

Dunes, antidunes et charriage dans les rivières

Philippe Belleudy⁽¹⁾, Philippe Frey⁽²⁾ et René Moreau

⁽¹⁾ Laboratoire d'étude des Transfert Hydrologiques et de l'Environnement (LTHE),
Université Joseph Fourier, Domaine universitaire, BP 53, 38041 Grenoble cedex 09.

⁽²⁾ Institut national de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture
(IRSTEA), Centre de Grenoble, 2 rue de la Papeterie, BP 76, 38402 Saint Martin d'Hères cedex

Les *dunes* sont des collines de sable constituées de grains relativement mobiles au voisinage de leur surface où ils sont moins compactés qu'en profondeur. Elles se forment sur des sols peu cohésifs, comme les plages de sable fin, évoluent et se déplacent sous l'action du vent dominant qui souffle souvent de la mer vers la terre. L'une des dunes les plus visitées en Europe est celle du Pilat, située le long de la côte atlantique dans le bassin d'Arcachon. Sa largeur à la base est voisine de 500 m d'ouest en est, sa longueur est proche de 2,7 km, l'altitude de son sommet varie constamment aux alentours de 100 m, au gré du vent.

Le mécanisme de formation des dunes est simple. Le vent turbulent est capable de soulever et de transporter des grains de sable, en les prélevant en bord de mer, notamment à marée basse, ainsi que sur la pente au vent de la dune déjà formée. Ces grains sont emportés jusqu'à ce que la portance (voir Chapitre 4, §1 du [livre](#)) qu'ils subissent soit inférieure à leur poids et qu'ils précipitent vers le sol. Sur cette pente au vent, la vitesse de l'air est grande, son aptitude au transport du sable est donc élevée. Par contre, dès que les couches d'air franchissent le sommet de la dune, le décollement de la couche limite, analogue au décollement à l'aval d'une aile d'avion ou d'un obstacle (voir Chapitre 2, encart E2.3, Chapitre 4, § 1 et Annexe § 3 et 4 du [livre](#)), engendre une zone plus calme où les grains précipitent. Immédiatement à l'aval du décollement, les tourbillons qui amorcent le sillage de cette dune emportent encore assez loin les grains de sable et sont même capables d'arracher ceux préalablement déposés. C'est cette dissymétrie entre le côté amont et le côté aval qui explique la forme des dunes, en pente douce sur le flanc au vent, en pente plus forte sous le vent avec une tendance à former une corniche sommitale lorsque le vent est intense. Ce mécanisme explique aussi le déplacement global des dunes, lent mais inexorable, qui impose des aménagements importants pour stopper leur avancement vers les terres agricoles et vers les constructions situées plus à l'aval. Dans les rivières dont le fond est sablonneux, les mêmes mécanismes engendrent aussi la formation de dunes lorsque le régime d'écoulement est fluvial, c'est à dire avec une grande profondeur (voir Chapitre 7, § 1.3 du [livre](#)).

Par contre, lorsque le régime est torrentiel (Chapitre 7, § 1.3), c'est-à-dire avec une vitesse élevée (supérieure à la vitesse des ondes de surface) et une profondeur faible, inférieure à la profondeur critique, des formes nettement différentes, appelées *antidunes*, sont observées. La forme des antidunes est pratiquement symétrique, sans décollement marqué de la couche limite sur le fond. Cette première différence entre antidunes et dunes tient au fait que le dépôt des grains est plus important sur le flanc amont en pente douce, qui joue un rôle d'obstacle dans cet écoulement peu profond. Au contraire le flanc aval est soumis à une véritable érosion dans l'écoulement divergent beaucoup plus turbulent. Par ailleurs, la hauteur des antidunes, tout en demeurant modérée, peut atteindre la moitié de la profondeur, alors que celle des dunes en régime fluvial demeure inférieure au tiers de la profondeur.

Le dépôt des grains sur le flanc amont engendre deux conséquences remarquables, illustrées sur la figure 1, dont la formation et l'évolution sont visibles sur des vidéos jointes sur ce site dans la rubrique « Vidéos eau ».

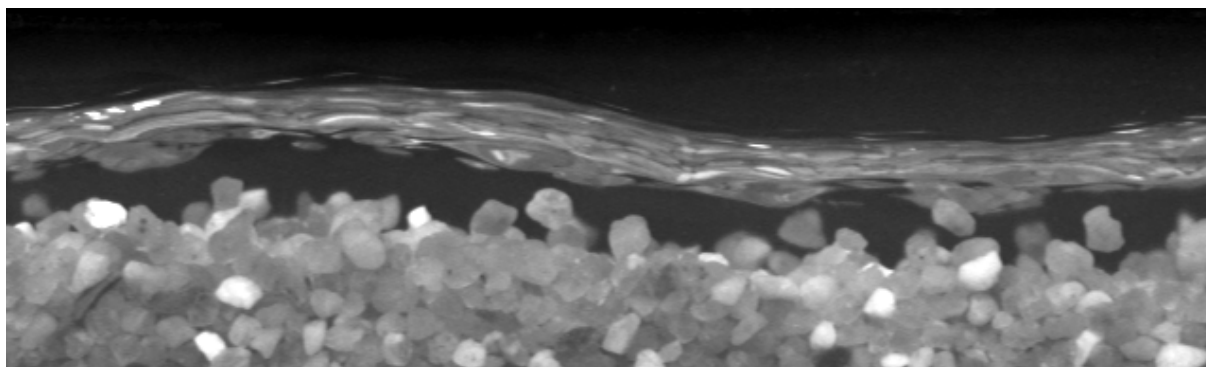


Figure 1. Extrait de la vidéo montrant la formation, le déplacement vers l'amont et la destruction périodique d'antidunes lors de la crue du Vorz, le 23 Août 2005, à Villard-Bonnot dans l'Isère, filmée par Ph. Belleudy. Dans cet écoulement torrentiel, la forme de la surface libre est proche de celle du fond et suit son évolution. © Philippe Belleudy/LTHE/UJF

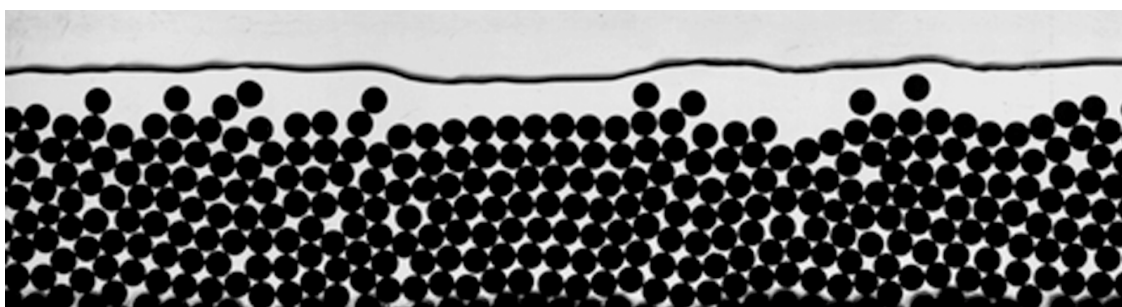
La première conséquence est le déplacement de l'antidune vers l'amont, alors que celui des dunes est systématiquement vers l'aval. La seconde est l'instabilité des antidunes, engendrée par le mécanisme suivant. Dans l'écoulement torrentiel peu profond, la vitesse au sommet de l'antidune devient de plus en plus grande quand l'amplitude de celle-ci croît. Alors, au lieu de déposer des grains, l'écoulement en arrache et provoque une destruction de l'antidune. Puis, le mécanisme se renouvelle en suivant un cycle assez périodique : formation progressive de l'antidune qui se déplace vers l'amont, destruction lorsque la hauteur devient telle que la vitesse et sa capacité d'érosion sont fortement augmentées, puis reconstruction dès que les conditions redeviennent favorables, et ainsi de suite. On remarquera aussi sur la figure 1 que les antidunes se forment souvent en série, les unes à la suite des autres. Le sillage de la première est en effet favorable à la formation de la seconde, laquelle peut être favorable à la troisième et aux suivantes. Au sein de l'écoulement moyen quasi-horizontale apparaît alors une suite d'oscillations verticales tout à fait analogues aux ondes de relief dans la couche limite atmosphérique (voir Chapitre 2, § 3.4 du livre).

Le mécanisme de formation des dunes est assez bien compris et relativement simple parce qu'il ne réagit que faiblement sur l'écoulement. C'est le cas dans la couche limite atmosphérique (voir Chapitre 2, encart E2.4), dont l'épaisseur, de l'ordre de plusieurs centaines de mètres, est beaucoup plus grande que la hauteur des dunes, au plus de l'ordre de la centaine de mètres. C'est aussi le cas au fond des rivières en écoulement fluvial où la hauteur des dunes demeure inférieure au tiers de la profondeur.

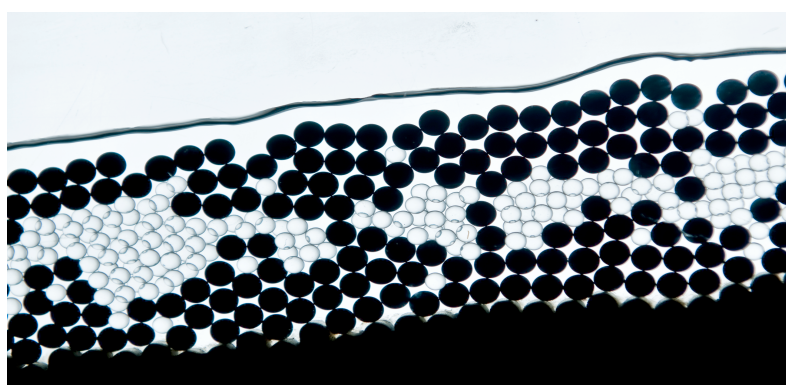
Au contraire, dans les rivières en écoulement torrentiel, en raison de la faible profondeur d'eau, le transport des grains solides est fortement couplé à l'écoulement comme le montre la figure 2.



(a)



(b)



(c)

Figure 2. Extraits d'animations montrant la simulation en laboratoire des interactions entre l'écoulement torrentiel et la forme du lit constitué de particules solides non cohésives. Dans les trois cas, l'expérience est réalisée en laboratoire, dans un canal artificiel limité par deux parois transparentes qui permettent d'observer à la fois la surface libre et le fond : (a) fond assez proche du lit d'une rivière, constitué de grains d'une dimension inférieure à la profondeur d'eau, (b) fond constitué de billes sphériques ayant toutes le même diamètre, (c) mise en évidence d'un phénomène de ségrégation lorsque sont présentes deux familles de billes de diamètres différents. © Philippe Frey/IRSTEA

La hauteur des antidunes peut en effet atteindre la moitié de la profondeur et engendrer ainsi une très forte perturbation de l'écoulement. Des recherches sont donc en cours, associant expériences et simulations numériques, en vue de progresser sur ces questions qui se révèlent importantes dans le cadre de la lutte contre les inondations et de la protection des terres arables. À titre d'exemple, les figures suivantes montrent comment on simule en laboratoire le charriage de matières solides dans les rivières.

Plus généralement, la formation et la progression des dunes dans les rivières sont des mécanismes qui participent au transport des sédiments solides de l'amont vers l'aval. L'étude de ces mécanismes de transport est d'un intérêt majeur pour les problèmes posés aux ingénieurs concernant par exemple la capacité d'écoulement des crues ou le risque d'affouillement des ouvrages et des digues.

Ces mécanismes de transport règlent aussi la morphologie du lit et, plus généralement, les conditions de survie et de développement des espèces vivantes donc la qualité environnementale de la rivière.

Les laboratoires comme le LTHE ou IRSTEA poursuivent des recherches fondamentales sur ces différents mécanismes en restant à l'écoute des besoins et des demandes des gestionnaires des rivières et des ingénieurs. Ils développent les outils nouveaux nécessaires à ces études et en particulier des méthodes de mesures avancées et des outils de modélisation plus précis. Ils participent aussi à la formation des experts de demain dans les universités grenobloises.

Références

- [1] Belleudy Ph., Valette A., and Graff B., Passive Hydrophone Monitoring of Bedload in River Beds: First Trials of Signal Spectral Analyses., in Gray J.R., Laronne J.B., and Marr J.D.G., Bedload-surrogate monitoring technologies: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2010-5091, p. 67-84. À télécharger à l'adresse suivante : <http://pubs.usgs.gov/sir/2010/5091/papers/listofpapers.html>.
- [2] Frey P. and Church M. 2011. Bedload: a granular phenomenon. *Earth Surface Processes and Landforms*, 36: 58-69.
- [3] Frey P. and Church M., 2009. How River Beds Move. *Science* 325: 1509-1510.