



Influence de la morphologie dunaire sur les flux éoliens et le transport sédimentaire : Exemple sur la côte Aquitaine

Nicolas ROBIN¹, Camille RENE¹, Antoine LAMY¹, Emma DAVID¹,
Olivier RAYNAL¹, Alexandre NICOLAE LERMA², Bruno CASTELLE³,
David ROSEBERY⁴

1. Université de Perpignan Via-Domitia, Laboratoire CEFREM UMR 5110, Perpignan, France.
nicolas.robin@univ-perp.fr
2. BRGM, Direction régionale Nouvelle-Aquitaine, Pessac, France.
3. Univ. Bordeaux, CNRS, Bordeaux INP, EPOC, UMR 5805, Pessac, France.
4. Office National des Forêts, Paris, France.

Résumé :

L'évolution des dunes côtières est d'une importance stratégique vis-à-vis du risque de submersion dans un contexte d'érosion de nombreux littoraux sableux. Leur dynamique est contrôlée par les interactions complexes entre les facteurs biotiques et abiotiques, notamment le vent incident, la morphologie de la dune et la densité de végétation. La littérature décrit les caractéristiques du vent lors du franchissement d'un système plage-dune ainsi que du transport sédimentaire associé pour de nombreux environnements. Toutefois, il n'est pas documenté à ce jour, comment deux systèmes à la morphologie contrastée répondent à une même tempête. Dans ce cadre, une campagne de terrain de 3 jours a été réalisée sur deux sites voisins de la côte Aquitaine (La Teste-de-Buch (S1) et Biscarrosse (S2)) en simultanée. Ils présentent des morphologies contrastées avec une dune fixée par la végétation au front dunaire abrupte (36°) en S1 et une dune libre, au profil doux (11°) en S2. L'étude repose sur l'acquisition de données de vent à l'aide de 21 anémomètres répartis sur les deux sites d'étude, complétée en plusieurs endroits par l'analyse qualitative de panaches de fumigènes capturés par vidéo. Enfin, des mesures de transport sédimentaire ont également été réalisées en différentes positions sur le long des profils. Les résultats mettent en évidence le rôle de la morphologie sur le comportement du vent lors du franchissement de la dune favorisant en S2 un transport sédimentaire pouvant atteindre 200 kg/m²/h au niveau de la crête. Les sédiments transportés proviennent de la plage et de l'érosion de la face marine de la dune. A contrario, l'impact de la face très abrupte de la dune de S1 sur le vent limite très fortement le transport sédimentaire de la plage vers le haut de la dune. Ainsi, la morphologie de S2 favorise le transfert sédimentaire de la plage vers les terres permettant sur des secteurs en érosion le maintien d'un milieu dunaire dans le temps.

Mots-clés : Dynamique éolienne, Transport sédimentaire, Evolution dunaire, Aquitaine.

Thème 2 – Dynamique sédimentaire

1. Introduction

L'évolution des dunes côtières est d'une importance stratégique vis-à-vis du risque de submersion dans un contexte d'érosion de nombreux littoraux sableux. Toutefois, son attractivité entraîne globalement une pression élevée sur l'écosystème et une dégradation du milieu dunaire. Or, les dunes fournissent de nombreux services environnementaux et écosystémiques, parmi lesquels la protection des enjeux vis-à-vis des tempêtes marines. Une meilleure compréhension de leur évolution est ainsi devenue un enjeu sociétal dans un contexte de changement global.

Les dunes sont influencées par de nombreux processus biotiques (type et densité du couvert végétal) et abiotiques (conditions hydrométéorologiques, humidité, largeur de plage, morphologie dunaire, disponible sédimentaire) ainsi qu'à une potentielle pression anthropique (tourisme, activités récréatives, modes de gestion) à travers un large spectre spatial et temporel (WALKER *et al.*, 2017). Cela induit une diversité de leur morphologie aussi bien aux échelles globales et régionales, mais aussi locales. La plupart des études portant sur la caractérisation du vent et de son transport sédimentaire sur le profil plage-dune sont basées sur des mesures collectées le long d'un seul profil du site étudié. Il est ainsi documenté la manière dont le vent évolue à l'approche de la dune et lors de son franchissement mettant en avant de fortes différences entre celles ayant une face marine abrupte liée à une érosion marine chronique, à celles présentant une face plus douce (système progradant ou en recul vers les terres par transfert de sédiment) (SCHWARZ *et al.*, 2020, DAVIDSON *et al.*, 2022). Ces différences se manifestent par un schéma de circulation sédimentaire contrasté entre les deux types de système. Toutefois, il n'est pas documenté et expliqué comment de manière quantitative, deux systèmes à la morphologie contrastée répondent à une même tempête. L'objectif de cette étude est d'aborder ce manque par le biais de mesures de terrain (anémomètres, pièges à sédiment, topographie) sur deux systèmes plage-dune de la côte Aquitaine séparés de seulement 7 km lors d'un même événement.

2. Site d'étude

Les deux sites d'étude sont situés à la Teste-de-Buch (S1) (44°32'33 N, 01°15'10 O) et Biscarrosse (S2) (44°27'58 N, 01°15'04 O), sur la côte Aquitaine (Figure 1). Il s'agit d'un environnement méso-macrotidal dominé par les vagues avec une hauteur significative moyenne annuelle au large de 1,8 m. Lors de la période hivernale les vents proviennent principalement de l'Ouest, tandis que les vents dominants au printemps et en été viennent du Nord à Nord-Ouest, entraînant un transport de sable éolien dominant vers l'Est. Les deux sites présentent des morphologies dunaires contrastées et des historiques de gestion différents. En S1, la dune est fixée par la végétation et présente un front dunaire abrupte (environ 40°) dû à une érosion marine chronique (Figure 1A). L'altitude de la crête dunaire est à 15 m NGF et la partie sommitale se caractérise par un large plateau subhorizontal possédant une forte couverture végétale. La forme des dunes de S2 a été

modifiée il y a quelques années pour favoriser sa remobilisation. La morphologie actuelle qui en résulte montre une pente relativement douce (dénommée « rampe ») (environ 11°) et une crête culminant à 25 m NGF (Figure 1B). La granulométrie des sédiments sur les deux sites est homogène avec une taille de grain médian de 0,30 mm.

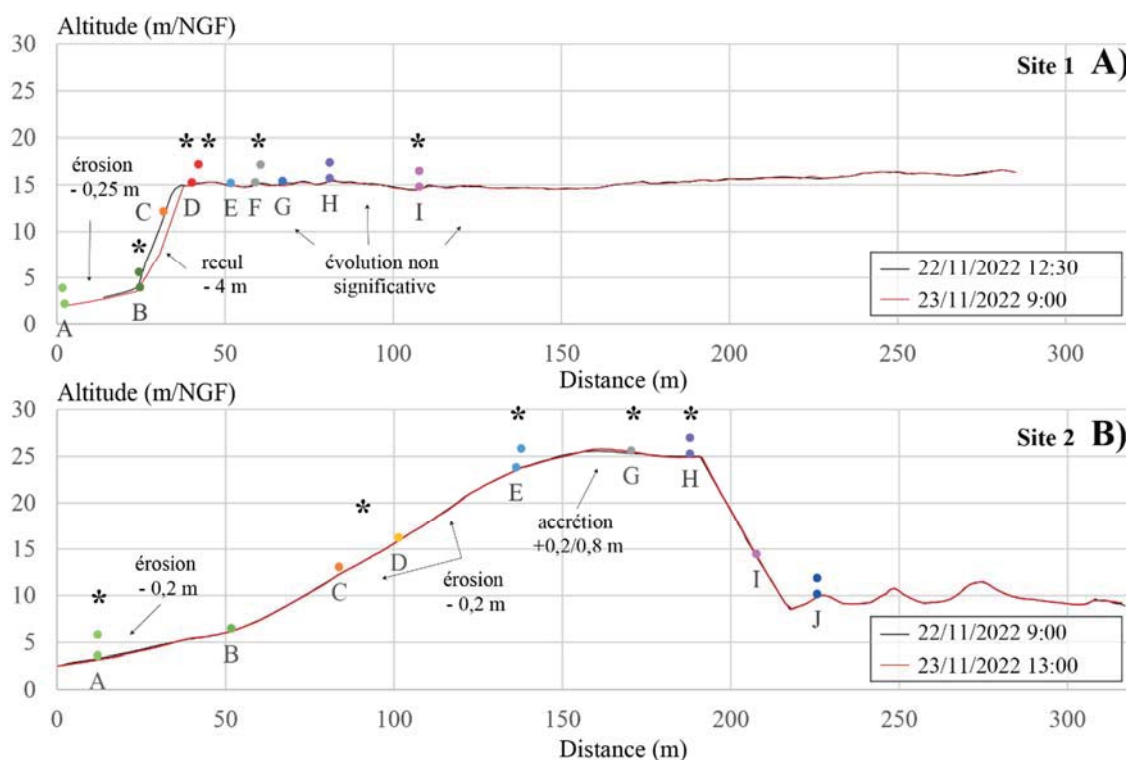


Figure 1. Localisation des anémomètres (rond de couleur et lettre) et des expérimentations des flux sédimentaires (voir *) sur les deux sites d'étude. L'évolution topographique entre le début et la fin de la campagne est indiquée. L'axe des profils commence au niveau de la plage.

3. Méthodologie

La campagne de terrain s'est déroulée du 21/11/2022 au 23/11/2022. Sur toute la durée, une instrumentation transversale à la dune des deux sites a été réalisée en simultanément. Les données de vent ont été mesurées grâce à des anémomètres WindSonic Ultrasonic (WS) de la marque Campbell Gill. Les valeurs obtenues à une fréquence de 1Hz sont ensuite moyennées à un pas de temps de 1 minute. Les anémomètres ont été répartis en différents points sur le profil plage-dune à une hauteur de 0,30 m et/ou 2 m (Figure 1). Ponctuellement, quelques anémomètres ont été déplacés pour obtenir une mesure sur la plage. Ainsi, il a été possible d'obtenir de la donnée de vent sur 9 stations différentes pour chaque site. Par ailleurs, cinq fumigènes à goupilles ont également été utilisés sur chaque site en différents endroits du profil dune-plage. Leurs panaches ont été filmés à l'aide de différents appareils photo et GoPro. L'objectif était de mettre visuellement en évidence

Thème 2 – Dynamique sédimentaire

la structure en trois dimensions du vent grâce à la fumée colorée qui s'en libère pendant 1 min. Les emplacements furent sélectionnés afin d'avoir une représentation globale du flux sur l'ensemble du profil et sur différentes parties caractéristiques du profil tel qu'au niveau des crêtes, des pentes face au vent et sous le vent. Les vidéos ont par la suite été analysées image par image puis traitées grâce aux logiciels Photoshop et Gimp.

Le transport sédimentaire engendré par le vent a été récolté à l'aide de pièges à sédiments montés sur des stations selon le modèle Hilton. Celui-ci se compose d'une tige en métal contenant douze pièges. Les pièges sont composés de tubes PVC allant de la surface jusqu'à une hauteur de 0,53 mètres. Les deux premiers pièges ont une hauteur d'ouverture de 0,02 m pour optimiser la discrétisation du mode de transport par charriage. Les autres pièges possèdent une hauteur d'ouverture de 0,039 m. A l'extrémité du tube PVC se trouve un sachet en tissu qui permet le stockage du sédiment. Les expérimentations (*runs*) ont été réalisés pendant une durée de quinze minutes en instrumentant le profil dune-plage de chaque site de cinq stations (Figure 1). Au total, deux *runs* ont été effectués sur le site S1 et trois *runs* sur le site S2 avec une même position des stations. Ces expérimentations permettent de calculer le flux sédimentaire passant à chaque hauteur, ainsi que le flux intégré sur la verticale.

Enfin, des levés topographiques ont été réalisées en début et fin de campagne sur chaque site par un DGPS-RTK de chez TRIMBLE avec une précision centimétrique de la mesure.

4. Résultats

La campagne s'est déroulée durant un épisode de tempête caractérisé par des vitesses moyennes de vent de 20 m/s et une hauteur significative de la houle au large atteignant 6 m au pic de la tempête. Les caractéristiques du vent et du transport sédimentaire illustrées dans cette communication pendant la campagne se sont réalisées à marée basse.

4.1 Caractéristiques du vent le long du profil plage-dune

La caractérisation du vent sur le profil plage-dune montre de fortes différences entre les deux sites. Sur la plage de S1, le vent décélère fortement pour atteindre une valeur minimale au pied de dune (Figure 2A). Une forte accélération est observée sur l'escarpement qui se termine par une boucle de recirculation de faible expansion le long du profil (quelques mètres) au niveau de la crête de dune induisant une direction du vent inverse proche du sol par rapport au vent incident. Sur S2, une décélération plus faible est observée de la plage jusqu'à la base de la dune (Figure 2B). Sur le front dunaire une accélération est tout de même observée et les vents connaissent une intensité maximale au niveau de la crête. Une boucle de recirculation avec un grand vortex (plusieurs dizaines de mètres) est observée au niveau de la rupture de pente avec l'arrière dune (Figure 3). À l'arrière de la dune, la vitesse des vents chute drastiquement mais l'atténuation est plus élevée lorsque la direction initiale du vent est perpendiculaire au massif dunaire (Figure 2C).

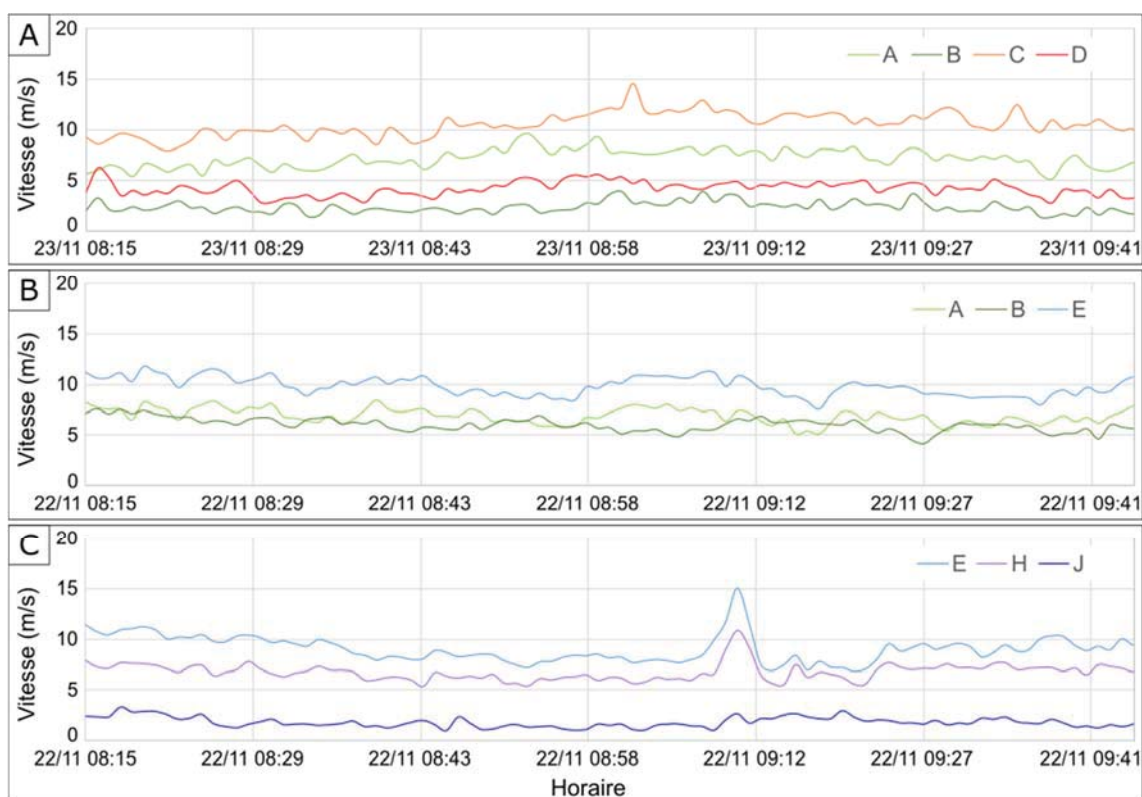


Figure 2. Exemples d'enregistrements de la vitesse du vent moyennée à 1 minute lors de la campagne de mesure sur l'ensemble du profil plage-dune du site 1 (vitesses à 2 m de hauteur) (A), sur la face marine (B) et sur la crête et arrière dune (C) du site 2 (vitesses à 0,3 m de hauteur). La localisation des stations est indiquée sur la Figure 1.

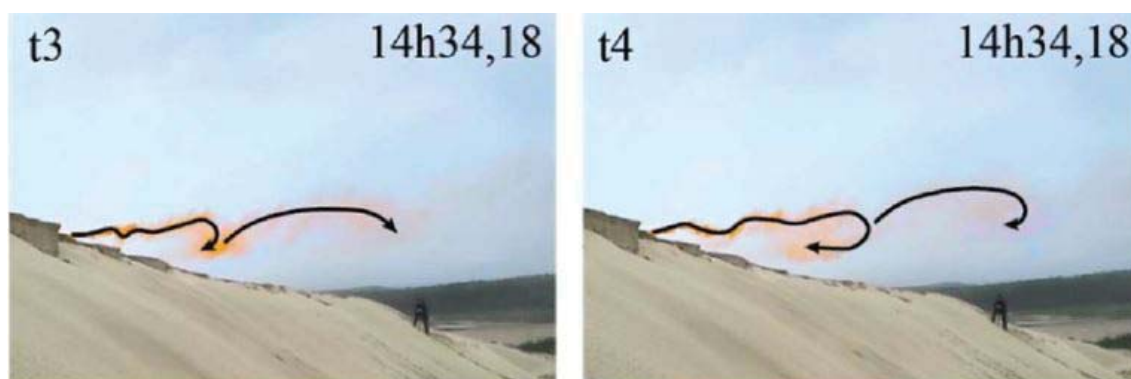


Figure 3. Exemple d'une capture vidéo illustrant une boucle de recirculation au niveau de la rupture de pente avec l'arrière dune du site 2 (proche du point H sur la Figure 1B).

4.2 Caractéristiques du transport sédimentaire le long du profil plage-dune

Les caractéristiques contrastées des paramètres éoliens observées sur chacun des profils entraînent des taux de transports sédimentaires nettement différents entre les deux sites. Sur S1, le flux de sédiments sur la plage proche du pied de dune est très faible (0 à 0,1 kg/m²/h) en raison d'un fetch limité et la face de la dune très escarpée ne permet pas un

Thème 2 – Dynamique sédimentaire

transfert de sédiments de la plage vers son sommet (Tableau 1). Sur le plateau végétalisé, le flux sédimentaire est modéré à faible, de 14 à 50 kg/m²/h. Il est généré du fait de quelques secteurs ayant une végétation éparse mais également par une érosion de la corniche voisine. Les flux sédimentaires sur S2 sont d'un ordre de grandeur plus important avec une augmentation entre la plage (29 à 32 kg/m²/h) et le sommet de la rampe (195 à 240 kg/m²/h) (Tableau 1). Ils diminuent ensuite sur le plateau de la dune (67 à 71 kg/m²/h).

Tableau 1. Résultats des expérimentations de transport sédimentaire. L'emplacement des stations est indiqué sur la Figure 1.

Date Heure	Flux total (Kg/m ² /h)	tB	tD1	tD2	tF	tI	Vitesse moyenne (m/s)	Direction moyenne (°)	Pluviométrie moyenne (mm)
22.11.2022 11h48 - 12h03	run1_S1	0,00	0,00	1,75	3,98	0,65	12,10	290	0,00
23.11.2022 10h24- 10h39	run2_S1	0,00	6,58	17,94	50,99	29,44	14,35	285	0,00
Date Heure	Flux total (Kg/m ² /h)	tA	tCD	tE	tG	tH	Vitesse moyenne (m/s)	Direction moyenne (°)	Pluviométrie moyenne (mm)
22.11.2022 8h42-8h57	run1_S2	32,24	67,29	194,83	88,28	71,91	11,20	270	0,15
22.11.2022 13h46-14h04	run2_S2	0,00	0,00	0,28	12,85	11,71	7,30	290	0,48
23.11.2022 12h01-12h16	run3_S2	28,95	60,25	136,47	241,98	67,84	12,70	280	0,00

4.3 Evolutions topographiques

Au niveau de la plage, l'évolution topographique montre une érosion verticale similaire lors de l'évènement pour les deux profils, de l'ordre de 0,25 (S1) et 0,18 m (S2) (Figure 1). En revanche S1 connaît un fort recul du front dunaire (4 m) induit par les processus marins alors que S2 ne connaît pas de recul. La partie sommitale de la dune S1 ne présente pas d'évolution notable. La pente douce du front dunaire de S2 a été érodée d'environ 0,17 m par les processus éoliens mais son sommet s'est élevé de 0,2 à 0,8 m (Figure 1B).

5. Interprétation et discussion

Les résultats de l'instrumentation des deux sites en simultanée ont permis de mettre en évidence des comportements caractéristiques du vent pour chaque secteur des profils. Ainsi, le pied de dune des deux sites est toujours témoin d'une décélération de la vitesse du vent. Ce comportement est beaucoup plus prononcé sur S1 où le flux à 0,3 m est proche

de zéro tandis qu'il ne subit qu'un léger ralentissement sur S2. La morphologie abrupte de la dune face au vent de S1 est le facteur à l'origine de cette perturbation (BAUER *et al.*, 2012). Elle favorise également une très forte augmentation de l'intensité du vent sur celle-ci par compression du flux sur la pente raide (DAVIDSON *et al.*, 2022). Il est ensuite expulsé en hauteur au niveau de la crête de dune et une boucle de recirculation très localisée de quelques mètres se forme en arrière de la crête. Au niveau des premiers mètres sur la crête, cela se caractérise par un fort ralentissement de la vitesse du vent enregistrée (0,3 m du sol) et une direction inverse de la provenance incidente du vent. Sur S2, l'accélération du vent sur la pente face au vent a lieu plus loin dans le profil et de manière moins brusque que sur S1. Ce comportement est induit par la pente plus douce du front dunaire et l'importante hauteur de la dune (ARENS *et al.*, 1995, SCHWARZ *et al.*, 2020). La vitesse est toutefois notablement plus forte et maximale au niveau de la crête (station E sur S1) conformément à la littérature (WALKER & HESP, 2013). Après une décélération sur la zone proche de la crête à S1, c'est sur le plateau que le flux reprend de la vitesse. Il reste néanmoins faible proche du sol en raison de la présence de végétation (ROTNICKA *et al.*, 2023) mais est nettement plus forte à 2 m de hauteur. Sur S2, le plateau marque le début d'une décélération induite par le changement de pente qui devient légèrement inverse. Cette diminution de la vitesse est plus importante au passage de la rupture de pente vers l'arrière dune. Elle est associée à une modification drastique de la direction de l'écoulement par la présence d'une boucle de recirculation avec une ampleur et longueur importante (plusieurs dizaines de mètres) ainsi qu'un flux qui remonte jusqu'à mi-pente. Ainsi, l'étude montre pour un même événement météorologique, dans quelle mesure le vent est drastiquement modifié lors du franchissement de la dune en relation avec sa morphologie contrastée entre les deux sites instrumentés.

In fine, la réponse morphologique des deux sites étudiés est très contrastée. Les résultats montrent que les caractéristiques de S2 (pente douce, sable nu, stabilité du flux éolien,) sont plus propices au transport sédimentaire pouvant atteindre 200 kg/m²/h au niveau de la crête malgré des conditions humides. La plage et le front de dune sont une source de sédiments pour le sommet et l'arrière de la dune. On observe une érosion de l'ordre de 0.17 m du front de dune du fait de l'action du vent et des dépôts de 0.2 à 0.8 m au niveau de son sommet en 24h. Ces transferts concourent ainsi à la migration de la dune vers l'intérieur des terres. A l'inverse, le profil abrupt de la dune à S1 semble déconnecter la plage de la dune du fait d'une réduction drastique de la capacité de transport au pied de dune et une boucle de recirculation à la crête. Le sédiment ne peut franchir l'obstacle que représente la forte pente malgré des vitesses de vent pouvant être importantes sur la face marine. Le sommet de la dune est ainsi très faiblement alimenté par des sédiments provenant de la plage et on n'observe pas de changement morphologique notable sur la partie supérieure de la dune S1.

Thème 2 – Dynamique sédimentaire

6. Conclusion

Cette étude permet pour la première fois d'observer les caractéristiques du vent sur deux profils plage-dune voisins lors d'une même tempête. Une forte disparité est alors observée en lien avec la morphologie contrastée des deux sites d'étude. Cela induit des zones et des taux de transport sédimentaire là aussi très différents. Face à ces constats, la mobilité apparente de la dune de S2 et son alimentation par du sédiment provenant de la plage, favorise son développement et la mobilité du cordon vers les terres. Ces résultats permettent d'apporter des éléments de connaissance supplémentaires vis-à-vis de la pratique de remise en libre évolution contrôlée d'un système dunaire testée sur différents secteurs de la côte Aquitaine par l'ONF ou ailleurs dans le monde.

Remerciement

Le projet AEOLEX (2021-2023) a été financé par l'Office National des Forêts.

7. Références bibliographiques

- ARENS S.M., VAN KAAM-PETERS H.M.E., VAN BOXEL J.H. (1995). *Air flow over foredunes and implications for sand transport*. *Earth Surf. Process. Landforms*, 20, 315-332
<https://doi.org/10.1002/esp.3290200403>
- BAUER B.O., DAVIDSON-ARNOTT R.G.D., WALKER I.J., HESP P.A., OLLERHEAD J. (2012). *Wind direction and complex sediment transport response across a beach-dune system*. *Earth Surf. Process. Landforms*, 37, 1661-1667,
<https://doi.org/10.1002/esp.3306>
- DAVIDSON S.G., HESP P.A., DA SILVA M., DA SILVA G.M. (2022). *Flow dynamics over a high, steep, erosional coastal dune slope*. *Geomorphology* 402, 108111,
<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2022.108111>
- ROTNICKA J., DLUZEWSKI M., HESP P.A., TOMCZAK J.O. (2023). *Skimming flow and sand transport within and above Ammophila (Marram) Grass on a foredune*. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 128, e2023JF007143,
<https://doi.org/10.1029/2023JF007143>
- SCHWARZ C., VAN STARRENBURG C., DONKER J., RUESSINK G. (2020). *Wind and sand transport across a vegetated foredune slope*. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 125, <https://doi.org/10.1029/2020JF005732>
- WALKER I.J., HESP P.A. (2013). *Fundamentals of aeolian sediment transport: Airflow over dunes*. *Treatise on geomorphology*, 11, 109–133, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374739-6.00300-6>
- WALKER I.J., DAVIDSON-ARNOTT R.G.D., BAUER B.O., HESP P.A., DELGADO-FERNANDEZ I., OLLERHEAD J., SMYTH T.A.G. (2017). *Scale-dependent perspectives on the geomorphology and evolution of beach-dune systems*. *Earth-Science Reviews* 171, 220-253, <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.04.011>