Quaternaire (G. GAULTIER, 2004). Selon S. KARIMOUNE (1994), l'aquifère de socle est formé de roches métamorphiques et de granites. Les aquifères sédimentaires du Quaternaire de la zone d'étude sont liés à deux formations, celles du Manga et de la Korama. La nappe du Manga est tributaire de la pluviométrie, du retrait du lac Tchad et du régime du Komadougou Yobé (L. CHRISTIAN *et al.*, 1998 ; D. SEBAG *et al.*, 2006). Le bassin de la Korama est caractérisé par la fossilisation des cours d'eau, la persistance du déficit pluviométrique et l'épuisement de la nappe au niveau du champ de captage.

Le relief associe des collines à des systèmes dunaires composés de dunes longitudinales (NE-SO) et de dunes transversales (SSE-NNO) mises en place au Quaternaire récent par l'harmattan, systèmes auxquels sont associées des dépressions (ou cuvettes) interdunaires.

Le niveau de la nappe phréatique varie selon les cuvettes. La nappe est affleurante ou sub-affleurante pour certaines, alors que pour d'autres elle est plus ou moins profonde (plus de 1 m et même parfois 4 m) (M. JAHIEL, 1998).

Les vallées sèches observées dans la zone sont des bas-fonds (localement dénommés *Fayas*), d'une profondeur n'excédant pas 10 m et à fond plat. Les vallées sèches sont couvertes par une végétation assez dense d'acacias et de palmiers doums associée au mil et, en zone non cultivée, par une couverture homogène de *Leptadenia pyrotechnica* (K. AMBOUTA, 2006). Les bas-fonds sont les parties amont des réseaux de drainage, où les dépôts alluvionnaires sont quasiment ou totalement inexistant. Elles se différencient des cuvettes oasiennes par leur forme allongée sur plusieurs kilomètres.

Les édifices dunaires sont constitués de sables quaternaires de grande épaisseur. Ils recouvrent la plus grande partie de la zone : ergs anciens de Gouré (aux dunes transversales orientées SE-NO) et du Manga (PLECO, 2006).

Enfin, les collines présentes sur la bordure ouest de la zone d'étude, correspondent aux rares affleurements du socle cristallin. Elles sont constituées de roches métamorphiques (micaschistes, para-gneiss, quartzites) et de granites intrusifs (S. KARIMOUNE *et al.*, 1990 ; S. KARIMOUNE, 1994). Elles forment les hauts reliefs, nettement différenciés des autres unités géomorphologiques du département de Gouré.

La végétation des édifices dunaires se présente principalement sous la forme d'une steppe arbustive claire de *Leptadenia pyrotechnica* et *Pergularia tomentosa* (espèces indicatrices de la dégradation du sol) dans le nord (M. KARIMOU BARKÉ, 2005). Cette steppe devient plus diffuse et arborée tout au sud, où la couverture sableuse est moins épaisse. Elle est alors composée d'*Acacia senegal*, d'*Acacia seyal*, d'*Acacia raddiana*, d'*Acacia nilotica*, de *Balanites aegyptiaca* et de *Faidherbia albida* et, sur matériaux indurés et cuirasses, de *Boscia senegalensis*. Les cuvettes sont caractérisées par une végétation phréatophile beaucoup plus dense (Photo 1) quand elle n'est pas dégradée suite aux actions anthropiques :

- La ceinture externe est occupée par des palmiers doums (*Hyphaene thebaica*) dont le taux de couverture du sol dépasse parfois 80 % (plus de 500 pieds/ha). Le tapis herbacé, peu développé, comprend essentiellement des espèces d'ombre pérennes.
- La zone médiane est le domaine d'herbacées hydrophiles adaptées aux sols alcalins. Lorsqu'elle est exploitée, en particulier dans les grandes cuvettes, elle est vouée au maraîchage et à l'arboriculture (Photo 2).

- La partie centrale, aux dépôts de sel et de natron, présente parfois un plan d'eau saumâtre. Elle est généralement occupée par une végétation semi-aquatique (roseaux), mais elle peut être localement cultivée (canne à sucre, patates et céréales).



Photo 1 - Cuvette oasisenne près d'Iskour.

Au premier plan, *Leptadenia pyrotechnica* sur dune ancienne (peut-être d'âge ogolien) ; au second plan, auréole externe de cuvette à *Hyphaene thebaica*.



Photo 2 - Zone de cultures irriguées dans la cuvette de Gassafa.

Le département de Gouré est une région endoréique caractérisée par un réseau hydrographique saisonnier composé essentiellement de *koris* (terme local désignant des ensembles de ravines et ravins) et de mares (PGRN, 1997). Les *koris* forment un réseau dense. Ils prennent naissance sur les versants des massifs. Leur alimentation est assurée par les précipitations, qui entraînent souvent des crues brutales, de courte durée, mais parfois dévastatrices. Quant aux mares, elles sont de deux catégories : les unes, localisées au pied des massifs rocheux, sont les exutoires des *koris* ; les autres, situées dans les cuvettes oasiennes (Photo 3) sont alimentées par des ruissellements et la remontée de la nappe phréatique.



Photo 3 - Cuvette oasis près de N'Guigugué.

Au premier plan, terrasse moyenne ; au plan médian, bas fond central ennoyé ;
en arrière-plan, flanc et sommet de dune.

III - MÉTHODOLOGIE

L'identification des cuvettes oasiennes a été réalisée dans le cadre de la thèse de M. KARIMOU BARKÉ (2017) à l'aide d'une analyse visuelle par objet (chaque objet couvrant plusieurs pixels) appliquée à des images SPOT 5-THX datant de 2013. Les données collectées sur des cartes topographiques au 1/200000 (IGN, 1962) et géomorphologiques (F. PIRARD, 1966 ; S. KARIMOUNE, 1994) de la zone ont été superposées au fichier des cuvettes oasiennes identifiées, afin de relever et de corriger les erreurs éventuelles. Après vérification, on dénombre 10717 cuvettes oasiennes couvrant un total de 334,75 km² dans le département de Gouré.

1) Matériaux

Deux logiciels de système d'information géographique ont été utilisés : ArcGIS et WhiteboxGAT. Sur ArcGIS, l'extension Patch Analyst 5 a été utilisée pour calculer le coef-

ficient de compacité de GRAVELIUS. Cet outil permet d'effectuer l'analyse spatiale des unités de paysage et une modélisation des attributs associés à ces unités. Le logiciel WhiteboxGAT, développé par J.B. LINDSAY (2014), a servi à calculer l'orientation des cuvettes oasiennes.

2) Détermination des paramètres

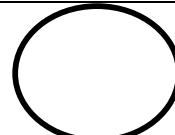
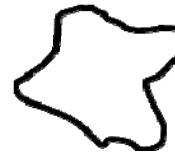
a. Le coefficient de compacité de GRAVELIUS

Cet indice de forme est un indicateur de circularité, car il est défini comme le rapport du périmètre du terrain étudié à celui d'un cercle de même surface (M. ROCHE, 1963 ; H. BENDJOURDI et P. HUBERT, 2002 ; A. MUSY et C. HIGY, 2004 ; J. DOUVINET *et al.*, 2008). Soit P le périmètre d'une cuvette oasisenne et A sa superficie, le coefficient de compacité de GRAVELIUS s'exprime par :

$$K = \frac{P}{2\sqrt{(\pi A)}} = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (1)$$

Cinq valeurs de K ont été retenues (Tab. I), afin de définir des classes de compacité ou de forme. La méthode de calcul des quantiles, qui utilise l'algorithme de G.F. JENKS (1963), a servi à déterminer les valeurs-seuils de l'indice de forme de GRAVELIUS. C'est une méthode de détermination des ruptures naturelles jugée statistiquement très robuste. Elle minimise les variances intra-classes et maximise les variances interclasses.

Tableau I - Classes de formes de cuvette oasisenne suivant les valeurs de l'indice de GRAVELIUS.

Forme	Valeurs de l'indice	Définition	Schéma stylisé
Circulaire	1 à 1,03	Cuvettes ayant la forme de cercle	
Ovoïde	1,03 à 1,3	Cuvettes ovoïdes	
Amiboïde	1,3 à 1,4	Cuvettes caractérisées par une association de plages irrégulières, lobées, d'aspect amiboïde, à contours nets, très contrastés	
Étirée	1,4 à 1,7	Cuvettes allongées	
Très étirée à tendance amiboïde	> 1,7	Cuvettes plus étirées que les précédentes. Elles présentent souvent des fragments amiboïdes c'est-à-dire des contours lobés	

b. L'orientation des cuvettes oasiennes

L'outil Long Axis du logiciel WhiteboxGAT permet de déterminer automatiquement le

plus grand axe d'un polygone et, par suite, de définir son orientation par rapport au nord (J.B. LINDSAY, 2014). Le fichier de forme contenant les polygones des cuvettes oasiennes a été utilisé comme entrée dans WhiteboxGAT. La valeur de l'orientation est exprimée comme un angle compris entre 0 et 180° dans le sens horaire à partir du nord. Pour une visualisation efficace, une reclassification des valeurs d'orientation à travers la rose des vents a été faite.

L'orientation des cuvettes a été comparée à celle du réseau hydrographique. Le réseau hydrographique a été généré à partir d'un modèle numérique de terrain. Il s'agit du modèle ASTER GDEM v2 (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer), qui a un pas au sol d'un arc-seconde (environ 30 m à l'équateur). Quatre scènes acquises en septembre 2013 ont été mosaïquées. L'extraction du réseau hydrographique à partir du MNT ASTER GDEM v2 passe par trois étapes. Les directions d'écoulement sont d'abord calculées, puis les flux d'accumulation, enfin le réseau hydrographique est généré.

IV - RÉSULTATS ET DISCUSSION

1) Indice de forme de GRAVELIUS des cuvettes oasiennes

La répartition des cuvettes oasiennes selon l'indice de forme de GRAVELIUS est consignée dans le tableau II.

Tableau II - Nombre et superficies minimale, moyenne, maximale et totale des classes obtenues suivant l'indice de GRAVELIUS pour l'ensemble des cuvettes oasiennes du département de Gouré.

Forme	Valeurs de l'indice	Nombre de cuvettes	Superficie minimale (ha)	Superficie maximale (ha)	Superficie moyenne (ha)	Superficie totale (ha)
Circulaire	1 - 1,03	915	0,2	10	0,65	598
Ovoïde	1,03 - 1,3	5017	0,2	59	1,25	6295
Amiboïde	1,3 - 1,4	1173	0,2	202	2,59	3034
Étirée	1,4 - 1,7	1884	0,2	110	3,64	6865
Très étirée à tendance amiboïde	> 1,7	1 728	0,2	862	9,64	16658

Les cuvettes circulaires, au nombre de 915, représentent 8,5 % de l'ensemble des cuvettes et 1,8 % de leur superficie totale. Pour la plupart, ce sont de petites cuvettes (superficie moyenne < 0,7 ha).

Les cuvettes ovoïdes sont de loin les plus nombreuses (5017, soit 46,8 % du nombre total des cuvettes). Mais elles n'arrivent qu'en troisième position pour la superficie totale (6295 ha). Il s'agit surtout de cuvettes de petite taille (de 0,2 à 59 ha, avec une valeur moyenne de 1,25 ha seulement).

Les cuvettes amiboïdes, au nombre de 1173, soit 10,9 % de l'ensemble des cuvettes du

département de Gouré, couvrent 3 034 ha. Leur superficie moyenne est de 2,6 ha. Les cuvettes amiboïdes de grande taille (jusqu'à 202 ha) sont bordées d'édifices dunaires transversaux et longitudinaux, souvent associés à des reliefs résiduels.

Les cuvettes de forme étirée regroupent 17,6 % de l'ensemble des cuvettes et représentent 20,5 % de leur superficie totale. La taille maximale de ces cuvettes est de 110 ha.

Les cuvettes très étirées, parfois à tendance amiboïde, ne sont pas les plus nombreuses (1 728, soit 16,1 % de l'effectif total). Toutefois, relativement grandes, elles couvrent 49,8 % de la superficie totale des cuvettes. Seules 7,5 % de ces cuvettes font moins de 0,5 ha. Au contraire, 44 % ont une superficie supérieure à 5 ha et 27 % dépassent 10 ha. La plus grande atteint 862 ha.

Selon S. KARIMOUNE *et al.* (1990), deux origines peuvent être attribuées aux cuvettes étirées et très étirées :

- Certaines sont liées à la vigueur des systèmes dunaires transversaux. Ce sont les formes les plus répandues dans le secteur d'étude. Ces cuvettes collectent en saison des pluies les eaux de ruissellement qui se transforment en mares temporaires ou permanentes. Elles sont localisées de façon quasi exclusive dans la partie orientale où leur coalescence donne naissance à de véritables chenaux.
- D'autres résultent de l'oblitération du réseau hydrographique par des dunes longitudinales (M.F. COUREL, 1984). Dans ce cas, les cuvettes sont plus grandes (plusieurs dizaines d'hectares) et plus étirées. Ces cuvettes se sont formées entre des reliefs de quartzites et des dunes longitudinales. Elles sont peu nombreuses et se trouvent uniquement au sud-ouest du département, notamment dans le secteur de Gassafa (Fig. 2).

Dans les cuvettes circulaires et ovales, la classe de taille 0,2-0,5 ha est dominante. On peut y voir la conséquence de la désorganisation poussée du réseau hydrographique, autrement dit un stade avancé des effets de l'activité éolienne. De grandes cuvettes ou des sous-bassins versants auraient ainsi été subdivisés en plusieurs réseaux de drainage déconnectés les uns des autres (M.F. COUREL, 1984; J.C. DESCONNETS, 1994).

La répartition des types de cuvettes en fonction de la superficie (Fig. 3) précise les relations entre la taille et la forme. Les cuvettes circulaires et ovoïdes sont surtout de petite taille : 70 % ont une superficie inférieure à 1 ha et 20 % entre 1 et 5 ha. La plupart d'entre elles ont même une superficie inférieure ou égale 0,5 ha. Sur les 5 613 cuvettes de superficie inférieure ou égale à 1 ha, seulement 7,2 % sont de forme étirée et 2,3 % de forme très étirée, alors que ces formes représentent ensemble près de 34 % du total des cuvettes. Si le nombre des cuvettes circulaires et ovoïdes s'effondre avec l'augmentation de la superficie, celui des cuvettes étirées décroît plus faiblement et celui des cuvettes très étirées tend même à augmenter. Pour les cuvettes très étirées, la taille varie de 0,22 ha à 862 ha et la moyenne s'établit à 9,7 ha.

Au nord des secteurs sud-est (Fig. 4-A) et sud-ouest (Fig. 5) du département de Gouré, les cuvettes sont étirées à très étirées. À l'extrême sud-est, les cuvettes amiboïdes sont dominantes (Fig. 4-B). Dans trois cas, les cuvettes sont organisées sous forme de couloirs interdunaires orientés SE-NO (Fig. 4 et 5-A). Ces couloirs correspondent à des axes de drainage du réseau hydrographique autrefois fonctionnel (S. KARIMOUNE, 1994).

Les figures 4 et 5 donnent des exemples d'organisation des cuvettes. Les trois plus grandes cuvettes de ces figures sont situées dans le secteur Abké-Bourkou (Fig. 5-B), mais il en

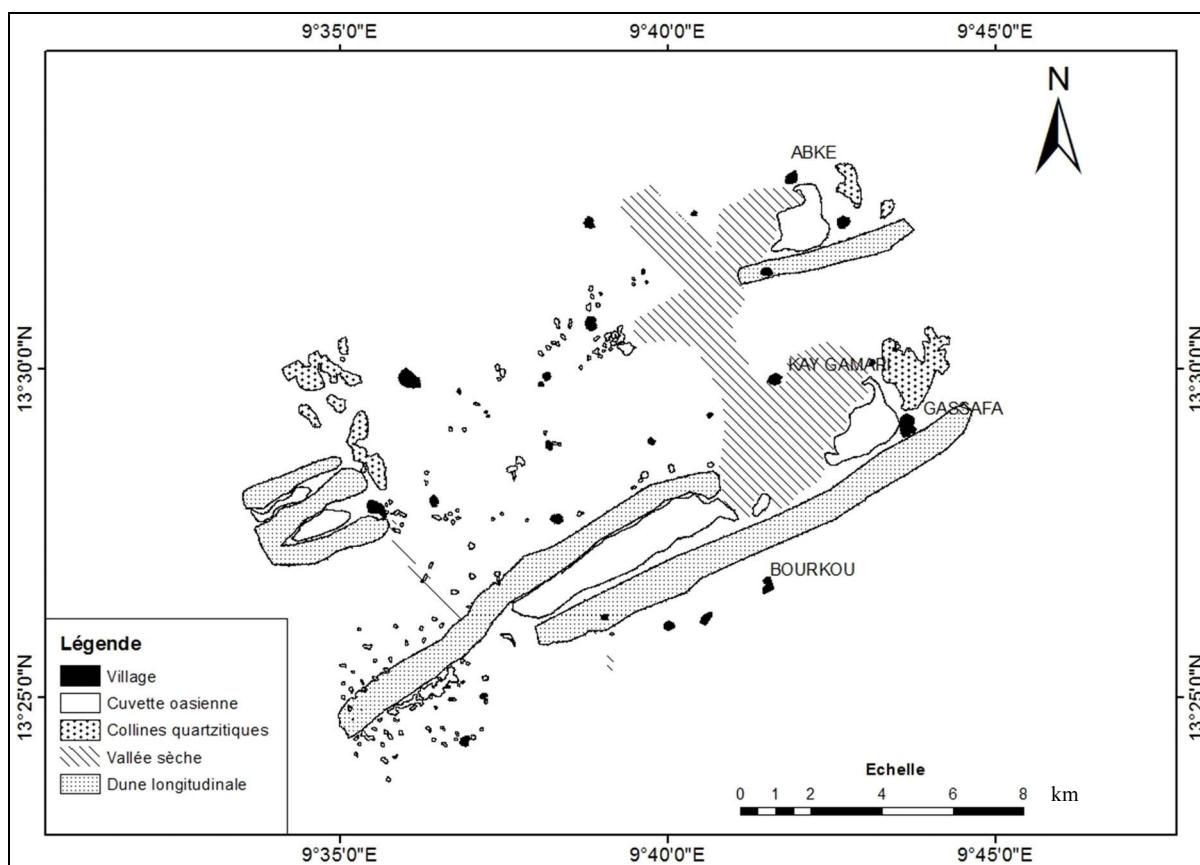


Figure 2 - Secteur de Gassafa : cuvettes oasiennes associées à des reliefs quartzitiques et des dunes longitudinales (interprétation d'une image SPOT 5-THX).

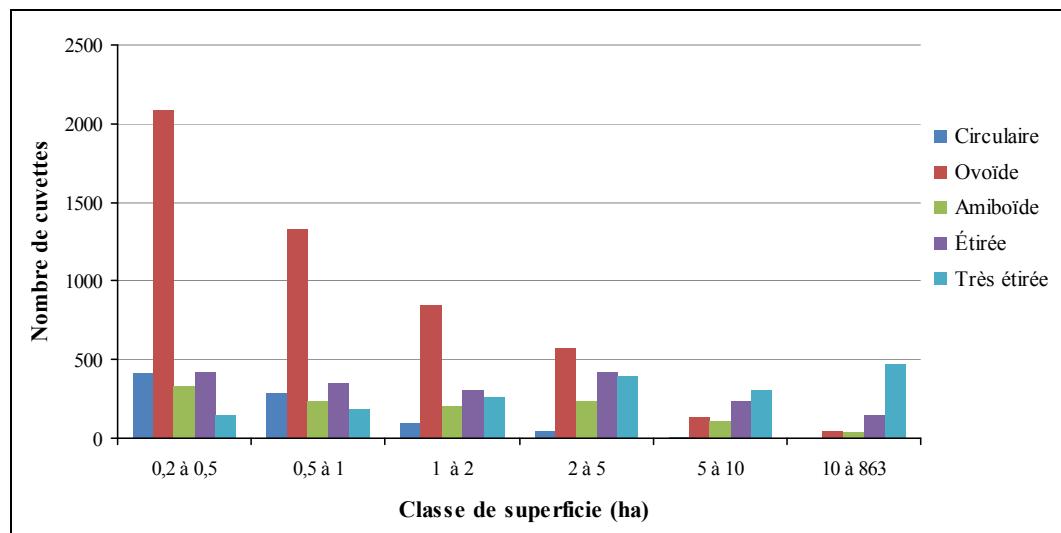


Figure 3 - Répartition de la taille des cuvettes oasiennes de l'ensemble du département de Gouré selon l'indice de forme de GRAVELIUS.

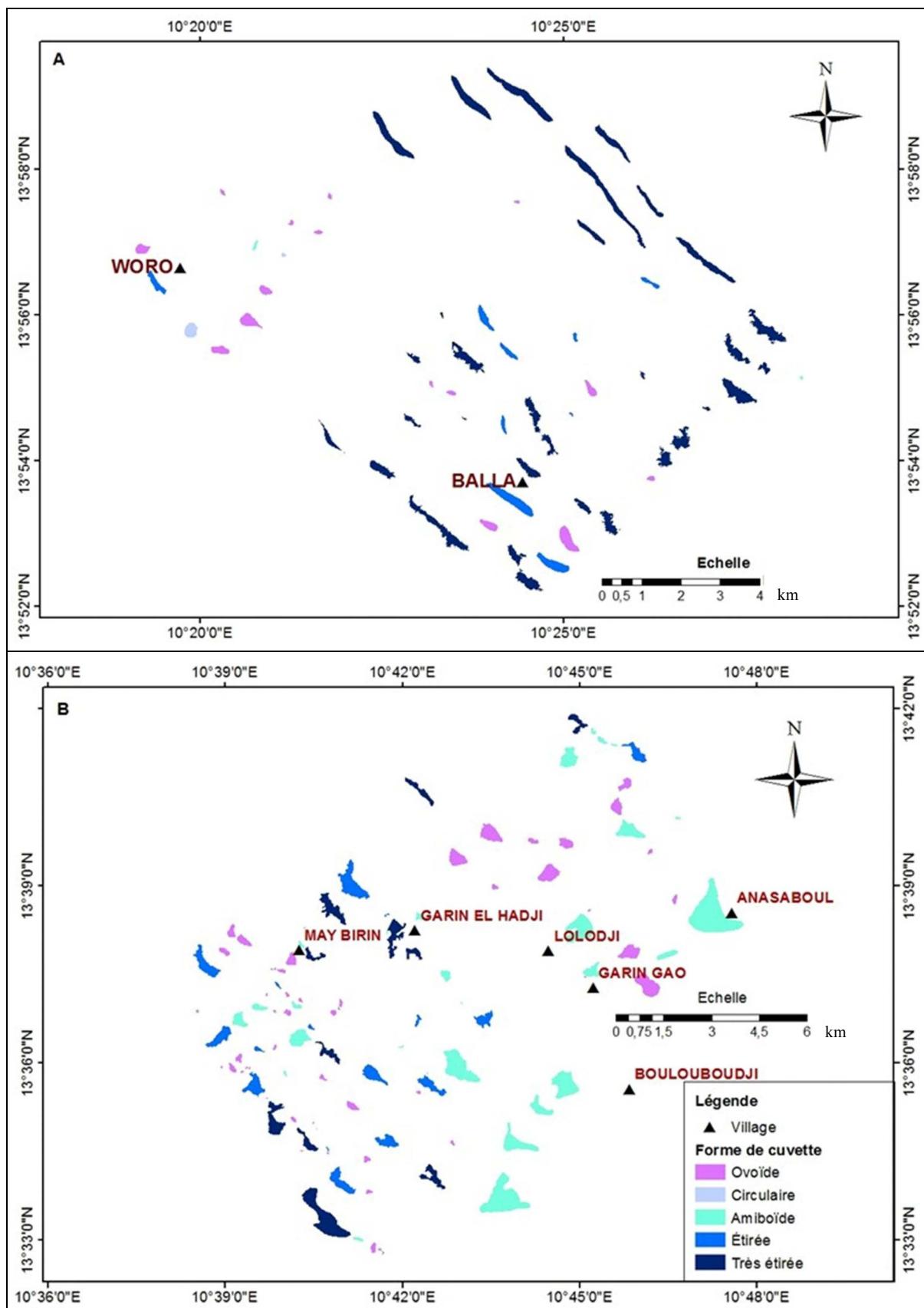


Figure 4 - Formes des cuvettes oasiennes selon l'indice de GRAVELIUS dans le nord (A) et l'est (B) du secteur sud-est du département de Gouré.

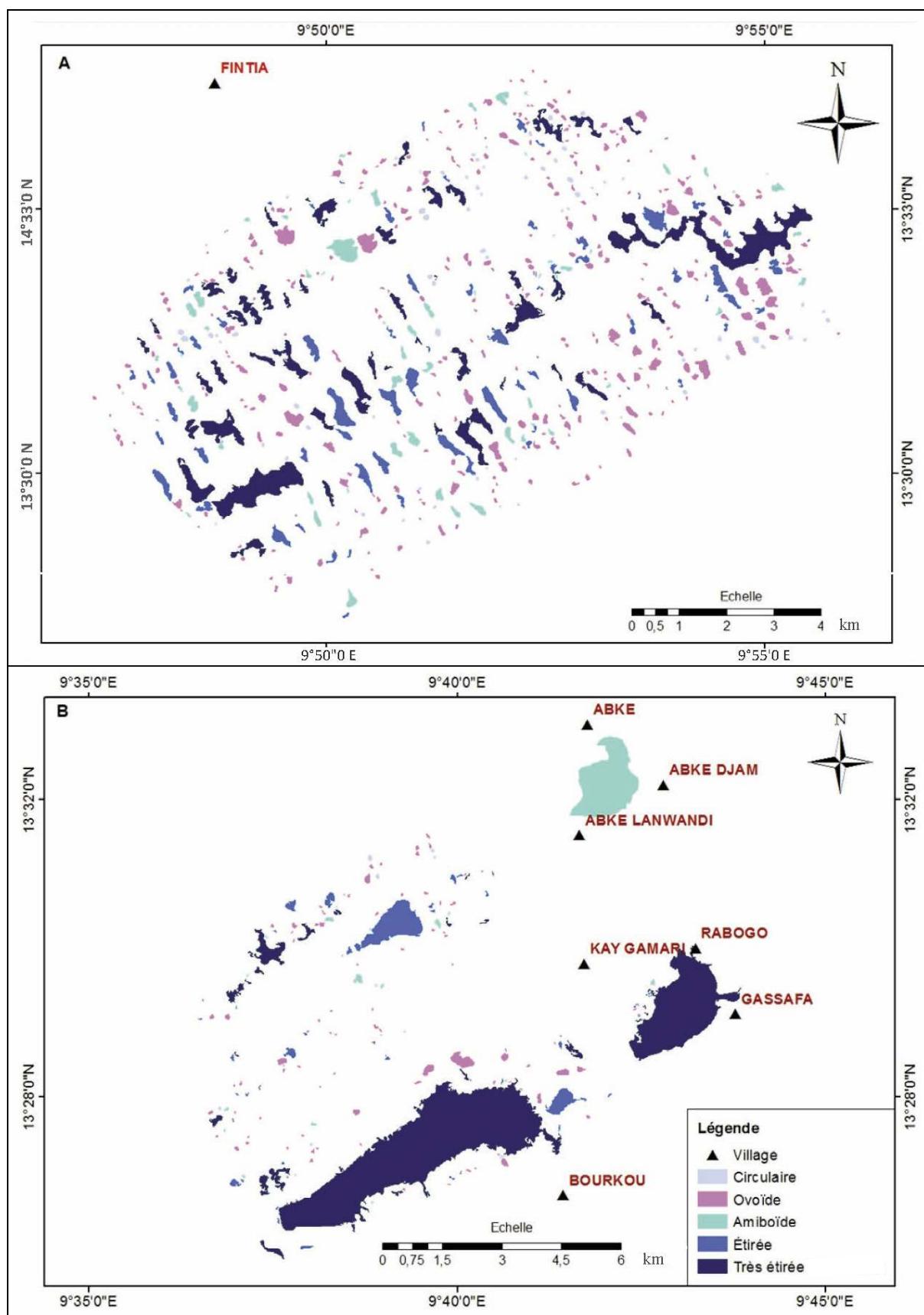


Figure 5 - Formes des cuvettes oasiennes selon l'indice de GRAVELIUS dans le nord du secteur sud-ouest du département de Gouré.

existe d'autres plus grandes encore (voir Fig. 1). Ces cuvettes de grande taille pourraient être sur des bras morts d'ordre supérieur du réseau hydrographique.

Bien que cela ne soit pas évident à travers les figures 4 et 5, la taille moyenne des cuvettes augmente plus on va vers l'est et les formes amiboïdes sont plus nombreuses. Cette double évolution est particulièrement perceptible dans le département de Mainé Sorao, à l'est de celui de Gouré. La disposition des cuvettes sur les axes du réseau hydrographique devient alors difficile à observer du fait de l'ensablement très poussé, matérialisé par des étendues d'amas dunaires dans la partie orientale de la zone. À l'ouest, l'ensablement n'est pas aussi avancé, mais il est en cours.

2) Orientation générale des cuvettes oasiennes

Les orientations des cuvettes oasiennes du département de Gouré sont résumées à travers une rose des vents réduite à quatre directions : N-S, NE-SO, E-O et SE-NO (Tab. III et Fig. 6).

Tableau III - Nombre et superficies minimale, moyenne, maximale et totale des classes de cuvettes oasiennes réparties suivant quatre directions de la rose des vents.

Direction des cuvettes	Nombre	Superficies (ha)			
		Minimale	Moyenne	Maximale	Totale
E - O	2439	0,20	3,00	862	7 319
N - S	2290	0,20	2,57	202	5 898
NE - SO	2312	0,20	3,66	324	8 458
SE - NO	3 676	0,20	3,20	125	11 775

Les cuvettes de direction SE-NO sont disposées transversalement aux vents forts de la saison sèche (harmattan). Cette classe regroupe le plus grand nombre de cuvettes (3 676, soit 34,3 % du total). Les cuvettes des autres directions sont représentées presque à parts égales (de 21,4 % pour les cuvettes N-S à 22,8 % pour les cuvettes E-O).

La superficie moyenne des cuvettes va de 2,57 ha, pour la direction N-S, à 3,66 ha, pour la direction NE-SO (direction du vent dominant, l'harmattan). La plus grande cuvette a une direction E-O (862 ha), mais cette classe n'occupe que le troisième rang pour la superficie moyenne (3,00 ha).

À Gouré, les vents forts pouvant déclencher des processus d'érosion (à partir de 6 m/s) soufflent essentiellement du secteur E-NE. Ces vents secs sont chargés habituellement de poussières. Ils représentent 60 % des directions enregistrées à la station de Gouré en 1984 (P. OZER *et al.*, 2004). Ces informations sont utiles pour comprendre les processus éoliens au niveau des formations dunaires. Pour expliquer la morphologie et l'orientation de certaines dunes, il faut forcément tenir compte de la variabilité de leur direction de déplacement (I. LEKOUCHE *et al.*, 2010). Cette variabilité est la cause des collisions entre dunes qui engendrent parfois leur fractionnement et la création de nouvelles formes dunaires.

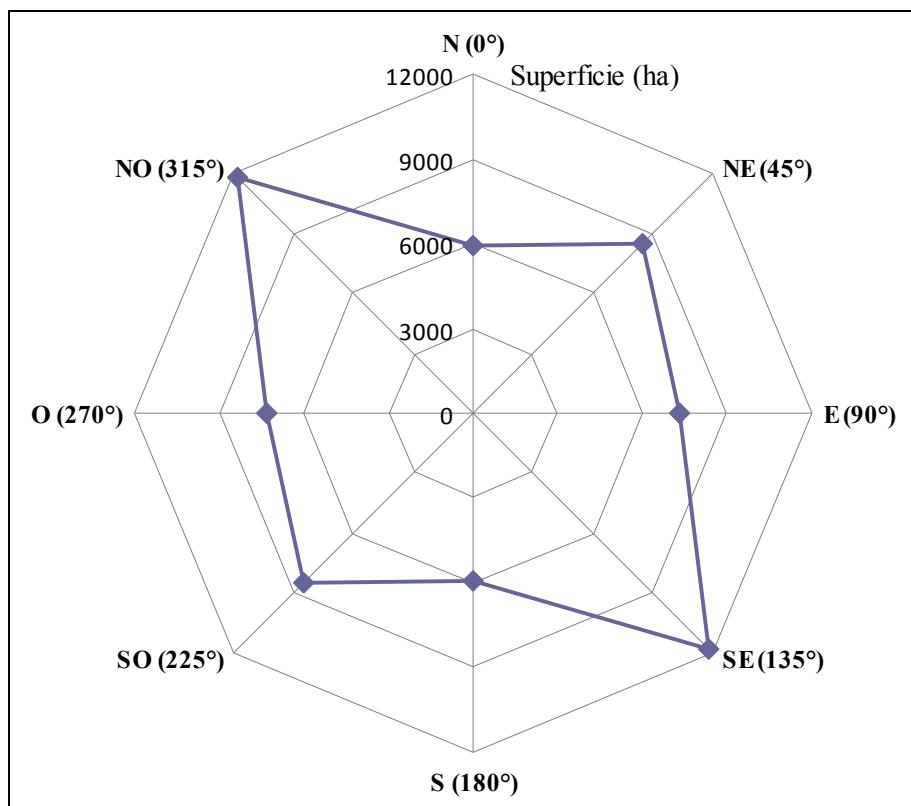


Figure 6 - Superficies totales (en ha) des cuvettes oasiennes suivant quatre directions de la rose des vents.

Notons aussi que dans les secteurs nord et sud-est de la zone d'étude, la direction de l'harmattan est perpendiculaire à celle des dunes transversales. Celles-ci sont constituées d'éléments orientés SE-NO, dont la longueur n'excède pas 5 km et dont la largeur est généralement inférieure à 0,5 km. Selon S. KARIMOUNE *et al.* (1990) et S. KARIMOUNE et A. OZER (1994), ces dunes jointives dans le sens SE-NO déterminent des couloirs interdunaires plus ou moins longs et plus ou moins profonds. C'est dans ces couloirs interdunaires que se forment les cuvettes oasiennes. En saison des pluies, ces cuvettes recueillent les eaux de ruissellement, qui donnent ainsi naissance à des mares temporaires. La coalescence de ces mares transforme certains inter-dunes en véritables chenaux (S. KARIMOUNE *et al.*, 1990), ce qui permet de dire que l'orientation des cuvettes vers le nord et le nord-ouest est surtout déterminée par l'orientation des dunes transversales.

Quant aux cuvettes orientées E-O et NE-SO, elles épousent la direction des dunes longitudinales.

Les affleurements rocheux interviennent aussi parfois dans la localisation et l'orientation des cuvettes. C'est le cas dans les secteurs qui associent des dunes longitudinales à des reliefs résiduels de roches cristallines. Les dunes longitudinales barrent le réseau hydrographique descendant des collines (*koris*), ce qui entraîne la formation de mares temporaires (S. KARIMOUNE, 1994).

S. KARIMOUNE *et al.* (1990) et S. KARIMOUNE (1994) se sont interrogés sur les relations entre le réseau hydrographique, les reliefs résiduels et les systèmes dunaires. Ils ont noté que les reliefs résiduels et les édifices dunaires présentent deux orientations préférentielles, NE-

SO et SSE-NNO, qui sont aussi celles du réseau hydrographique. Cette concordance des directions permet d'affirmer que les cuvettes oasiennes ont été façonnées suite à la mise en place d'édifices dunaires qui ont fractionné et dégradé le réseau hydrographique devenu aujourd'hui non fonctionnel (O.I. NAFAAHR *et al.*, 2016).

La répartition des cuvettes en fonction de leur taille et de leur orientation (Fig. 7) montre que, quelle que soit la classe de superficie, toutes les orientations sont représentées. Cela pourrait s'expliquer par une mobilisation des sables dans toutes les directions et un accroissement de la fréquence des manifestations éoliennes, qui se solderait par des phénomènes d'abrasion, de déflation et de redistribution de plus en plus intenses (S. KARIMOUNE, 1994). Cependant, pour toutes les tailles, les cuvettes transverses aux vents dominants d'harmattan sont les plus nombreuses.

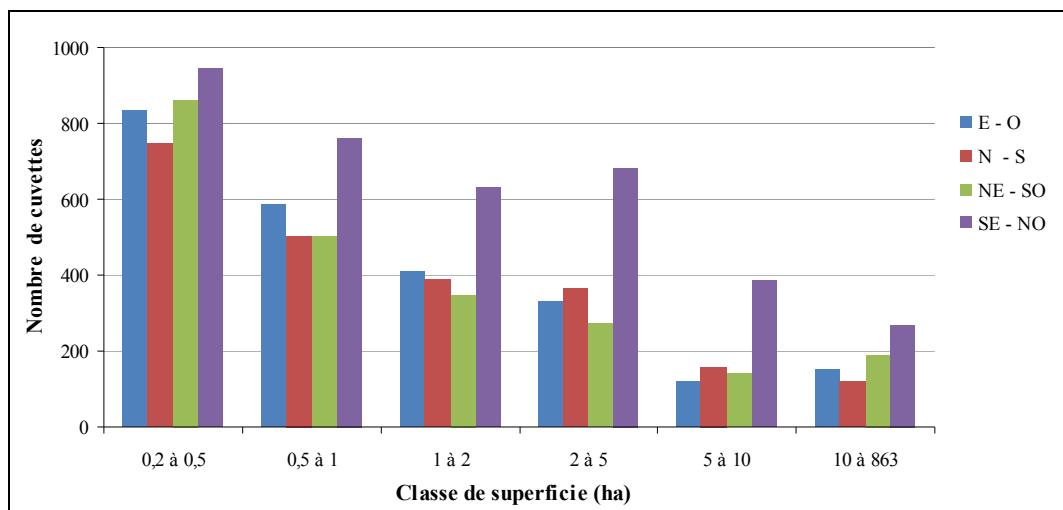


Figure 7 - Répartition du nombre de cuvettes par orientations principales et par classes de taille.

Deux types de cuvettes se distinguent en fonction de leur relation avec l'orientation du réseau hydrographique :

- Les cuvettes dont l'axe est parallèle à la direction du réseau hydrographique. En fait, elles sont alignées sur ce réseau. Ces cuvettes sont généralement associées à des dunes longitudinales qui ont interférée avec les anciens cours d'eau (Fig. 8). Elles se trouvent surtout dans le sud-ouest de la zone d'étude.
- Les cuvettes dont l'axe est perpendiculaire à la direction du réseau hydrographique. Ces cuvettes sont en lien avec des dunes transversales (Fig. 8 et 9). On en rencontre dans toute la zone d'étude, mais essentiellement au sud-est.

Les cuvettes orientées SE-NO sont présentes dans toute la zone d'étude, mais particulièrement dans les secteurs sud et sud-est (Fig. 9). Petites le plus souvent, elles correspondent généralement à des tronçons de premier ou deuxième ordre du réseau hydrographique.

Quant aux cuvettes orientées E-O et NE-SO, elles sont fréquentes uniquement au sud et au sud-ouest (Fig. 8). Elles sont en général de grande taille et ont la même orientation que le

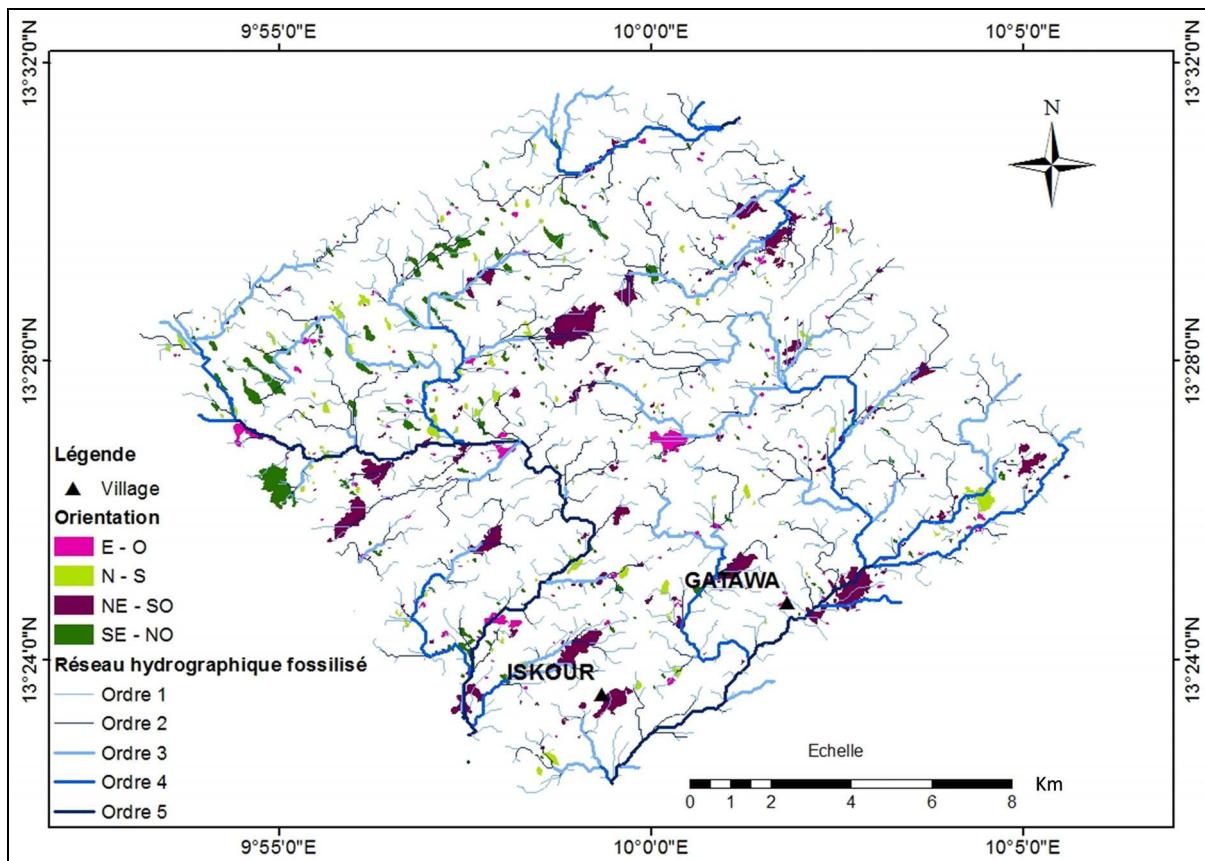


Figure 8 - Orientation des cuvettes oasiennes dans l'est du secteur sud-ouest du département de Gouré.

réseau hydrographique. Ces cuvettes correspondent préférentiellement à des tronçons d'ordre élevé du réseau hydrographique. Cela pourrait expliquer non seulement leur grande taille, mais aussi pourquoi la plupart de ces cuvettes accumulent des stocks importants d'eau ruisseau formant des mares durant la saison des pluies et une plage natronnée en saison sèche.

V - CONCLUSION

Au terme de cette analyse, l'indice de forme de GRAVELIUS a permis identifier cinq classes de cuvettes (circulaires, ovoïdes, amiboïdes, étirées et très étirées). Plus de la moitié des cuvettes circulaires et ovoïdes ont une superficie inférieure à 0,5 ha, alors que les cuvettes très étirées sont généralement plus grandes et assimilables à des bas-fonds.

L'étude des superficies correspondant aux différentes orientations des cuvettes montre une légère dominance des cuvettes SE-NO (11775 ha, 35,2 % du total), devant les cuvettes NE-SO (8458 ha, 25,3 % du total), E-O (7319 ha, 21,9 % du total) et N-S (5898 ha, 17,6 % du total). Pour toutes les classes de taille, ce sont d'ailleurs les cuvettes SE-NO qui sont les plus nombreuses.

L'orientation des cuvettes est déterminée par les éléments de relief qui les entourent : collines et dunes (soit longitudinales, E-O ou NE-SO, soit transversales, N-S ou SE-NO).

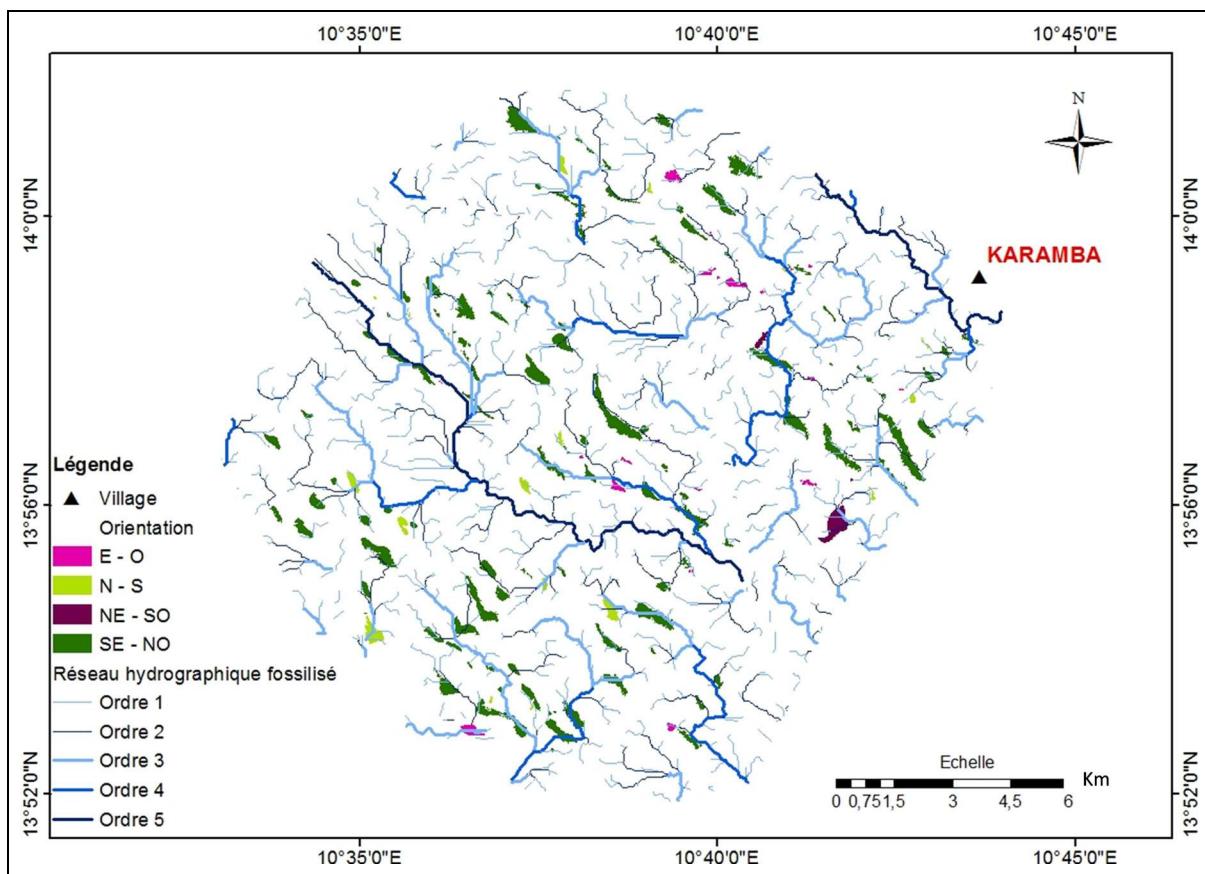


Figure 9 - Orientation des cuvettes oasiennes dans l'extrême nord du secteur sud-est du département de Gouré.

Les cuvettes circulaires et ovoïdes correspondent à une dégradation très poussée du réseau hydrographique. La forme amiboïde serait liée à une association de dunes longitudinales, de dunes transversales et d'affleurements rocheux. Les cuvettes étirées, et plus encore celles très étirées, sont situées dans l'axe de segments du réseau hydrographique ayant subi une dégradation moins poussée. Elles sont associées à des dunes longitudinales qui ont interféré avec les anciens cours d'eau.

Nos futures recherches viseront à élargir le champ thématique des investigations, avec pour objectif de mieux évaluer les potentialités agricoles des cuvettes oasiennes.

Remerciements : Les auteurs expriment leur reconnaissance à l'Académie de Recherche et d'Enseignement supérieur (ARES) du Royaume de Belgique qui a financé cette étude à travers le Projet Interuniversitaire Ciblé (PIC) dénommé REC-Gouré (Recherche sur l'Ensemble des Cuvettes oasiennes de Gouré), dont la thématique principale est la préservation des cuvettes oasiennes et leur rôle socio-économique. Ils remercient également les réviseurs de ce texte, Jean RISER et André OZER, ainsi que Claude MARTIN, pour leurs conseils et corrections.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABDOU Y. et ADJI M. (2009) - Opportunité et viabilité économiques des opérations de traitement des dunes de sable dans le Département de Gouré au Niger : cas des villages de Balla, Sissia et Lafia. *Geo-Eco-Trop*, vol. 33, n° 1-2, p. 133-140.
- ABDOU Y. et 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*, vol. 33, n° 1-2, p. 125-132.
- AMBOUTA K. (2006) - *Caractérisation des cuvettes et bas-fonds et possibilité d'exploitation agricole et de valorisation dans la zone d'intervention du Projet de Lutte contre l'Ensablement des Cuvettes Oasiennes dans les Départements de Gouré et de Maïné-Soroa*. Édit. PLECO, rapport, Gouré et Maïmé (Niger), 53 p.
- AUFRÈRE L. (1934) - Les dunes du Sahara algérien (notes de morphologie dynamique). *Bulletin de l'Association de Géographes Français*, vol. 83 (11^{ème} année), p. 130-142.
- BEN SALAH M. (2012) - *Rapport d'expertise technique sur la biodiversité oasienne en Tunisie*. Édit. RADDY-ASOC, Gabès (Tunisie), 76 p.
- BENDJOURD H. et HUBERT P. (2002) - Le coefficient de compacité de Gravelius : analyse critique d'un indice de forme des bassins versants. *Hydrological Sciences Journal*, vol. 47, n° 6, p. 921-930.
- BODART C. et 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*, vol. 33, n° 1-2, p. 57-68.
- BODART C., OZER A. et DERAUW D. (2010) - Suivi de l'activité des dunes au Niger au moyen de la cohérence interférométrique ERS 1/2. *Bulletin de la Société Géographique de Liège*, vol. 54, n° 1 (hommage au professeur André OZER), p. 123-136.
- CAPOT-REY R. (1970) - Remarques sur les ergs du Sahara. *Annales de Géographie*, vol. 79, n° 431, p. 2-19.
- CHRISTIAN L., MARC L. et SALIFOU O. (1998) - Évolution des ressources en eau dans le département de Diffa (bassin du lac Tchad, Sud-Est nigérien). In : *Water resources variability in Africa during the XXth Century*, actes de colloque (Abidjan, Côte d'Ivoire), Édit. IAHS, vol. 252, p. 281-288.
- CLOS-ARCEDUC A. (1969) - *Essai d'explication des formes dunaires sahariennes*. Édit. Institut Géographique National, coll. "Études de Photo-Interprétation", Paris, 66 p.
- COUREL M.F. (1984) - *Étude de l'évolution récente des milieux sahéliens à partir des mesures fournies par les satellites*. Thèse de Doctorat d'État, Université Panthéon-Sorbonne (Paris I), 408 p.
- DESCONNETS J.C. (1994) - *Typologie et caractérisation hydrologique des systèmes endoréiques en milieu Sahélien (degré carré de Niamey - Niger)*. Thèse de l'Université Montpellier 2, 326 p.
- DJAMBOUTO B. (2005) - *Étude socio-économique des cuvettes dans le Département de Gouré : cas des sites de Tchago et de Woro*. Mémoire de fin d'étude, Faculté d'Agronomie, Université de Niamey, 52 p.
- DOUVINET J., DELAHAYE D. et LANGLOIS P. (2008) - Modélisation de la dynamique potentielle d'un bassin versant et mesure de son efficacité structurelle. *Cybergeo : Revue*

- Européenne de Géographie*, document 412, en ligne : <http://cybergeo.revues.org/16103>.
- DURAND A. et LANG J. (1986) - Approche critique des méthodes de reconstitution paléoclimatique : le Sahel nigéro-tchadien depuis 40000 ans. *Bulletin de la Société Géologique de France*, vol. II, n° 2, p. 267-278.
- DURAND A. et MATHIEU P. (1980) - Évolution paléogéographique et paléoclimatique du bassin tchadien au Pléistocène supérieur. *Revue de Géologie Dynamique et de Géographie Physique*, vol. 22, n° 4-5, p. 329-341.
- GAULTIER G. (2004) - *Étude hydrodynamique et géochimique de la nappe quaternaire du nord-ouest du lac Tchad (Niger oriental)*. Thèse de l'Université Paris-Sud (Paris XI), 179 p + annexes.
- GREIGERT J. et BERNERT G. (1979) - *Atlas des eaux souterraines de la République du Niger. État des connaissances*. Rapport BRGM, n° 79 AGE 001, tome 1, Orléans, 178 p.
- GREIGERT J. et PUGNET R. (1967) - *Essai de description des formations géologiques de la République du Niger*. Édit. BRGM, coll. "Mémoires", vol. 48, Paris, 273 p.
- JAHIEL M. (1998) - Rôle du palmier dattier dans la sécurisation foncière et alimentaire au sud-est du Niger. *Sécheresse*, vol. 2, n° 2, p. 167-174.
- JENKS G.F. (1963) - Generalization in statistical mapping. *Annals of the Association of American Geographers*, vol. 53, n° 1, p. 15-26.
- KANEMBOU L. et 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*, vol. 2, p. 173-197.
- KARIMOU BARKÉ M. (2005) - *Caractérisation morpho-pédologique des cuvettes de Tchago et Worro (dans le Département de Gouré)*. Mémoire d'Ingénieur des Eaux et Forêts, Université Abdou Moumouni, Niamey (Niger), 87 p.
- KARIMOU BARKÉ M. (2008) - *Analyse des phénomènes climatiques extrêmes dans le Sud-Est du Niger : impacts environnementaux et stratégies d'adaptation de la population*. Mémoire de DEA, Université Abdou Moumouni, Niamey (Niger), 126 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 (Belgique), 192 p.
- KARIMOUNE S. (1994) - *Géomorphologie de la région de Zinder (Niger) : Damagaram et plateau du Koutous*. Thèse de Doctorat, Université de Liège (Belgique), 350 p., publiée dans *Geo-Eco-Trop*, vol. 18, n° 1-4, p. 1-218.
- KARIMOUNE S. et OZER A. (1994) - L'apport de la télédétection à l'étude des modèles éoliens du Niger méridional. In : *Télédétection de l'environnement dans l'espace francophone*, F. BONN édit., Édit. Presses de l'Université du Québec et Agence de Coopération Culturelle et Technique, Québec (Canada), p. 31-54.
- KARIMOUNE S., OZER A. et ERPICUM M. (1990) - Les modèles éoliens de la région de Zinder (Niger méridional), étude de photogéomorphologie, note préliminaire. In : *Apports de la télédétection à la lutte contre la sécheresse*, P. LAFRANCE et J.M. DUBOIS édit. Édit. AUPELF-UREF / John Libbey Eurotext, Paris, p. 145-161.
- LEKOUCHE I., ROGNON P., KABBACHI B., BENSSAOUI M. et EZALDI A. (2010) - Essai de morphométrie sur un système dunaire du Sud-Ouest marocain à partir d'une image Landsat. *Sécheresse*, vol. 21, n° 1, p. 54-62.

- LINDSAY J.B. (2014) - The Whitebox Geospatial Analysis Tools Project and Open-Access GIS. *Actes du GIS Research UK 22nd Annual Conference*, Édit. Université de Glasgow (Écosse), p. 1-8.
- MAINQUET M. (1975) - Étude comparée des ergs, à l'échelle continentale (Sahara et déserts d'Australie). *Bulletin de l'Association de Géographes Français*, vol. 52, n° 424-425, p. 135-140.
- MAINQUET M. et CALLOT Y. (1978) - *L'erg de Fachi-Bilma (Tchad-Niger): contribution à la connaissance de la dynamique des ergs et des dunes des zones arides chaudes*. Édit. CNRS, Paris, 184 p.
- MAINQUET M., CHEMIN M.C. et BORDE J.M. (1985) - Étude du rôle des obstacles topographiques dans la circulation éolienne d'après les images satellites et les photographies aériennes, de l'échelle continentale à celle de la butte-témoin. *Méditerranée*, vol. 54, n° 1-2, p. 11-19.
- MALEY J. (2004) - Le bassin du Tchad au Quaternaire récent : formations sédimentaires, paléoenvironments et préhistoire. La question des Paléotchads. In : *L'évolution de la végétation depuis deux millions d'années*, A.M. SÉMAH et J. RENAULT-MISKOVSKI édit., Édit. Artcom / Errance, Paris. p. 179-217.
- MUSY A. et HIGY C. (2004) - *Hydrologie. I : Une science de la nature*. Édit. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, collection "Gérer l'environnement", Lausanne (Suisse), 314 p.
- NAFAHR O. I., ABDOU BABAYE M. S., TIDJANI A.D. et OUSMANE B. (2016) - Contribution de la géophysique à la caractérisation des aquifères inter-dunaires de la ville de Gouré/Zinder : cas des cuvettes de Kilakina, de Balla et d'Iskour. In : *Colloque scientifique international sur la préservation et l'utilisation durables des systèmes oasiens* (Niamey, Niger), p. 29-30.
- OZER P., BODART C. et TYCHON B. (2004) - Analyse climatique de la région de Gouré, Niger oriental : récentes modifications et impacts environnementaux. *Cybergeo : European Journal of Geography*, document 308, en ligne : <https://cybergeo.revues.org/3338>.
- OZER P., HOUNTONDJI Y., NIANG A.J., KARIMOUNE S., LAMINOU MANZO O. et SALMON M. (2010) - Désertification au Sahel : historique et perspectives. *Bulletin de la Société Géographique de Liège*, vol. 54, n° 1 (hommage au professeur André OZER), p. 69-84.
- PGRN (1997) - *Étude monographique de l'arrondissement de Gouré*. Édit. Projet de Gestion des Ressources Naturelles, rapport, Gouré (Niger), 85 p.
- PION J.C., BESNUS Y., YESOU H. et DEYNOUX M. (1990) - Essai de caractérisation géométrique des différentes unités d'un erg actif à l'aide des données satellitaires panchromatiques SPOT, application à l'erg Akchar (Mauritanie occidentale). In : *Appports de la télédétection à la lutte contre la sécheresse*, P. LAFRANCE et J.M. DUBOIS édit., Édit. AUPELF-UREF / John Libbey Eurotext, Paris, p. 229-240.
- PIRARD F. (1966) - Géomorphologie du Manga nigérien. Schéma d'évolution quaternaire du secteur nord-occidental de la cuvette du Tchad. *Bulletin de l'Institut Français d'Afrique Noire*, vol. XXVIII, série A, n° 1, p. 421-425.
- PLECO (2006) - *Cartographie de la situation de l'ensablement de la zone d'intervention du Projet de Lutte Contre l'Ensablement des Cuvettes Oasiennes dans les Départements de Gouré et de Maïné-Soroa*. Édit. PLECO, rapport, Gouré et Maïné (Niger), 66 p.
- ROCHE M. (1963) - *Hydrologie de surface*. Édit. ORSTOM et Gauthier-Villars, Paris, 431 p.

SAA/Gouré (2000) - *Inventaire et utilisations agro-pastorales des cuvettes de l'arrondissement de Gouré*. Édit. Service d'Arrondissement de l'Agriculture de Gouré, rapport, République du Niger, 21 p.

SEBAG D., DURAND A., GARBA Z., LANG J. et VERRECCHIA E.P. (2006) - Dynamique sédimentaire et diagenétique d'un lac interdunaire holocène en milieu subaride (N'Guigmi, Lac Tchad, Niger). *Africa Geoscience Review*, vol. 13, n° 4, p. 409-424.

SERVANT M. (1967) - Données stratigraphiques sur le Quaternaire supérieur et récent au nord-est du lac Tchad. *Cahiers ORSTOM*, série Géologie, vol. 2, n° 1 (VI^{ème} session du Congrès panafricain de préhistoire et de l'étude du Quaternaire, Dakar, Sénégal), p. 95-114.

SERVANT M. et SERVANT S. (1970) - Les formations lacustres et les diatomées du Quaternaire récent du fond de la cuvette tchadienne. *Revue de Géographie Physique et de Géologie Dynamique*, vol. XII, n° 1, p. 63-76.

TIDJANI A.D., AMBOUTA K. et BIELDERS C.L. (2009-a) - Réhabilitation d'une dune vive par fixation mécanique : flux éoliens, fertilité du sol et biodiversité des herbacées. *Géo-Eco-Trop*, vol. 33, n° 1-2, p. 81-98.

TIDJANI A.D., BIELDERS C.L. et AMBOUTA K. (2009-b) - Dynamique saisonnière des paramètres déterminant l'érosion éolienne sur les pâturages dunaires du Niger. *Géo-Eco-Trop*, vol. 33, n° 1-2, p. 39-56.

TIDJANI A.D., OZER A. et KARIMOUNE S. (2009-c) - Apports de la télédétection dans l'étude de la dynamique environnementale de la région de Tchago (nord-ouest de Gouré, Niger). *Géo-Eco-Trop*, vol. 33, n° 1-2, p. 69-80.

TRICART J. et CAILLEUX A. (1970) - *Traité de géomorphologie. Tome IV. Le modélisé des régions sèches*. Édit. SEDES, Paris, 472 p.

ZAIRI R. (2008) - *Étude géochimique et hydrodynamique de la nappe libre du bassin du lac Tchad dans les régions de Diffa (Niger oriental) et du Bornou (Nord-Est du Nigeria)*. Thèse de l'Université Montpellier II, 191 p. + annexes.

Article reçu le 26 mars 2017.

Accepté après révision le 28 novembre 2017.

Mis en ligne le 16 décembre 2017.