



Première combinaison de système de drainage de plage Ecoplage® et de rechargement sableux à Jumeirah, Dubai, UAE

Arnaud BALLAY¹, Christelle BRETON¹

1. ECOPLAGE, 243 rue de la Bougrière, 44980 Sainte-Luce-Sur-Loire, France.
arnaud.ballay@ecoplage.fr ; christelle.breton@ecoplage.fr

Résumé :

Parmi les méthodes douces de défense des plages, le système de drainage des plages appelé système Ecoplage® consiste à placer des drains sous la plage, parallèlement au littoral et reliés à une station de pompage qui rejette l'eau de mer ailleurs. Une autre méthode régulièrement utilisée est le rechargement sableux de la plage.

En octobre 2011, ECOPLAGE a terminé la mise en œuvre du premier système de drainage sur la plage de Madinat Jumeirah située sur la côte de Dubaï, aux UAE. L'érosion est principalement due aux grands projets offshore menés sur les côtes de Dubaï depuis 15 ans.

Auparavant, le site d'un km de long subissait une forte érosion, estimée à un bilan sédimentaire négatif d'environ 30 000 m³/an. Ce solde négatif a entraîné le retrait de la plage de 5 à 10 m/an. Pour contrer cette érosion, la plage était régulièrement rechargée d'environ 60 000 m³ de sable tous les 2 ans. Le système de drainage a été choisi car il s'agissait de la seule solution durable, invisible et combinable avec les rechargements. En Aout 2011, l'installation a été mise en place pour la première fois avec un rechargement de 56 000 m³ de sable. L'objectif était de maintenir sur 2 ans aussi longtemps que possible la plage récupérée. C'est après seulement 3 ans qu'un nouveau reprofilage a eu lieu.

Cette présentation tente de résumer rapidement le projet Jumeirah. Nous comparerons les résultats obtenus avec les objectifs fixés dans le cahier des charges.

Mots-clés : Ecoplage®, Système de drainage, Erosion, Plage, Dubaï, Rechargement

1. Présentation du site et du projet

1.1 Jumeirah beach

Depuis 30 ans, le littoral de Dubaï a connu des transformations rapides. Le développement de projets massifs à terre et en mer entraîne des changements dans l'hydrodynamique et le transport des sédiments. Ainsi, l'érosion marine a augmenté à certains endroits, (SANLAVILLE & DALONGEVILLE,2005).

Thème 6 – Gestion durable des zones littorales et estuariennes

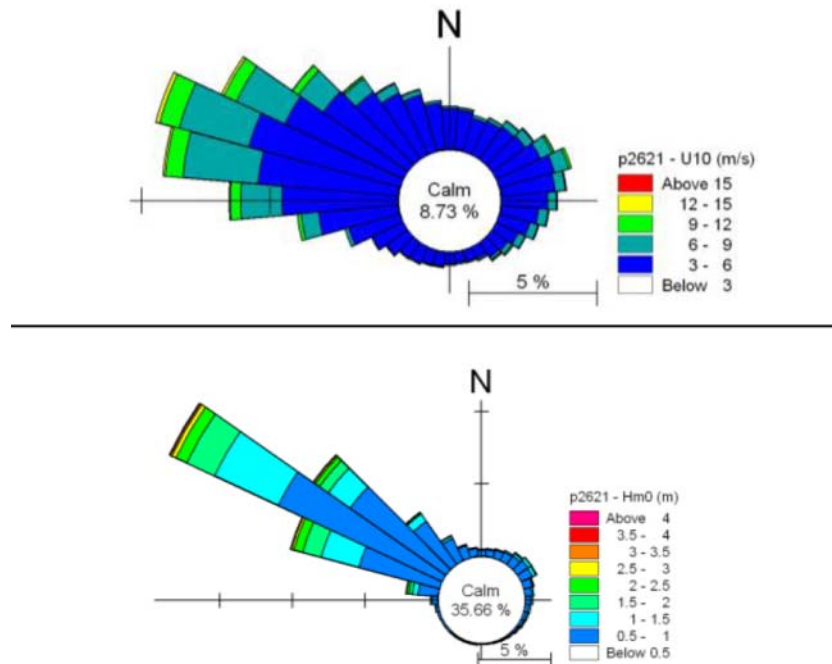


Figure 1. Roses des vents (haut) et des vagues (bas) autour de Jumeirah, (MANGOR et al., 2008).



Figure 2. Bilan sédimentaire et tendances de l'érosion, (VROEG, 2009).

Dubaï est située dans la péninsule arabique, au sud-est du golfe Persique. L'amplitude de la marée est de 1m - 1,75m (SMIT *et al.*, 2005). Les vents dominants, appelés *shamals*, sont du nord-ouest (figure 1). Ces vents sont la principale force génératrice de vagues et ils se produisent principalement pendant les mois d'hiver sur toute la longueur du Golfe. Les sédiments sont principalement transportés par ces courants du sud-ouest au nord-est. Depuis les années 1970, de nombreuses structures ont été développées le long du littoral de Dubaï. Elles interrompent le transport des sédiments et provoquent la diffraction des vagues. La côte est divisée en de nombreux compartiments, presque sans échange de sédiments entre eux. Il en résulte une accumulation de sédiments sur le côté amont et une érosion sur le côté aval de ces structures. Parmi toutes ces infrastructures, la plage de Madinat Jumeirah est limitée par la marina de Jumeirah au nord et par un épi au sud. La plage est située en face de la station balnéaire de Madinat Jumeirah constituée d'hôtels et d'équipements de plage. Le site mesure environ 1 400 m de long et 80 m de large (figure 2).

Le transport net est dirigé vers le nord. L'archipel de Palm Jumeirah et The World perturbent la propagation des vagues (Mc CALL, 2009). Par conséquent, l'énergie et la direction des vagues ne sont pas uniformes générant un gradient d'érosion le long de la plage (figure 2). Vers le nord, le transport net de sédiments devient plus important. De plus, la dynamique sédimentaire de la plage est affectée par l'épi du sud créant un déficit sédimentaire en aval, ce qui entraîne le recul du trait de côte. La jetée d'Al Qasr construite sur des piliers ne bloque pas la dérive. L'île du Burj Al Arab joue le rôle d'une structure brise-lames et entraîne une accumulation de sable de type "tombolo" sous le pont reliant l'hôtel au rivage. Il y a une accumulation de sable au sud de l'épi de la Marina en raison de la dérive des principaux sédiments vers le nord.

Les tempêtes perturbent évidemment la dérive du littoral lorsqu'elles se produisent. Lors d'une tempête, le profil de la plage est remodelé et la crête de berme peut reculer de plusieurs mètres. La combinaison de la marée haute et des vagues crée des falaises d'érosion de 0,5m de hauteur, principalement là où la plage a été artificiellement remodelée hors du profil d'équilibre.

La plage est principalement composée de sable homogène. Le diamètre médian (D50) est compris entre 0,2mm et 0,5mm, principalement 0,3mm pour les couches supérieures. La pente du profil d'équilibre après rechargement est d'environ 1/10-1/15. Néanmoins, la plage est régulièrement remodelée afin de maintenir une berme plate pour les usagers de la plage. Dans la partie sud de la cellule sédimentaire, la pente de la plage est de 1/6 à cause de l'érosion. Alors qu'au nord, en raison de l'effet tombolo, le sable plus fin s'accumule et la pente n'est que de 1/20.

1.2 Origine et objectifs du projet

Avant 2011, la solution adoptée pour lutter contre l'érosion était des rechargements sableux. Le volume variait entre 50 000 m³ et 60 000 m³ tous les 2 ans. Une partie du

Thème 6 – Gestion durable des zones littorales et estuariennes

volume était récupérée dans le tombolo, jusqu'à 20 000 m³. Le reste venait de gisements extérieurs. La durée de vie des rechargements variait entre 0,5 et 2 ans (VROEG, 2009). Le groupe hôtelier a donc essayé de trouver un moyen de réduire ces opérations. Après quelques études de faisabilité (VROEG, 2009 ; Mc CALL, 2009 ; EMMIT, 2010 ; BALLAY, 2011), le processus de drainage des plages est apparu comme la méthode la plus appropriée pour atteindre ces objectifs.

En 2011, pour la première fois, la combinaison du système de drainage et d'un rechargement en sable de 56000 m³ a été mise en œuvre pour protéger cette plage. Les attentes après la mise en œuvre étaient de réduire l'érosion d'un tiers sur la zone traitée en estimant qu'un "back pass" du tombolo nord vers le sud pourrait être suffisant pour maintenir l'ensemble de la plage stable. Néanmoins, il était attendu qu'un rééquilibrage rapide se produirait, comme toujours après chaque opération de ce type. Il était alors indispensable d'instaurer un suivi topographique et bathymétrique de la plage pour :

- suivre l'évolution du site,
- estimer l'efficacité du système,
- calculer les volumes des prochains rechargements.

2. Le projet

2.1 Le système de drainage : Ecoplage[®]

Le système consiste à enfouir des drains dans la plage, parallèlement au trait de côte, à une profondeur d'environ 2,50m, (figure 3). L'eau recueillie est acheminée par gravité vers une station de pompage, pour être réutilisée ou, à défaut, rejetée en mer (VESTERBY, 1995).

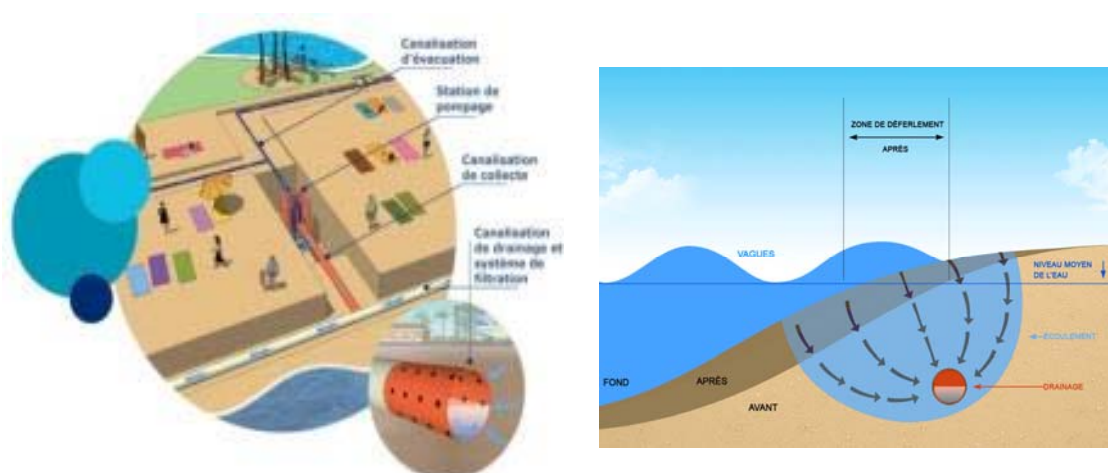


Figure 3. Système (gauche) et principe (droite) du drainage Ecoplage[®].

Le rabattement de nappe créé par son action une zone asséchée qui favorise l'infiltration des vagues et donc le dépôt des sédiments en suspension. Dans le même temps, la désaturation permet d'absorber une partie de l'énergie des vagues et par conséquent d'atténuer les effets érosifs du reflux. Le principe et l'action du système ont été plusieurs fois discutés dans la littérature (TURNER & LEATHERMAN, 1997) mais comme les effets sont difficilement modélisables et dissociables du comportement naturel de la plage, les bénéfices réels, notamment des projets réalisés en France (FATTAL & WALKER, 2008 ; BAIN *et al.*, 2016) font toujours l'objet de discussion.

Pour la plage de Jumeirah, le système est divisé en une partie nord de 425m et une partie sud de 525 m. Il est installé à 2,50 m sous la surface de la plage avant le rechargement. Le débit vers la station de pompage est en moyenne de 570 m³/h et la capacité maximale de pompage est de 1 000 m³/h à marée haute.

2.2 Le rechargement de plage

En parallèle, un rechargement de 56 000 m³ a eu lieu. La méthode, similaire aux opérations précédentes, consistait à extraire dans le tombolo, environ 20 000 m³ tandis que le volume restant était acheminé d'un gisement externe par voie terrestre. Compte tenu du dynamisme de la plage, il était prévu qu'une majeure partie du volume serve de stock tampon pour atteindre le profil d'équilibre. Les objectifs étaient l'élargissement de 30m de la berme avec une pente de 1/12, en effet les sédiments extraits du nord avaient un D50 de 0,30 mm et 0,35 mm pour ceux venant du gisement extérieur (figure 4). Ainsi 26000 m³ de sable sur le volume total étaient prévus pour compenser le rééquilibrage.

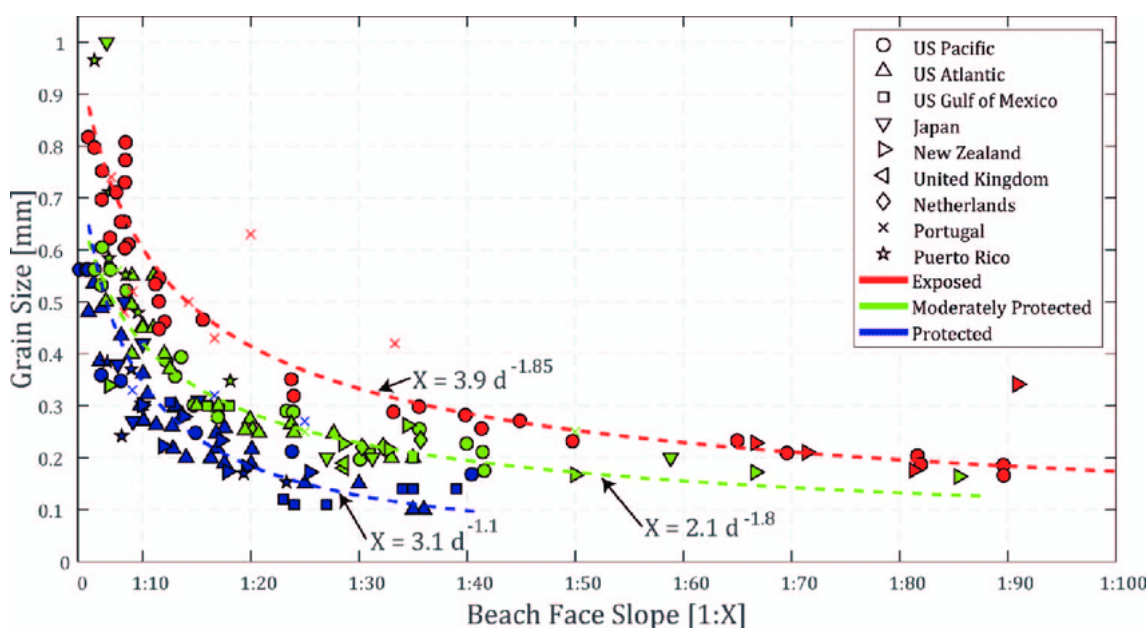


Figure 4. Relation entre granulométrie et profil de plage (Mc FALL, 2019).

Thème 6 – Gestion durable des zones littorales et estuariennes

2.3 Méthodologie de suivi

Le programme de surveillance comprend des levés topographiques et bathymétriques réguliers réalisés par une société locale externe avec un système de positionnement global différentiel (DGPS), avec une précision centimétrique. Des profils sont réalisés le long des 1 400 m de la plage. La distance entre les profils est d'environ 50m. Les profils sont réalisés au moins 2 fois par an : après l'hiver (mai) et l'été (novembre). Certains levés supplémentaires ont été effectués avant et/ou après des tempêtes exceptionnelles.

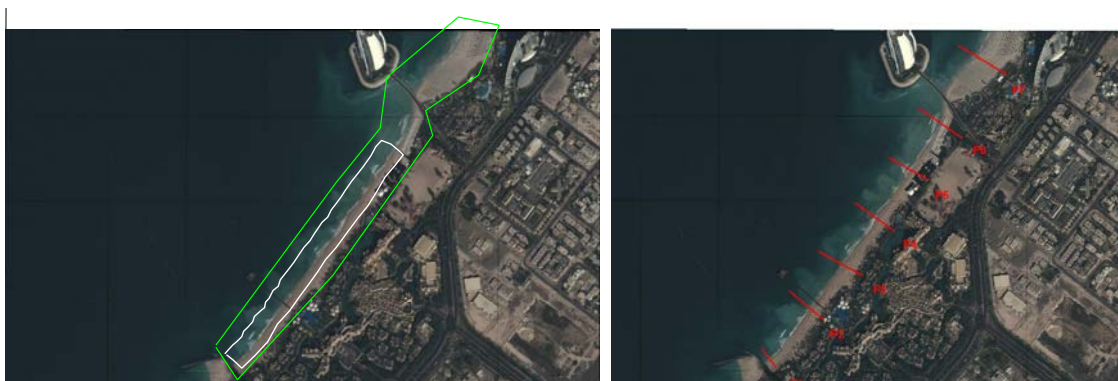


Figure 5. Zones étudiée (en vert) et rechargée (en blanc) (a) et profils (b).

Les calculs de volume sont effectués sur deux zones : (i) La plage entière (en vert - figure 5a) de l'arrière-plage à 150m vers le large ; (ii) La zone projet dans l'intervalle de la ligne de base de rechargement -20m (à l'intérieur des terres) et +80m (vers la mer) (en blanc - figure 5a, en noir - figure 7). Cela correspond approximativement à la zone d'impact Ecoplage®. La zone d'étude a été définie en fonction des besoins du maître d'ouvrage (dragage du tombolo et reprofilage). Malheureusement, bien qu'incluse dans le levé, la profondeur de fermeture n'est pas tenue en compte dans les calculs de volume pour des raisons d'interpolation et de comparaison avec les levés du gestionnaire. Afin d'illustrer l'évolution de la plage, des profils ont été extraits (figure 5b). L'étude s'arrête à une interprétation morphologique et volumique du site afin d'optimiser sa gestion avec le gestionnaire.

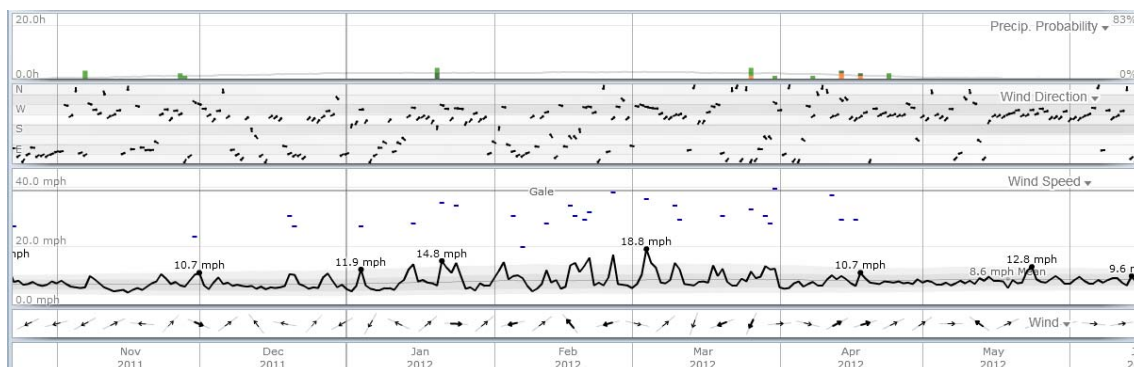


Figure 6. Condition météo durant les 6 premiers mois après l'installation.

3. Résultats

3.1 Évolution sur des périodes de 6 mois

Durant les 6 premiers mois après le rechargement (de novembre 2011 à mai 2012), le bilan sédimentaire montre une perte de $-25\,656\text{ m}^3$ dans la zone rechargée (figure noire 7A). Cette perte se concentre sur le rivage et l'avant plage. La plage a retrouvé son profil d'équilibre après le rechargement. Ce rééquilibrage rapide s'explique par la direction du vent pendant cette période : WSW, avec une vitesse de vent dépassant régulièrement 16 km/h (figure 6). Ces vents génèrent des vagues qui engendrent des courants le long du rivage et remuent le sable. Le volume de la perte correspond très bien au volume tampon prévu ($26\,000$). Le vent et la dérive du littoral rechargent l'arrière-plage, le tombolo, la plage nord, et créent des bancs de sable dans la zone d'avant plage. Ainsi la situation de la plage ($-25\,091\text{ m}^3$) est à peu près la même que celle de la zone rechargée.

Le premier été, de mai à novembre 2012, $+1\,245\text{ m}^3$ sont gagnés sur la zone projet (figure 7B noire). Sur l'ensemble de la plage, le volume de gain est plus important : $+11\,212\text{ m}^3$. Cette tendance s'explique par un transfert des bancs d'avant plage vers le rivage. Pendant ces mois d'été, la vitesse moyenne du vent est de 13 km/h , avec seulement 6 jours au-dessus de 16 km/h . De juillet à octobre, la direction du vent est très variable.

L'hiver suivant, le comportement similaire est au précédent mais avec des pertes réduites tant sur la partie rechargée ($-11\,146\text{ m}^3$) que la plage entière ($-7\,851\text{ m}^3$) avec des volumes qui se déplacent dans les bacs d'avant-plage.

De mai à novembre 2013, l'accrétion est nette : la zone projet gagne $+8\,846\text{ m}^3$ et la plage entière gagne $+11\,156\text{ m}^3$ (figure 7D).

De novembre 2013 à mai 2014 (figure 7E), les pertes hivernales décroissent et sont équilibrées sur l'ensemble de plage: $-5\,517\text{ m}^3$ dans la zone nourrie et une perte équivalente ($-5\,144\text{ m}^3$). Pendant ces mois d'hiver, la vitesse moyenne du vent était de 14 km/h , et sa direction variait considérablement.

De mai 2014 à novembre 2014 (figure 7F), le premier "back-pass" a eu lieu, l'extraction mécanique de $18\,000\text{ m}^3$ de sédiment dans le tombolo vers la zone sud sur 300 m entre

Thème 6 – Gestion durable des zones littorales et estuariennes

l'épi et la jetée (zone entourée en rouge) a eu lieu en octobre 2014, le gain se reparti surtout au sud.

Les suivis montrent bien l'évolution saisonnière de la plage, avec une érosion hivernale et une accrétion estivale. Les transferts se font du sud vers le nord par la dérive et des bancs des petits fonds vers la berme en été et l'inverse en hiver.

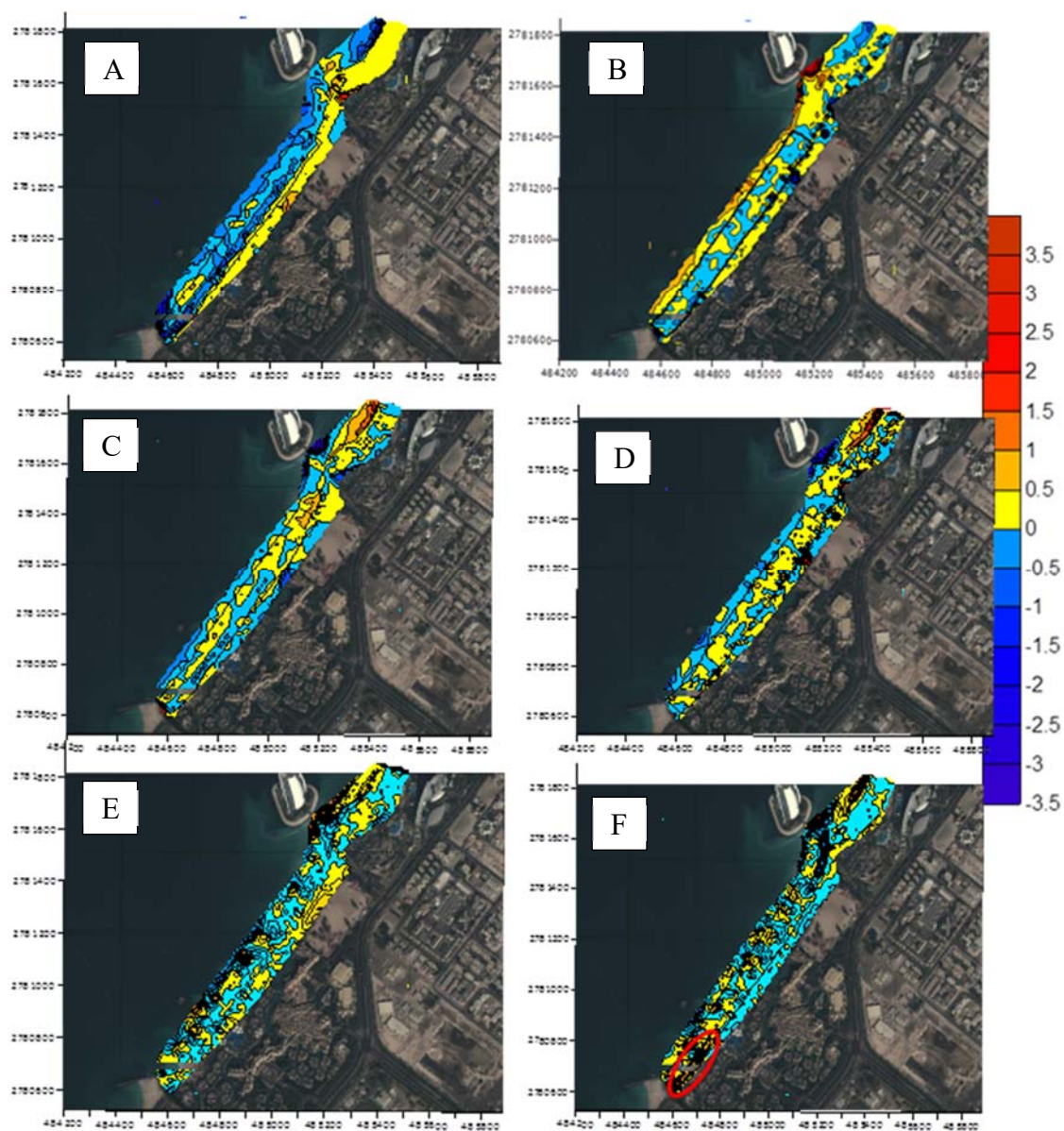


Figure 7. Variations du niveau des plages (m), Zone alimentée en noir. (DLTM - WGS84) ; A- de novembre 2011 à mai 2012, B- de mai-2012 à nov-2012, C- de nov-2012 à mai-2013, D- de mai à novembre 2013, E- de novembre 2013 à mai 2014, F- de mai 2014 à novembre 2014.

Après cette période, sur la volonté du maître d'ouvrage, le suivi topo-bathymétrique s'est réduit à une période annuelle (en mai) et n'a pas permis de poursuivre l'étude du site avec la même méthodologie.

3.2. Evolution de la plage sur les 3 ans

3.2.1 Volume

De novembre 2011 à novembre 2014, la zone nourrie a perdu -26 635 m³ de sable : -24 496 m³ de novembre 2011 à novembre 2012 ; -2 299 m³ de novembre 2012 à novembre 2013 et +1 160 m³ de novembre 2013 à novembre 2014. Avant la mise en place du système d'assèchement, la perte moyenne observée était d'environ -30 000 m³/an dans la même zone, (figure 8).

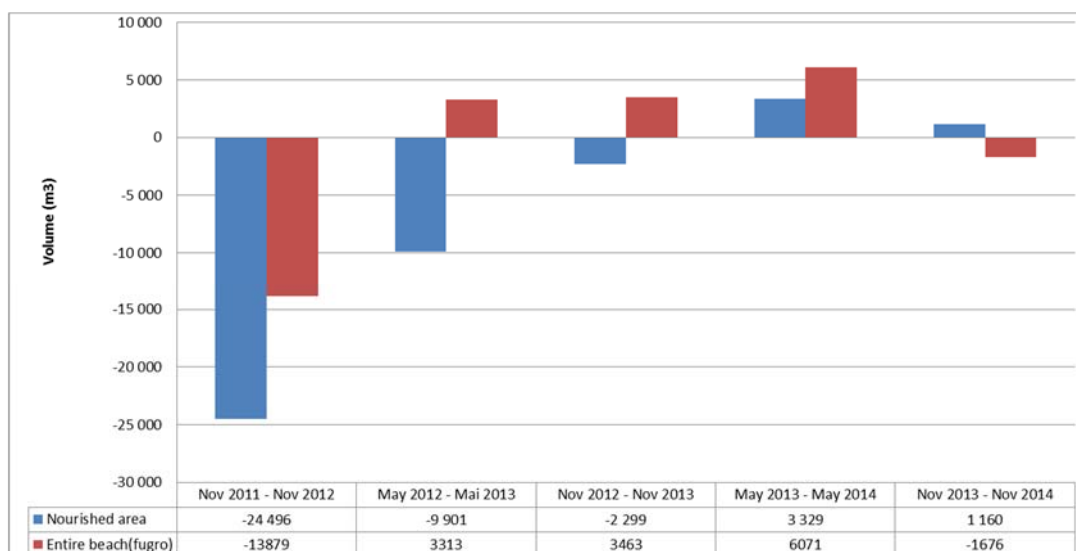


Figure 8. Calculs du volume de déplacement du sable dans la zone projet, (en bleu).

Juste avant la mise en place du système, la zone projet avait perdu plus de -3 500 m³ au cours des 6 mois de l'été 2011. En été 2013, la plage a gagné +8 846 m³ et sur la même période en 2014, la plage a gagné +6 678 m³.

Bien que les calculs ne prennent pas l'entièreté de la longueur des levés, on note sur les profils bruts (profils 2, 4 figure 9) qu'une partie des volumes perdus en milieu de plage se retrouvent dans les bancs notamment dans la première barre d'avant-plage et probablement plus loin au large.

3.2.2 Profils

La première année (nov-2011 - nov-2012), les profils des plages (figure 9) montrent un recul qui s'étend du nord au sud. En effet, le profil 7, au nord de Burj Al Arab, a observé

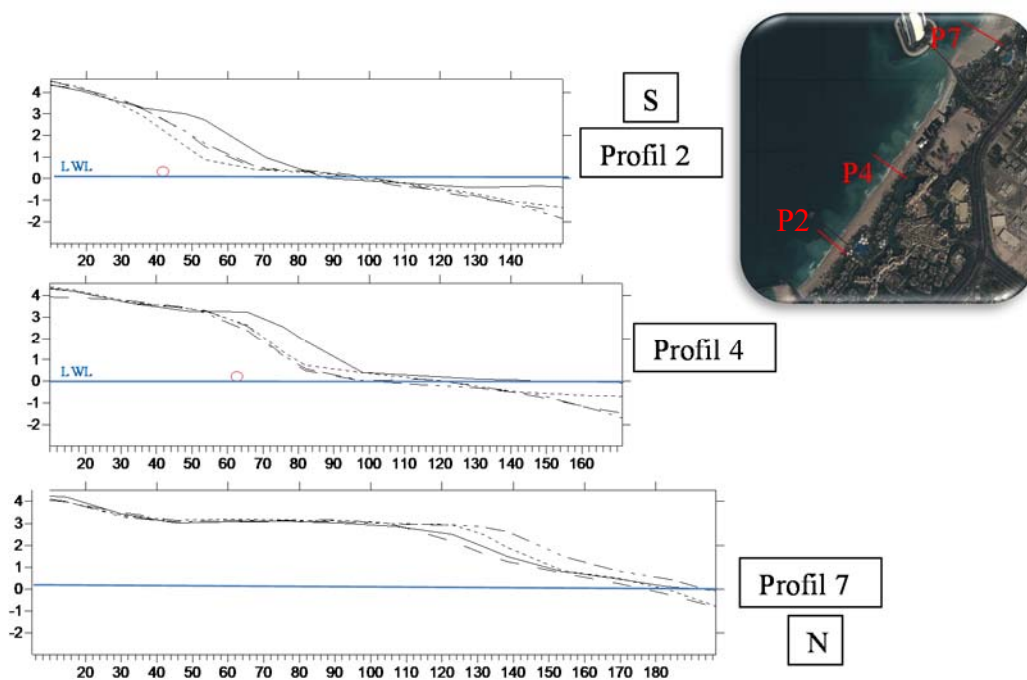
Thème 6 – Gestion durable des zones littorales et estuariennes

un recul de 4m dans la zone de déferlement, tandis que le profil 2, au sud, a observé un recul jusqu'à 12m.

La deuxième année (nov-2012 - nov-2013), Le recul se fait plus lentement (-6m/profil 2) que la première année en amont du Burj Al Arab, tandis que l'accumulation de sédiments a élargi (+17m/profil 7), la plage en aval de l'île.

La troisième année (novembre 2013 - novembre 2014), l'arrière-plage est stable. La crête de la berme progresse de 10m au nord à 20m au sud. Sauf au centre de la plage (profil 2) où la crête de plage continue à reculer de moins de 1m.

De novembre 2011 à novembre 2014, au sud de la Burj Al Arab, la crête de plage recule jusqu'à 12m sur le profil 2 et 10m sur le profil 4. Avant la mise en place du système Ecoplage®, le recul annuel était d'environ 12m/an sur le profil 2 et d'environ 5m/an vers le nord sur le profil 4. Le recul de la crête de la plage a été réduit de 3 (300%) vers le sud et d'un tiers au milieu de la plage sud. Au nord de la Burj Al Arab, la plage est jusqu'à 16m plus large en 2014 qu'en 2011. L'arrière plage reste stable pendant ces 3 années. De novembre 2011 à novembre 2014, malgré les variations de largeur, l'arrière-plage, le rivage et l'avant-plage ont conservé la même pente.



4. Conclusion

Les résultats de 3 ans de suivi de la plage, après la combinaison d'un système de drainage et d'un rechargement, ont permis de vérifier les objectifs attendus du projet. Avant la réalisation, compte tenu de la forte érosion qui se produit, on espérait que l'érosion soit réduite d'un tiers, en passant d'un bilan de -30000 m³/an à -20000 m³/an.

En 3 ans, la plage a perdu environ le même volume qu'elle perdait en un an avant la mise en place du système Ecoplage®. 67% de la perte est observée la première année, en raison du rééquilibrage habituel après le rechargement. De plus le volume perdu correspond au volume tampon prévu.

L'ensemble de la plage semble être stable comme une cellule fermée, de l'épi sud à la digue du port de plaisance. La partie nord qui s'engraisse, compense l'érosion de la plage sud par un back-pass mécanique. Il n'est plus nécessaire de fournir des sédiments externes. Le premier back-pass a eu lieu en octobre 2014, puis 2 autres, de 14 000 m³ en juillet 2016 et 12 000 m³ en août 2018. En 2020 la plage n'a toujours pas été rechargée.

L'économie générée par la réduction des rechargements a permis d'obtenir un retour sur investissement très rapide de l'installation du système. En effet, autrefois les opérations de rechargement coutaient environ 2 millions US\$ (comme en 2011) car cela nécessitait des apports externes. Aujourd'hui l'installation du système Ecoplage® qui a coûté aussi la même somme a réduit les rechargements à 300 000 US\$ maximum par opération.

C'est pourquoi le maître d'ouvrage considère que le projet a largement dépassé les objectifs attendus.

5. Références bibliographiques

BAIN O., TOULEC R., COMBAUD A., VILLEMAGNE G., BARRIER P. (2016). *Five years of beach drainage survey on a macrotidal beach (Quend-Plage, northern France)*, Comptes Rendus Geoscience, Vol. 348(6), pp 411-421. <https://doi.org/10.1016/j.crte.2016.04.003>

BALLAY A. (2011). *Design study final report for Madinat Jumeirah*, Ecoplage, 129 p.

SANLAVILLE P., DALONGEVILLE R. (2005). *L'évolution des espaces littoraux du golfe Persique et du golfe d'Oman depuis la phase finale de la transgression post-glaciaire*. Paléorient, Vol. 31(1), pp 9-26.

EMMIT C J. (2010). *Madinat Jumeirah beach drainage system, Peer Review feasibility study october 2010*, Halcrow, 56 p.

FATTAL P., WALKER P. (2008). *Le drainage de plage : une méthode douce de stabilisation d'un littoral meuble – Etude de cas aux Sables d'Olonne (Vendée)*. Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil, Sophia Antipolis, pp 243-252. <https://doi.org/10.5150/jngcgc.2008.023-F>

MANGOR K., MOCKE G., GIARRUSSO C., SMIT F., BLOCH R., FUCHS J., LUMBORG U., NIEMANN S.L. (2008). *Shoreline management of the Dubai coast*, COPEDEC VII, Dubai, UAE, n°M-15, 20 p.

Thème 6 – Gestion durable des zones littorales et estuariennes

- Mc CALL R.T. (2009). *Madinat beach measures, interim results wave modelling*. Deltares, 13 p.
- Mc FALL B. (2019). *The Relationship between Beach Grain Size and Intertidal Beach Face Slope*. Journal of Coastal Research. <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-19-00004.1>
- SMIT F., MOCKE G.P., AL ZAHED K. (2005). *Quantifying and managing the coastal response to major offshore developments in Dubai*. Proceedings of coastal zone 05, New Orleans, USA, 6 p.
- TURNER I.L., LEATHERMAN S.P. (1997). *Beach dewatering as soft engineering solution to coastal erosion: a history and critical review*. Journal of coastal research, 13 (4), pp. 1050-1063. <https://www.jstor.org/stable/4298714>
- VESTERBY H. (1995). *Beach face dewatering – The eco-friendly approach to coastal restoration*. COPEDEC IV, September 1995, Rio de Janeiro, Brésil, 14 p.
- VROEG J.H. (2009). *Madinat beach measures - task1 – Design advice for emergency measures*. Deltares, 14 p.