COMMENTAIRE SUR L'ARTICLE INTITULÉ "ESSAI DE MORPHOMÉTRIE SUR UN SYSTÈME DUNAIRE DU SUD-OUEST MAROCAIN À PARTIR D'UNE IMAGE LANDSAT" D'IMAD LEKOUCH ET AL. [SÉCHERESSE 2010 ; 21(1) :54-62]

Hicham EL BELRHITI[1,*], Olivier DEWITTE[1] et Luca MONTANARELLA[1]

[1]Land Management & Natural Hazards Unit. Institute for Environment & Sustainability (IES). Joint Research Centre - European Commission.Via E. Fermi, 2749 I-21027 Ispra (VA) Italy.
**E mail: helbelrhiti@gmail.com ou hicham.el-belrhiti@jrc.ec.europa.eu*
Telephone: 0039-0332-78-3021
Fax: 0039-0332-78-6394

Soumis le 12 juillet 2010; accepté le 22 septembre 2010 - © *Revue Télédétection*, 2010, vol. 9, n° 2, p. 151-155

Résumé :

Le présent article constitue un commentaire sur l'étude de Lekouche et al. intitulée 'Essai de morphométrie sur un système dunaire du Sud-Ouest marocain à partir d'une image Landsat' [Sécheresse 2010 ; 21(1) :54-62]. Si les images Landsat ont connu un grand succès pour la cartographie lithologique (Gad et al., 2006), la cartographie des sols (El-belrhiti & Montanarella, 2010) et même la cartographie des espaces dunaires pour étudier leur impact socio-économique (Benmohammadi et al., 2006), le présent article propose de les utiliser pour étudier la morphométrie des barkhanes. Partant de notre connaissance du terrain, nous estimons que les conclusions et les interprétations développées par les auteurs appellent à plusieurs questions que nous jugeons utiles de discuter.

***Mots clés**: dunes, morphométrie, géomorphologie, télédétection, barkhanes, Landsat.*

Comment on the paper "The use of Landsat image to assess the morphometry of a dune field in the Moroccan southwest Sahara ". Imad Lekouch et al. [Sécheresse 2010 ; 21(1) :54-62]

Abstract

We discuss the contribution by Imad Lekouch et al.; "The use of Landsat image to assess the morphometry of a dune field in the Moroccan Southwest Sahara", [Sécheresse 2010; 21(1):54-62]. Landsat images have been very successful for lithological mapping (Gad et al., 2006), soil mapping (El-belrhiti & Montanarella, 2010) and dunes mapping for socio-economic purposes (Benmohammadi et al., 2006). Here, the authors use a Landsat image to study the morphometry of barchan dunes. Based on our knowledge of the study area, we believe that the findings and interpretations developed by the authors need more discussions.

***Keywords**: dunes, morphometry, geomorphology, remote sensing, barchans, Landsat.*

INTRODUCTION

L'étude de la morphométrie des barkhanes du S-O marocain par télédétection et par application d'outils Système d'Information Géographique (SIG) est une mission délicate. D'une part, à cause de leur taille allant de 20 à 200 mètres de large, elle nécessite l'utilisation de l'imagerie aérienne et/ou satellitaire à haute résolution. D'autre part, l'absence de données cartographiques précises et fiables sur la zone d'étude complique la tâche. Les cartes géologiques de Tarfaya à l'échelle 1/250 000 et 1/100 000 établies respectivement par Choubert et al., (1966) et Rejmati et al., (2002) sont les seules disponibles et elles ne couvrent qu'une partie du corridor étudié par les auteurs. Les cartes topographiques disponibles sont à l'échelle 1/250 000 et leur précision est de loin insuffisante. A notre connaissance, les seules bases de

données géographiques disponibles sur la région sont au 1/1 000 000 (FAO, 2009), ce qui exclut automatiquement l'acquisition de toute information sur la morphologie des dunes dans la région. Les auteurs de cet article ont développé une approche innovatrice par l'application d'outils SIG sur une image Landsat afin d'étudier la morphométrie des corridors de dunes du S-O marocain. Toutefois, certaines de leurs conclusions sont critiquables principalement en raison du fait qu'ils se basent sur des données dont la résolution est insuffisante pour obtenir des mesures morphométriques fiables. Suite à une lecture approfondie de l'article, nous avons relevé quelques points que nous jugeons utiles de discuter davantage.

1- RETARDS PAR RAPPORT AUX DÉVELOPPEMENTS RÉCENTS DE LA MORPHODYNAMIQUE DES BARKHANES

La première critique concerne la quasi-absence de référence aux travaux récents sur la morphologie des dunes alors que la connaissance sur la morphodynamique des barkhanes a énormément progressé au cours des dernières années. Ce retard par rapport à la littérature altère la qualité de la discussion des résultats. Le paragraphe intitulé «Interaction entre les dunes le long de ce couloir» page 57 en est un très bon exemple. En effet, les recherches sur les interactions entre les barkhanes et notamment leurs collisions ont connu un essor important suite aux travaux fructueux d'Hermann et de son équipe sur la modélisation de la migration des dunes (Sauermann et al., 2000). Par après, d'autres études basées sur des expériences effectuées sur des barkhanes sous eau (Hersen, 2005 ; Hersen & Douady, 2005; Taniguchi & Endo, 2007), par télédétection (El belrhiti et al., 2008, Ewing & Kocurek, 2010a ; Kocurek et al., 2010; Ewing & Kocurek, 2010b), sur le terrain (El belrhiti et al., 2005), et aussi sur le même corridor étudié par les auteurs (El belrhiti et al., 2005 ; El belrhiti, 2005 ; El belrhiti et al., 2008) ont contribué à une compréhension plus affinée des interactions et de la distribution du flux de sable au sein d'un corridor des barkhanes. En résumé, ces travaux récents subdivisent les interactions et les collisions entre les barkhanes en deux grandes parties : une interaction constructive qui englobe entre autres la fusion (merging), le raccordement latéral (lateral linking), la cannibalisation (cannibalization) et le transfert à distance des sédiments (remote transfer of sediment). Et une interaction régénératrice (Regenerative interactions) dans laquelle on trouve le fractionnement des formes et des reliefs (bedform splitting) et la nucléation et la création défectueuses (defect creation and calving). Cette nouvelle nomenclature donne, en plus de la position des barkhanes par rapport aux dunes avoisinantes, une idée sur les interactions et le transfert du flux de sable au sein du corridor. A titre d'exemple, la cannibalisation, qui signifie l'absorption d'une barkhane par une autre, implique aussi la redistribution du flux. Dans l'article, le paragraphe consacré aux collisions décrit l'agencement des barkhanes en convoi ou en échelons de manière obsolète et ne donne aucune information sur le transfert des flux.

2- MARGE DES ERREURS DES MESURES EFFECTUÉES PAR IMAGE LANDSAT ET LEUR EFFET SUR L'INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

Notre critique s'étend également à la méthodologie utilisée. Dans ce volet, et à la lumière de notre connaissance du terrain, ils nous semblent que l'utilisation des images Landsat ETM+ même ré-échantillonnées à la résolution maximale de la bande panchromatique (14,250 mètres) reste insuffisante pour étudier la morphométrie et le volume des barkhanes. Comme le montre la figure 1a, pour une partie importante des barkhanes de la région la taille élémentaire est d'environ 20 mètres de large, soit une dimension à peine supérieure à la taille d'un pixel ; ce qui rend leur détection par l'image Landsat très difficile voire impossible. Et pourtant, ces petites dunes jouent un rôle important dans la distribution du flux de sable et la sélection des tailles au sein du corridor (El Belrhiti et al., 2005). Si l'on considère la taille des plus grosses barkhanes dans la région, qui peuvent avoisiner 200 mètres de large, on aura au mieux une résolution de 12 pixels par dune. Sur base de notre expérience sur la mesure des barkhanes de la zone d'étude à l'aide de photographies aériennes (El Belrhiti et al., 2005 ; El Belrhiti, 2005 ; El belrhiti et al., 2008, El Belrhiti & Douady, in review), l'erreur sur la largeur est de l'ordre de 4 pixels par mesure. En considérant la même erreur, l'incertitude sur leur taille sera de l'ordre de 30%. On voit donc que même pour les plus grosses barkhanes l'erreur de la mesure reste très grande. Si la mesure de la largeur des barkhanes, qui est considérée comme la plus simple mesure que l'on peut effectuer par télédétection, est relativement imprécise voire impossible, celle de leur hauteur représente un défi encore plus important. D'une part, des sous-structures apparaissent sur le sommet de la face d'avalanche de la barkhane, induisant une variation de la hauteur d'une période à l'autre (Sauermann et al., 2000 ; El Belrhiti & Douady, in review). D'autre part, les plus grosses barkhanes de la région ont une hauteur de l'ordre de 14 mètres seulement, et par conséquent sont au-delà de la résolution de l'image. Indépendamment de ces incertitudes liées à la résolution, la manière avec laquelle les résultats sont présentés est aussi discutable. La Figure 4 par exemple donne un nombre de dunes pour trois secteurs de superficie différente ; alors qu'une information du nombre de dunes au kilomètre carré simplifierait l'analyse et la compréhension des processus.

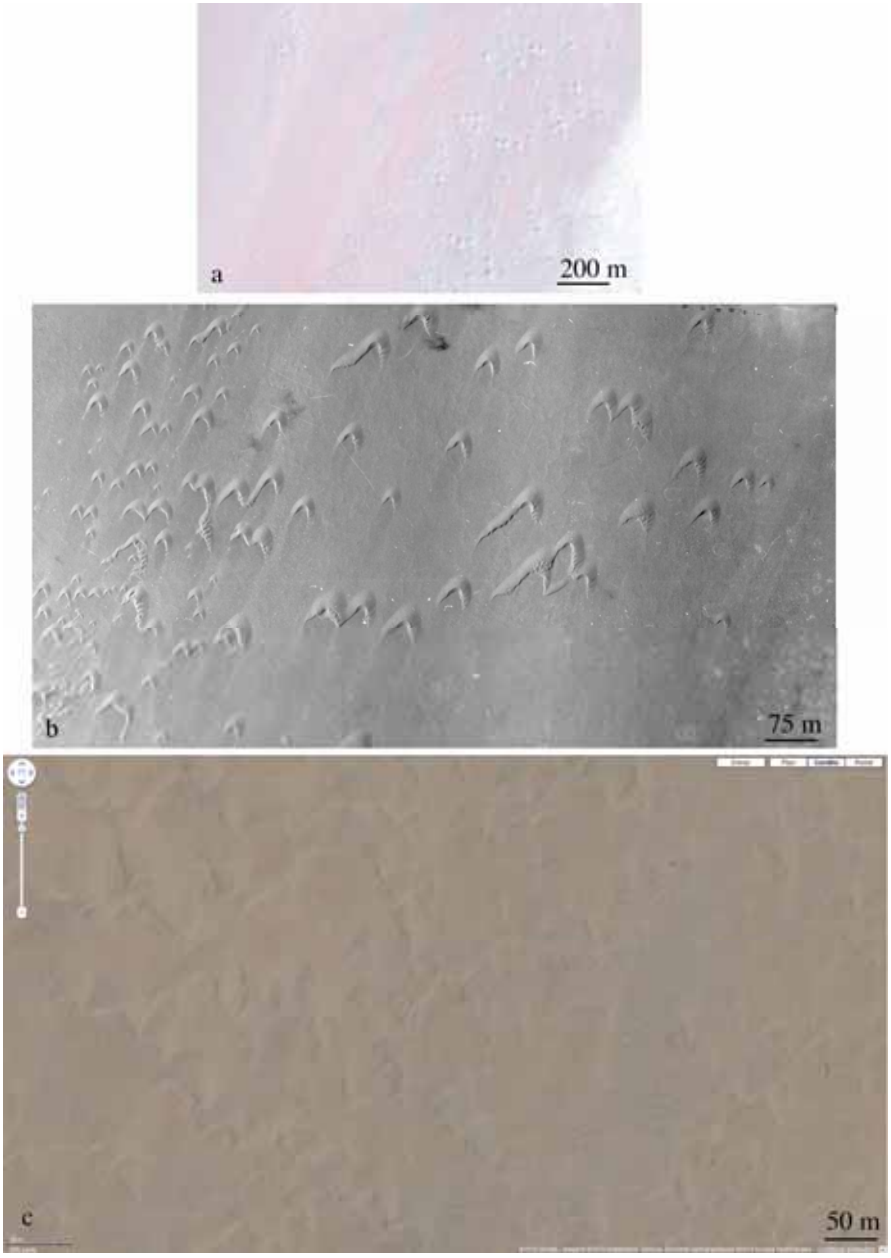


Figure 1 :
a) Image Landsat ETM+ en fosse coleurs (les bandes B7, B4 et B2 respectivement dans les canaux rouge, vert et bleu) montrant une partie du corridor des dunes dans le secteur 2 étudié par Imad Lekouch et al. Cette image (Path 205 Raw041) prise le 05 octobre 2000 et ré-échantillonnée à la résolution maximale via la bande 8 panchromatique et géoréférencée en utilisant une trentaine de point de contrôle au sol (Ground Control Points) que nous avons mesuré en utilisant un GPS référentiel. Elle est aussi corrigée atmosphériquement en utilisant le module FLAASH du logiciel commerciale ENVI 4.7. L'image a été téléchargée gratuitement du site web GLOVIS.
b) Image enregistrée à partir de Google Earth montrant une partie des dunes du secteur 2.
c) Photographie aérienne prise en 1976 à l'échelle 1/20 000 montrant une partie des barkhanes du secteur 2.
La photographie aérienne a été numérisée à l'aide d'un scanner à plat 2400 dpi à la résolution de 1 m/pixel. Les images sont présentées à leur résolution normale. On voit clairement que la photographie aérienne et l'image Google Earth apportent une multitude de détails que l'on ne peut distinguer sur l'image Landsat ETM+ ré-échantillonnée à la résolution maximale.

Figure 1 :
a) Landsat ETM + showing a portion of the sector 2 of the dune's corridor studied by Imad Lekouch et al. This image (Path 205 Raw041) taken on October 5, 2000 is re-sampled at the maximum resolution using panchromatic band 8. The image is a False Color Composite (FCC) obtained from bands B7, B4 and B2 respectively in red, green and blue. It was georeferenced using a thirty Ground Control Points obtained using a referential GPS. It is also atmospherically corrected using the FLAASH module from the commercial software ENVI 4.7. The image has been downloaded for free from the website GLOVIS.
b) Image from Google Earth showing a part of the dunes area (sector number 2).
c) Aerial photograph taken in 1976 at the scale 1 / 20 000 showing a portion of barchan Sector number 2. The aerial photograph was scanned using a flatbed scanner 2400 dpi. The resolution of the image is 1 m / pixel.
The images are presented at their normal resolution. It is clear that the aerial photography and Google Earth image provide a multitude of details that can not be distinguished on the Landsat ETM + resampled at maximum resolution.

La critique de cette étude ne se limite pas qu'à l'erreur sur la mesure, mais concerne également l'interprétation des formes. Au problème engendré par la résolution de l'image s'ajoute aussi la pauvreté des références bibliographiques citées par les auteurs. Le paragraphe « Classification simplifiée des formes dunaires» à la page 56 en est un très bon exemple. Les auteurs y divisent les formes dunaires en 5 groupes (codes). Un premier désigne les formes élémentaires (amas sableux, boucliers, dômes, forme embryonnaire des barkhanes) de petite taille (très difficiles voir impossibles à détecter avec Landsat). Sans preuve, ils attribuent ces formes à la variabilité de la direction du vent. Alors qu'une simple recherche bibliographique montre que tous ces types dunaires prennent naissance dans un environnement majoritairement monodirectionnel (Fryberger & Deane, 1979 ; Wasson& Hyde, 1983). Plus surprenant encore est la présence des dunes étoiles (code 3) dans le corridor. Une simple analyse sur Google Earth, qui présente des images à haute résolution de la région (figure 1c), montre l'absence totale de dunes en forme d'étoiles non seulement dans le corridor étudié, mais aussi dans tout le Sahara atlantique entre l'Oued Draa au Nord et le fleuve Sénégal au Sud.

3- ABSENCE DES RÉFÉRENCES DES DONNÉES UTILISÉES

Nous soulignons également plusieurs autres lacunes quant à la spécification des méthodologies et à la provenance de données auxquelles les auteurs font fréquemment référence. Concernant l'image Landsat, les auteurs ne présentent que l'année de la prise de vue, sans en mentionner la date exacte et les coordonnées (path and raw), et ne précisent pas si la correction atmosphérique de l'image a été réalisée ou non. De même, ils mentionnent page 56 une carte d'altitude et présentent la figure 7 qui montre des variations d'altitude et de pente dans le secteur 1 de la région étudiée sans préciser l'origine de leurs données. Cette question est d'autant plus cruciale qu'il n'y a pas de carte topographique précise et fiable dans la région. Les MNT (Model Numérique de Terrain) obtenus à partir du SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) n'étant pas fiables à cause de la topographie plane de la région, seule reste l'option d'obtenir ces MNT à partir de photographies aériennes et d'images satellitaires stéréoscopiques à haute résolution. Mais les auteurs ne donnent aucun élément sur la manière avec laquelle ils ont obtenus cette information. Un autre exemple concerne l'absence de la présentation de la méthode utilisée pour le calcul des volumes des dunes discuté page 60. Dans la première partie de ce paragraphe les auteurs parlent d'une méthode pour mesurer les hauteurs et les largeurs des barkhanes par télédétection et finalement présentent des mesures effectuées sur le terrain sans dire une fois de plus comment ils les ont obtenues, et sans présenter les mesures effectuées sur l'image Landsat. Par la suite, ils présentent simplement des chiffres supposés être les minima et les maxima des volumes des barkhanes de la région sans aucune argumentation statistique. Il est question ici de propagation d'erreurs pouvant remettre en cause les résultats. Comme nous le signalons précédemment, l'estimation des hauteurs est moins évidente que la mesure des largeurs. Et dans ce cas particulier, les hauteurs sont estimées à partir de largeurs empreintes d'une incertitude pouvant être importante. D'un point de vue méthodologique, l'utilisation de la relation largeur-hauteur est questionnable vu qu'il est possible d'obtenir le volume des barkhanes en connaissant uniquement leur largeur (El belrhiti et al., 2008 ; Durán et al., 2008).

CONCLUSION

En conclusion, l'article publié par Imad Lekouch et al. présente une nouvelle approche sur base d'outil SIG pour étudier la morpho-dynamique des barkhanes à partir d'image Landsat dans le but de construire une base de données sur les dunes de la région. Cette base de données sera sans doute un outil d'aide à la décision très utile pour les décideurs. Toutefois, nous suggérons aux auteurs d'appliquer leur approche à d'autres types d'image ayant une résolution spatiale supérieure afin d'obtenir des mesures beaucoup plus précises sur la morphométrie des barkhanes. De plus, nous regrettons le fait qu'ils n'aient pas comparé leur résultats avec ceux que nous avons obtenus sur le même corridor en utilisant une autre technique basée sur la combinaison entre la photographie aérienne et le GPS (El belrhiti at., 2005 ; El belrhiti et al., 2008) et avec les travaux ayant déjà été réalisés sur d'autres couloirs de barkhanes dans le monde (Lettau & Lettau, 1969 ; Corbett, 1993 ; Kocurek & Ewing, 2005 ; Ewing et al., 2006; Ould Ahmedou et al., 2007; El belrhiti at al., 2008). La confrontation de leurs résultats à ceux obtenus par d'autres chercheurs aurait donné une valeur ajoutée à ce travail.

Bibliographie

Benmohammadi, A., Ahizouni, M., Saltani Z., Labraimi, Jaafar, B., Oubbih, J. (2006) Importance de l'imagerie satellitaire pour la mise en évidence des mécanismes originaux d'ensablement et de désertification dans le Sud-Ouest marocain : impacts socioéconomiques et entraves au développement (région de Tan-Tan-Tarfaya et Laayoun). Avenir des oasis face à la desertification. Errachidia, Maroc.

Choubert, G., Faure Muret, A., and Hottinger, L. (1996) Aperçu géologique du bassin côtier de Tarfaya, Le bassin côtier de Tarfaya (Maroc méridional), Notes. Mém. Serv. Géol. Maroc 175 (1), 7–220.

Corbett, I.(1993) The modern and ancient pattern of sandflow through the southern Namib deflation basin, Spec. Pub. Int. Assoc. Sediment., 16, 45– 60.

Durán, O., Parteli, E. J. R., Herrmann, H.J. (2008) A continuous model for sand dunes and its application to barchan dunes. Marine and River Dune Dynamics. Leeds, United Kingdom.

El belrhiti, H., Phillipe, P., and Andreotti B. (2005) Field evidence for surface-wave-induced instability of sand dunes. Nature, 437.

El belrhiti, H. (2005) Morphodynamique des barkhanes: Etude des dunes du Sud-Ouest Marocain. Thèse, Université Paris VII, France. 167 pages.

El belrhiti. H., Phillipe. P and Andreotti B. (2008) Barchan dunes corridors: Field characterization and investigation of control parameters. J. Geophys. Res., 13. F02S15.

El-belrhiti H. Montanarella L. Soil map of Khnifiss lagoon and its surround areas. In: L'interface Océan-Continent au Sahara Atlantique Marocain. Edition « Groupe de Rechercehe sur le Littorale du Sahara ». In press.

El belrhiti, H. & Douady, S. Equilibrium versus disequilibrium of barchan dunes. Geomorphology. In review.

Ewing, R. C. Kocurek, G. and Lake. L. W. (2006) Pattern analysis of dune-field parameters. Earth Surf. Process. Landforms, 31: 1176–1191.

Ewing, R.C. and Kocurek, G. (2010a) Aeolian dune-field pattern boundary conditions. Geomorphology, 114, 175–187.

Ewing, R.C. and Kocurek, G. (2010b) Aeolian dune interactions and dune-field pattern formation: White Sands Dune Field, New Mexico. Accepted in Sedimentology.

FAO (2009) http://www.fao.org/geonetwork/srv/en/google.kml?uuid=75aaf5c5...wsa. Accès le 25 octobre 2009.

Fryberger and Deane. (1979) Dunes forms and wind regims. US. Geol. Surv. 1052.

Gad S. Kusky T. (2006) Lithological mapping in the Eastern Desert of Egypt, the Barramiya area, using Landsat thematic mapper (TM). Journal of African Earth Sciences; 44: 196–202.

Hersen P. (2005) Flow effects on the morphology and dynamics of aeolian and subaqueous barchan dunes. Journal of Geophysical Research, 110.

Hersen P. and Douady S. (2005) Collision of barchan dunes as a mechanism of size regulation. Geophysical Research Letters, 32.

Kocurek, G., and R. C. Ewing, (2005) Aeolian dune field self-organization – Implications for the formation of simple versus complex dune-field patterns, Geomorphology, 72, 94–105.

Kocurek, G. Ewing, R. C. and Mohrig, D.(2010) How do bedform patterns arise? New views on the role of bedform interactions within a set of boundary conditions. Earth Surf. Process. Landforms 35, 51–63.

Lettau, K., and Lettau, H. (1969) Bulk transport of sand by the barchans of the Pampa de la Joya in Southern Peru, Z. Geomorphol., 13, 182–195.

Lima, A. R., Sauermann, G. Herrmann, H. J. and Kroy, K. (2002) Modelling a dune field, Physica A, 310, 487– 500.

Ould Ahmedou, D. A. Ould Mahfoudh, P. Dupont, A. Ould el Moctar, A. Valance, and K. R. Rasmussen (2007) Barchan dune mobility in Mauritania related to dune and interdune sand fluxes, J. Geophys. Res., 112, F02016, doi:10.1029/2006JF000500.

Rejmati, C. (2002) Carte géologique du Maroc, Feuille NG-28XXIII-2 Laayoun. 1/ 100 000.

Sauermann. G. Rognon. P. Poliakov. A. & Hermann H.J.(2000) The shape of barchan dunes of southern Morocco. Geomorphology, 36: 47– 62.

Taniguchi K. and Endo N. (2007) Deformed barchans under alternating flows: Flume experiments and comparison with barchan dunes within Proctor Crater, Mars. Geomorphology, 90: 91-100.

Wasson, R.J. and Hyde R. (1983) Factors determining desert dunes type. Nature, 304(5924),337-339.