

Les Collisions entre les Dunes Barkhanes

Elbelrhiti Hicham

LPMMH, ESPCI 10 rue Vauquelin Paris 7005 France, E-Mail : helbelrhiti@yahoo.fr

Abstract :

Field studies of barchans — crescent-shaped dunes propagating on a solid ground under unidirectional wind — have long been focused on static aspects like morphology and kinematics. Because of the large time-scale involved, the dynamics and the interaction of these dunes have only been investigated by numerical simulations, leading to conceive barchans as stable solitary waves. In particular, a small barchan dune bumping into a large one, would cross through one another without changing much shape. In previous article [4] we showed that barchans have a dynamical behaviour clearly distinct from solitons and turn out to be fundamentally unstable. We show here that collisions between barchans produce waves. These waves play a fundamental role at the scale of the dune field as they can produce series of new barchans of elementary size by breaking the horns of large dunes.

Introduction :

Les barkhanes sont les dunes en forme de croissant que l'on observe sous un régime de vent unidirectionnel. Par le passé, ces dunes ont toujours été considérées comme des objets qui se propagent sans changer de forme, dont il s'agirait de caractériser l'état d'équilibre (forme et vitesse).

Aucune étude de terrain n'a sérieusement entrepris l'étude des collisions entre dunes. Plusieurs simulations numériques ont été proposées qui tendent à montrer que les dunes se comportent comme des solitons qui peuvent se traverser sans interagir [1, 2]. Ces travaux s'appuient sur les observations de terrain de Besler [3]. À partir de mesures granulométriques, Besler interprète les sous-structures des barkhanes qui présentent des faces d'avalanche comme de petites dunes escaladant le dos des grandes. Dans un article précédent, nous avons montré l'existence des ondes qui se propagent effectivement sur le dos des dunes comme les dunes sur le sol ferme [4]. Cela ne signifie certainement pas que ces sous-structures aient été auparavant de petites dunes entrant en collision avec la grande.

Dans ce qui suit, nous montrerons par un suivi sur le terrain que les collisions entre les barkhanes donnent naissance à ces ondes sur le dos et les flancs des barkhanes.

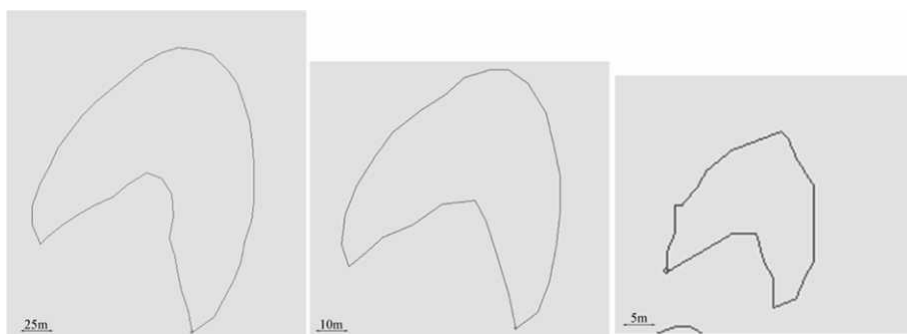


Figure 1 : Exemple de détournement GPS de quelques barkhanes de différentes tailles.

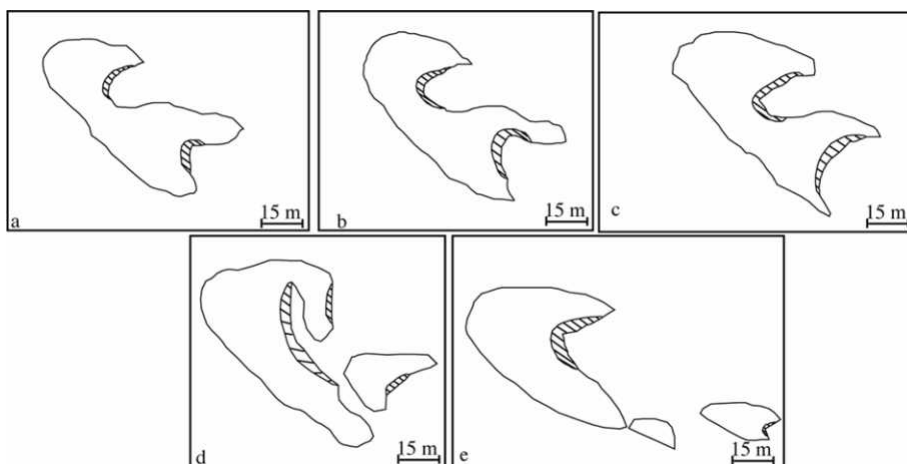


Figure 2 : Suivi d'une collision sur une période de 13 mois. a) Contours du 27 juillet 2003. b) Contours du 23 août 2003. c) Contours du 16 janvier 2004. d) Contours du 18 avril 2004. e) marquage du 2 août 2004.

Matériels et méthodes :

Depuis quelques années, l'utilisation du réseau de satellites américain (GPS) permet un positionnement absolu à quelques mètres près. Pour un problème au moins, cette sensibilité est suffisante : la détermination du contour d'une dune. La figure 1 montre un exemple caractéristique de « détournement » d'une dune à l'aide du GPS. Selon la taille de la dune, les points sont espacés de 5 à 20 mètres. En complément, nous avons systématiquement fait des photographies des dunes de face et de profil de manière à pouvoir reconstituer formes et emplacements des faces d'avalanches de la dune.

La photographie aérienne est un moyen irremplaçable pour étudier l'évolution des dunes sur le long terme. Nous avons réussi à réunir une importante série de photographies aériennes du Sahara Atlantique marocaine, de 1975 à 1999. La contrainte d'absence de photographies aériennes des cinq dernières années nous a amené à réfléchir à d'autres techniques d'observation et d'acquisition de données. Nous avons ainsi mis au point un système de prise de vue par cerf-volant. Le modèle de cerf-volant utilisé, de plusieurs mètres d'envergure, a été choisi pour sa grande stabilité, sa capacité à décoller par faible vent avec une charge de plusieurs kilogrammes.

Les collisions entre barkhanes de taille élémentaire (de 20 mètres de large) sont relativement rapides: elles ont besoin de 18 à 24 mois pour être complètement terminées, ce qui permet l'emploi du marquage GPS. Les collisions entre grosses barkhanes ont besoin de 5 à 10 ans pour s'achever, ce qui nécessite le recours aux photographies aériennes.

Résultats et discussions :

Puisque les dunes naissent essentiellement à la taille λ_{max} [5], il est raisonnable de penser que le processus de fusion par collision existe, tout au moins pour les petites dunes. Nous en avons relevé quelques exemples. La figure 2 montre que la fusion commence d'abord par l'établissement d'une jonction entre l'une des cornes de la barkhane impactante et la barkhane cible (fig. 2(a)). Cette dernière se met à grossir sur son flanc externe et à se déstabiliser sur

son flanc interne. Au final, naîtront de cette collision deux petites barkhanes qui, une fois détachées, finiront par disparaître par perte de sable.

La figure 3 (b) montre la collision d'une dune de taille moyenne arrivant à l'arrière d'une grosse dune. Lors du détournement GPS 5 ans après la photographie, l'ensemble de la structure ne dépassait pas 2 m de haut et était morcelé en d'innombrables petites dunes. Cet exemple démontre qu'une collision peut s'interpréter comme une forme particulière de perturbation déstabilisant la dune en aval. Dans ce cas précis, cette déstabilisation conduit à une production massive de dunes de taille élémentaire λ_{max} . La figure 3 (a) montre un cas plus spectaculaire encore puisque c'est le sillage de petites dunes émises par une dune de taille moyenne qui sert de perturbation déstabilisant la dune en aval, qui de ce fait émet un sillage de petites dunes, et ainsi de suite.

Au final, la seule configuration qui pourrait passer pour une collision sans interaction est le cas de deux dunes de tailles élémentaires se frôlant (fig. 3 (c)). Dans ce cas seulement, la perturbation est minime et la taille des dunes est comparable à la longueur d'onde de déstabilisation, ce qui les rend peu sensibles. Dès que l'attaque se fait un peu plus frontale (fig. 4), la déstabilisation des cornes se produit, même dans le cas de petites dunes.

L'exemple de la figure 4 est particulièrement intéressant. On observe que l'approche des deux petites dunes assaillantes provoque un apport de sable qui vient grossir le flanc gauche de la barkhane assaillie. Cette dernière se déstabilise et ré-éjecte une partie de la masse gagnée sous la forme d'une petite dune.

Conclusion :

En conclusion, les collisions s'intègrent totalement dans le cadre de l'instabilité de surface. Elles conduisent de manière systématique à la déstabilisation de la dune attaquée, ce qui produit la plupart du temps l'émission d'un sillage de petites dunes à la taille élémentaire.

Bibliographie :

- [1] Schwammle V. Herrmann H. J. 2003 Solitary wave behavior of sand dunes. *Nature* ; 426 :619.
- [2] Katsuki H. Nishimori N. Endo K. Taniguchi, 2004 Collisions dynamics of two barchan dunes simulated by a simple model. arXiv: cond- mat/0403312.
- [3] Besler H. 2001 The barchan dune as a possible soliton and the significance of granulometric sand types. 2^{ème} Atelier international: "Formation et migration des dunes" Nouakchott.
- [4] Elbelrhiti H, Claudin P, Andreotti B. 2005. Field evidence for surface-wave-induced instability of sand dunes. *Nature*; 437: 720-723.
- [5] Elbelrhiti H, 2005. Morphodynamique des barkhanes, étude des dunes du Sud-Ouest Marocain. Thèse Univ. Paris VII, 156 pages.

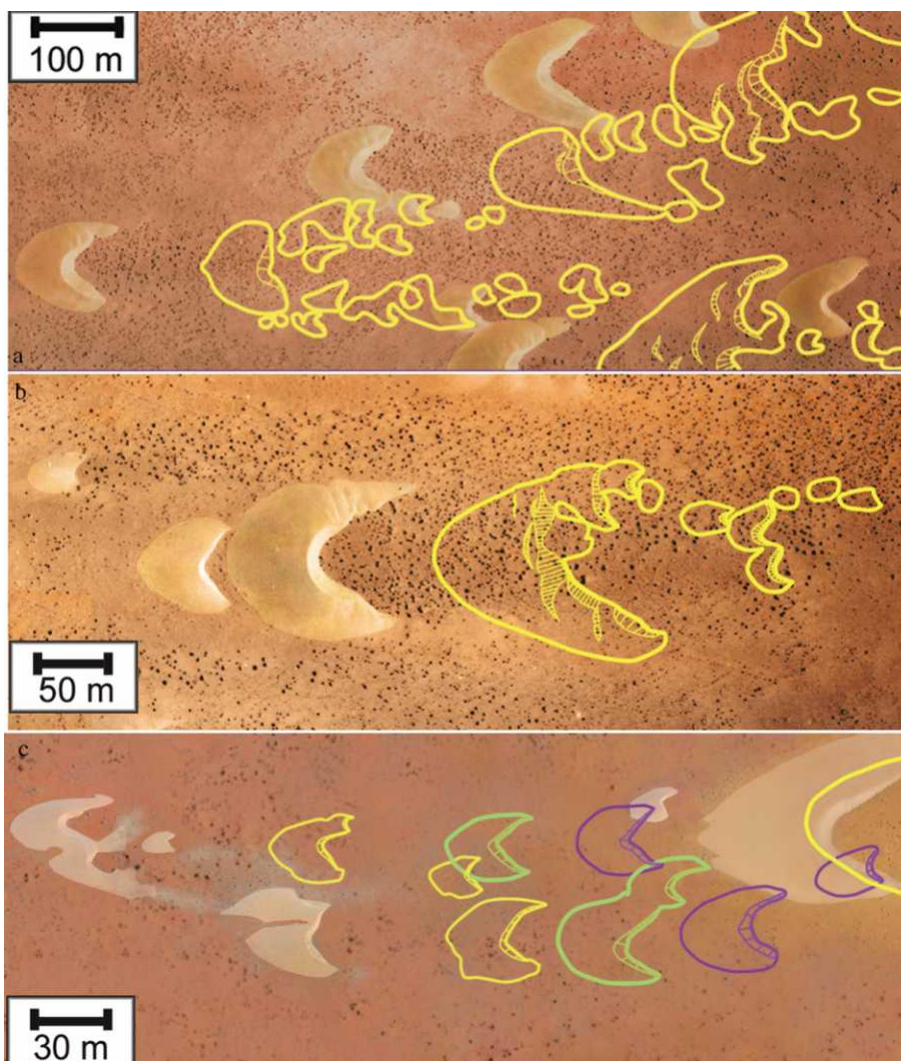


Figure 3 : a) Photographie aérienne montrant quelques dunes de taille moyenne à la date de référence $t=0$. À la date $t=60$ mois (contour GPS), on constate une déstabilisation en chaîne: le sillage de petites dunes émises par une dune perturbe la suivante. b) Photographie aérienne montrant la collision co-axiale de deux dunes de taille moyenne, prise à la date de référence $t=0$. Le contour GPS à $t=60$ mois montre l'émission d'un sillage de nouvelles barkhanes de taille élémentaire. c) Montage de photographies par cerf-volant prises à la date de référence $t=0$ sur laquelle ont été reportés les contours GPS (jaune, $t=17$ mois; vert, $t=23$ mois et violet, $t=33$ mois) en montrant l'évolution ultérieure.

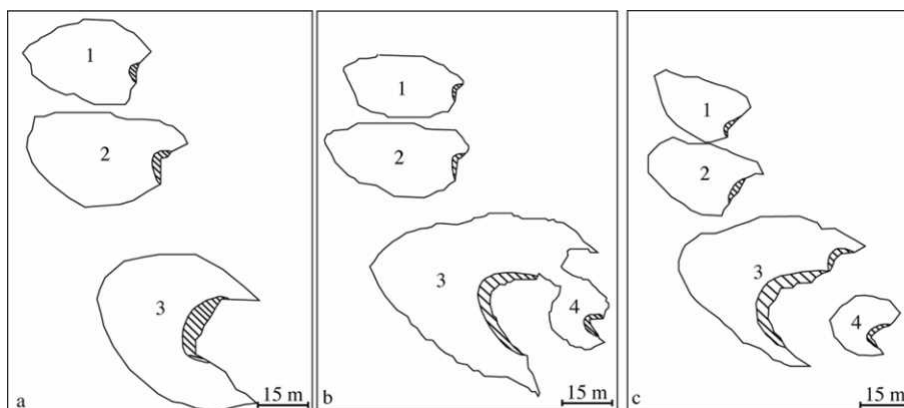


Figure 4 : Emission d'une barkhane avant la collision de petites dunes.

