



Le projet Enerplage[®] : l'optimisation du système de drainage pour la lutte anti-érosion et la production d'eau douce et de chaleur

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 :

Le système de drainage de plage Ecoplage[®] nécessite des travaux de génie civil importants qui rendent le système moins approprié économiquement pour les très petites plages appelées "plages de poche". Le principe de drainage de plage leur est néanmoins tout aussi adapté comme procédé de lutte contre l'érosion. L'eau recueillie par le système peut être utilisée dans diverses activités comme la production d'eau douce ou de chaleur. Les objectifs de ce projet baptisé Enerplage[®] étaient donc de construire un prototype d'un mini système de drainage en taille réelle et d'en suivre l'efficacité sur le rabattement de la nappe et l'évolution sédimentaire, de tester la combinaison avec une unité de dessalement pour la production d'eau douce et enfin de tester le couplage avec une unité de production de chaleur.

Pendant l'été 2013, ECOPLAGE a mis en œuvre et suivi ce prototype Enerplage[®] sur la plage de Saint-Gilles-Croix-de-Vie (85). L'expérience a fourni des données sur la capacité réelle du système à produire l'eau de mer filtrée pour alimenter une unité de dessalement et une installation de production de chaleur tout en mesurant son efficacité sur le rabattement de la nappe de plage et son effet sur la topographie de la plage.

Mots-clés : Ecoplage[®], Enerplage[®], Plage, Drainage de plage, Erosion, Dessalement, Eau douce, Pompe à chaleur, Plage de poche.

1. Introduction

Les plages sableuses sont particulièrement touchées par l'érosion, dans le monde 70% d'entre elles subissent ce phénomène (PASKOFF & CLUS-AUBY, 2007).

Face aux risques d'érosion, une alternative de défense contre la mer est proposée :

- les méthodes de protection "dures" : réalisation d'ouvrage (épis, digues...)
- les méthodes de protection "douces" : rechargement, drainage de plage

Les risques d'érosion sont d'autant plus inquiétants que le littoral représente une zone d'intérêt et d'attractivité économique de plus en plus importante. Cette pression entraîne de nouveaux problèmes et besoins notamment pour l'approvisionnement en eau potable et en énergie.

Thème 5 – Énergies et ressources marines

1.1 Le système de drainage : Ecoplage®

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

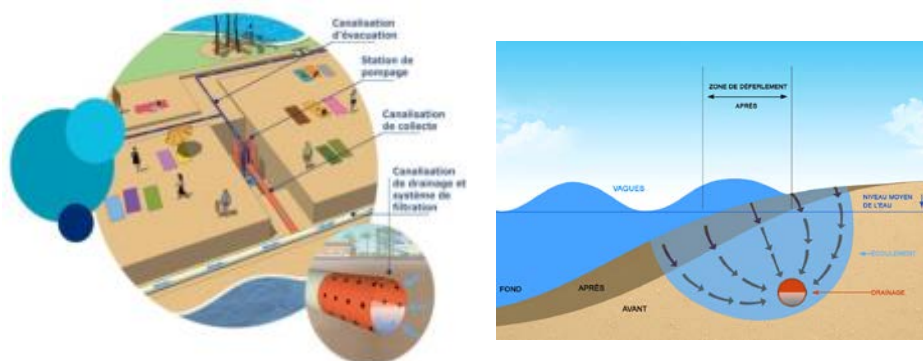


Figure 1. Système (gauche) et principe (droite) du drainage Ecoplage®.

Le rabattement de nappe crée 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 (FATTAL & PACAUD, 2005).

1.2 Projet Enerplage®

Le système Ecoplage® actuel nécessite des travaux de génie civil importants pour l'installation de la station de pompage. Ces travaux rendent le système difficilement et moins économiquement approprié aux très petites plages. Néanmoins, le principe reste adapté à ces plages comme procédé de lutte contre l'érosion. La création d'un mini-Ecoplage® permettra de proposer cette solution pour les plages de poches.

En plus de sa capacité à lutter contre l'érosion, le système recueille une quantité importante d'eau filtrée à travers le sable de la plage. Cette ressource peut être valorisée en l'utilisant pour la production d'eau douce et de chaleur.

ECOPLAGE a décidé de développer un projet, Enerplage®, avec les objectifs suivants :

- Tester un prototype d'un mini-système de drainage (40 m)
- Tester la combinaison avec une unité de dessalement pour la production d'eau douce
- Tester le couplage avec une unité de production de chaleur ou de froid

L'objectif de cet article est de présenter le projet ainsi que les résultats obtenus.

1.3 Contexte de la plage de Saint-Gilles-Croix-de-Vie

Le site choisi pour la réalisation d'un prototype répondant aux 3 objectifs du projet Enerplage® est celui de la Grande Plage de Saint-Gilles-Croix-de-Vie (St-Gilles, 85).



Figure 2. Cellule sédimentaire de Saint-Gilles-Croix-de-Vie (Google Earth).

La plage, orientée sud-ouest (SO), s'étend linéairement depuis le port vers le sud, au pied d'un cordon dunaire. Ce cordon est interrompu par une zone urbanisée de 1000 m. La côte vendéenne est soumise aux marées de type semi-diurne, avec un marnage pour St-Gilles de 2,15 m en morte-eau et de 5,95 m en vive-eau. La largeur de son estran varie de moins de 20 m à marée haute à presque 200 m à marée basse. Lors de forts coefficients, il ne reste plus de plage sèche à marée haute.

La pente de la plage est d'environ 1/20 sur les 40 m du haut de plage puis tend vers 1/150 en bas de plage. En milieu et bas de plage, on observe deux bâches saturées en eau. De manière générale, les houles sont issues des secteurs ouest à sud-ouest (LE CORNEC *et al.*, 2008). Le transit sédimentaire porte vers le sud. Il est de 50000 à 100000 m³/an dans la partie nord de la grande plage de St-Gilles (LE CORNEC *et al.*, 2008). Avant l'urbanisation du trait de côte, les échanges sédimentaires entre les dunes et la plage étaient permanents. Les constructions sur la dune ont stoppé ces échanges et favorisé un abaissement du niveau de l'estran et un recul de part et d'autre des ouvrages. Au sud de la partie urbanisée, un épi en géotextile a été implanté perpendiculairement au trait de côte en haut de plage. Cette partie du site est caractérisée par une érosion d'environ 1 m/an qui se traduit à la fois par le recul du pied de dune, la création d'une falaise d'érosion et l'abaissement de l'estran sableux. C'est cette zone qui a été choisie pour installer le prototype. Un des éléments favorisant ce choix est la présence de douches de plage, en haut de la calle sud d'accès à la plage, qui peuvent être alimentées en eau douce et chaude par Enerplage®.

Des sondages de reconnaissance géologiques ont été effectués. Les couches géologiques rencontrées sont les suivantes :

Thème 5 – Énergies et ressources marines

- Une couche sableuse superficielle constituée de sédiments moyens à grossiers et dont l'épaisseur varie de plus de 1,50 m à moins de 0,50 m. le coefficient de perméabilité est de $k=4 \times 10^{-3}$ m/s.
- Une couche argileuse située sous la couche sableuse bloquant l'infiltration de l'eau plus en profondeur.

2. Matériel et méthodes

2.1 Mini-ecoplage

La pose du prototype a été effectuée du 15 au 30 juin 2013.

Situés à environ 20 m des enrochements de la cale, les drains dirigent l'eau recueillie vers un puits collecteur central situé entre les deux drains. L'eau est pompée dans ce collecteur à l'aide d'une pompe émergée, située dans le conteneur servant de local technique. Ce dernier est placé sur la cale, près du poste de secours. La pompe se trouve donc au-dessus du niveau du collecteur. C'est la première fois qu'un système de drainage n'utilise pas de pompe immergée ce qui évite la réalisation d'un poste de pompage profond nécessitant des travaux de génie civil importants et onéreux.

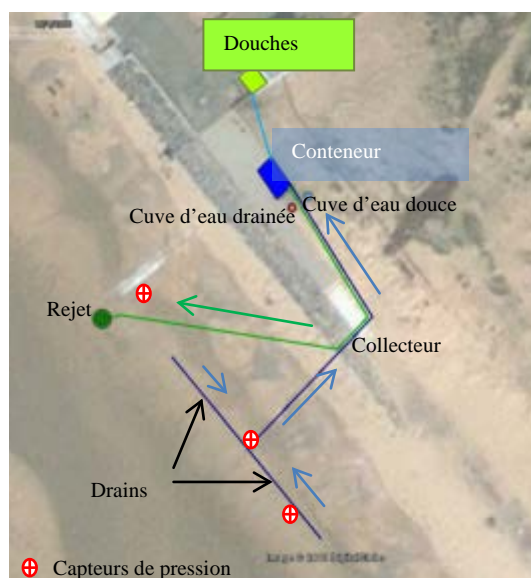


Figure 3. Système Enerplage® sur la plage de Saint-Gilles-Croix-de-Vie.

La perméabilité de la plage permet d'estimer la production d'eau recueillie par le système de drainage : $1 \text{ m}^3/\text{h}/\text{ml}$. Le système mesurant 40 m, la production est estimée à $40 \text{ m}^3/\text{h}$ à marée haute. La pompe choisie est à débit variable de 20 à $50 \text{ m}^3/\text{h}$.

Afin de mesurer l'efficacité sur le rabattement de la nappe de plage, des capteurs de pression ont été mis en place à 3 endroits :

- Dans le collecteur central. Relié à la pompe, il permet de contrôler le débit de la pompe en fonction du niveau d'eau dans le collecteur central.
- Dans la zone de drainage. Ce piézomètre permet de voir l'influence des drains et du pompage sur la hauteur de la nappe dans la zone.
- Hors de la zone d'influence des drains. Cet autre capteur sert de "marégraphe", afin de pouvoir comparer les données des deux autres capteurs aux valeurs d'une zone sans aucune influence.

Des relevés topographiques ont été réalisés une fois par mois afin d'observer l'évolution morphologique de la plage sous l'influence du système de drainage.

2.2 Dessalement

L'eau recueillie par le drainage est stockée dans une cuve d'eau de mer. Cette eau est filtrée par la plage et le massif filtrant autour des drains. Un des autres objectifs du projet est de tester la combinaison d'un système de drainage avec une unité de dessalement pour produire de l'eau douce grâce à l'osmose inverse. L'osmose inverse est un système de filtration par membrane semi-sélective, qui laisse uniquement passer les molécules d'eau pure. L'eau de mer s'écoule et se divise au niveau de la membrane : une partie passe au travers (molécules d'eau pure) et le reste, qui ne passe pas la membrane, contient les particules retenues par la membrane (eau saumâtre). L'osmose inverse permet une séparation en phase liquide à l'inverse du gradient osmotique grâce à un effet de pression supérieure à la pression osmotique. L'eau brute fournie par le système est donc osmosée et alimente une cuve tampon. La faible quantité d'eau saumâtre rejetée est alors diluée dans la cuve d'eau de mer. Des analyses d'eau ont été réalisées à différents points du circuit afin de voir l'évolution des éléments mesurés (microbiologie, métaux, salinité ...) en fonction des paramètres naturels et/ou réglages, à chaque point de prélèvement.

2.3 Production de chaleur

Un des buts du projet est de pouvoir alimenter les douches en eau douce, chauffée par un système de pompe à chaleur utilisant la puissance calorifique de la mer. La pompe à chaleur est un système thermodynamique permettant le transfert d'une certaine quantité de chaleur d'un premier fluide (de température moyenne à basse) à un second de température plus élevée. Le transfert s'effectue à travers un fluide calorifique contenu dans un circuit fermé.

Ici, il s'agit de prendre des calories de l'eau de mer pour les transmettre à de l'eau douce, jusqu'à ce que cette dernière atteigne 55 °C. Cette eau douce chaude est ensuite mélangée avec de l'eau froide pour fournir de l'eau à 28 °C aux douches de plage.

Ce transfert nécessite l'apport d'une énergie électrique. L'énergie calorifique fournie sur une période de temps, sera comparée à l'énergie électrique nécessaire à la production de la même quantité de chaleur.

3. Résultats et discussion

3.1 Influence du drainage de plage

3.1.1 Rabattement de la nappe

Les capteurs de pression ont enregistré les niveaux d'eau (en NGF) pendant toute la durée du suivi (2 mois).

Après un arrêt programmé du système, la mise en fonctionnement de la pompe entraîne un rabattement immédiat de la nappe (figure 4), rapidement visible sur la plage en termes d'assèchement. Sans l'effet du drainage, le niveau de la nappe dans la plage ne descend pas sous les 2,40 m NGF, hauteur correspondant à la couche d'argile. En effet celle-ci étant imperméable, l'eau s'écoule sur cette couche d'argile et ne pénètre pas plus profondément.

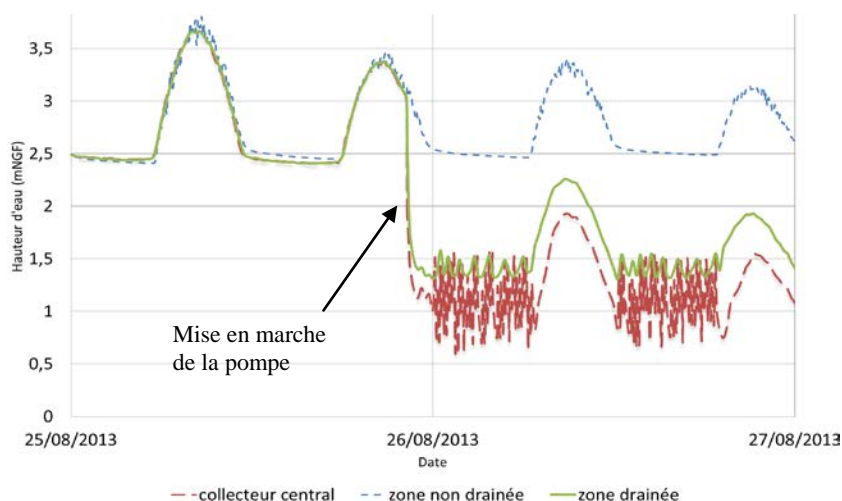


Figure 4. Niveaux de la hauteur de la surface de la nappe mesurés par les capteurs de pression lors de la mise en fonctionnement de la pompe.

Le capteur du collecteur central interrompt le pompage à un niveau bas et le redémarre à un niveau haut. Ceci explique les variations du niveau d'eau dans le collecteur et dans la zone de drainage, d'environ 20 cm. A marée haute, les pompes fonctionnent sans interruption. Le rabattement mesuré est de l'ordre de 1m (figure 5). Malgré cette différence, le milieu n'est pas désaturé lorsque le niveau de la nappe dépasse 2,8 m NGF. Le rabattement de la nappe redevient efficace lorsque la nappe atteint le niveau 1,5 m NGF dans la zone drainée. Le niveau de la nappe est rabattu, la plage est asséchée, même sous le swash. A marée basse, les écoulements de la nappe observés en surface sans drainage ont disparu dans la zone des drains, ce qui évite l'érosion des sédiments par lessivage. La plage plus sèche facilite aussi le transport éolien. Les vents

ont une dominante d'ouest, comprise entre 230 et 340°, pendant 35 à 50% du temps, principalement de mai à décembre (FATTAL & WALKER, 2008). Cette direction entraîne les sédiments vers le haut de la plage et les dunes.

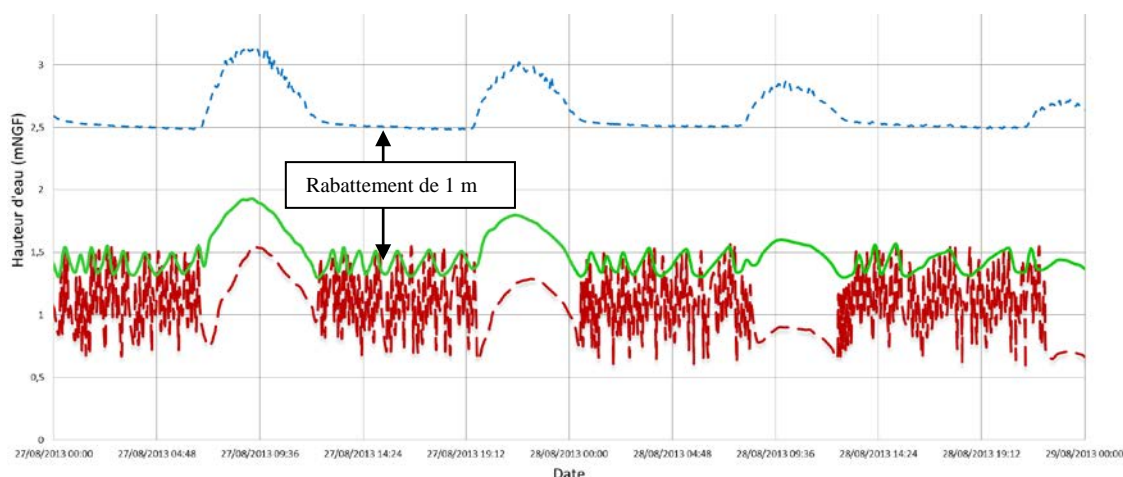


Figure 5. Niveaux d'eau enregistrés par les capteurs dans et hors de la zone de drainage, sur plusieurs cycles de marée.

3.1.2 Evolution topographique de la plage

Le fonctionnement naturel de la plage, observé en juillet, montre des changements rapides de morphologie (déplacement barres, bâches, mamelons) d'une marée sur l'autre. Le système de drainage Enerplage a été mis en fonctionnement continu à partir du 13 août 2013.

Sur le mois d'août, malgré un fonctionnement partiel (15 derniers jours), 674 m³ de sédiments ont été gagnés sur la zone d'étude (pointillés – figure 6). Ce gain est en majorité localisé à quelques mètres des drains vers le bas de la plage (jusque +0,70 m de hauteur), là où en juillet il y avait une bâche. Cette accumulation forme une petite barre. Cette accréation combinée au rejet d'eau a entraîné un écoulement préférentiel vers les drains créant un affouillement de 30cm. La bâche s'est déplacée au-dessus des drains.

Lors du mois de septembre, le drainage est continu. Un gain de 496 m³ est observé sur la zone d'étude (pointillés). Ce gain de sédiments se concentre principalement au niveau des drains, où le niveau de la plage augmente de 0,70 m. La bâche formée le mois précédent a été asséchée puis naturellement comblée. La barre précédemment formée en août a disparu. Le profil de la plage retrouve une forme naturelle, ce qui permet l'écoulement de l'eau du rejet vers le bas de la plage et non plus vers les drains.

Sur les 2 mois de fonctionnement continu du système (août, septembre), c'est 1058 m³ de sédiments qui ont été gagnés sur la zone étudiée malgré la petite taille du système et la très courte période d'activité.

Thème 5 – Énergies et ressources marines

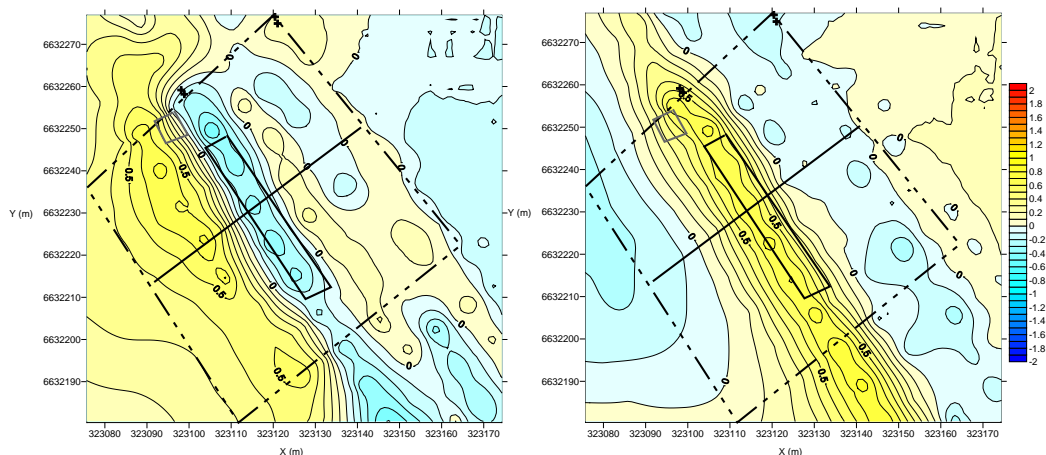


Figure 6. Variations du niveau de la plage de St-Gilles du 02/08 au 02/09 (gauche) et du 02/09 au 04/10 (droite) - La zone de calcul (cadre pointillé), le profil (trait plein), la zone des drains (cadre noir), épi (Zone grisée), le rejet (carré plein) – Lambert 93.

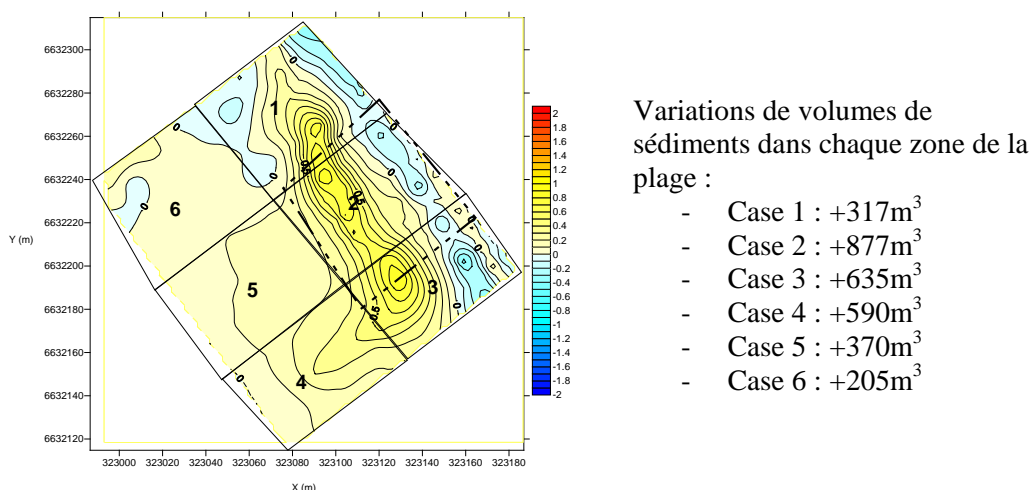


Figure 7. Variations du niveau de la plage de S-Gilles du 02/08 au 04/10 (gauche) et des volumes (droite) - La zone d'étude (cadre pointillé) – Lambert 93.

On observe dans la case 2, où se situent les drains, un gain de sédiments plus important que dans les autres zones. On observe dans les cases 3 et 4 un gain de sédiments supérieur à 550 m³, tandis que dans les cases 1, 5 et 6, le gain ne dépasse pas les 370 m³. Cela s'explique par l'effet du vent majoritairement de direction SE, sur une plage asséchée par le drainage.

Le profil (figure 8) montre que le niveau de la plage a augmenté de 0,20 m en haut de plage et de presque 1m en bas de plage. En milieu de plage, la hauteur reste constante.

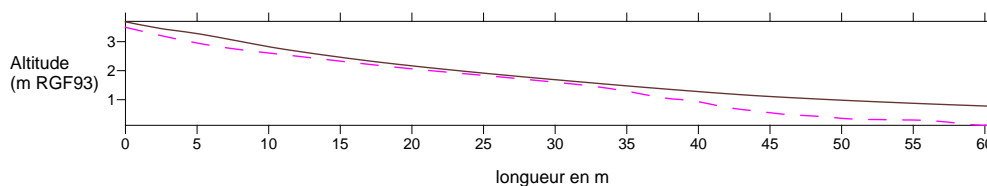


Figure 8. Evolution du profil de la plage de Saint-Gilles-Croix-de-Vie entre le 25/06 (tirets) et le 04/10 (trait plein) 2013.

3.2 Production d'eau douce

La surface d'action d'un système de drainage de 40 m est comprise entre 800 et 1600 m². Pour un débit maximum de 50 m³/h, la vitesse de filtration est comprise entre 500 et 1000 m³/h/ha. Le drainage a alors une véritable efficacité sur la turbidité et le SDI (Silt Density Index). La turbidité est diminuée de plus de 90% et le SDI de 31%. L'eau est particulièrement bien filtrée. Tout au long de l'expérience, la pression de l'osmoseur n'a pas varié, ce qui indique le non encrassement des membranes. Par contre le drainage n'a aucune influence sur les caractères physico-chimiques de l'eau.

L'osmoseur a une capacité de 90 l/h de production d'eau douce. Il faut prévoir 3 m³ d'eau de mer pour la production d'1 m³ d'eau douce. Le prototype, produisait entre 20 et 50 m³/h d'eau drainée, soit de 6 à 16 m³/h d'eau douce.

Des analyses d'eau ont été effectuées en différents points du système.

L'eau douce produite correspond aux normes françaises en vigueur pour la production d'eau potable.

3.3 Production de chaleur

La pompe à chaleur combinée à la station de dessalement, a permis de fournir de l'eau douce aux douches à 28 °C en moyenne à partir d'une eau de mer à 18 °C.

Pour deux semaines de fonctionnement, la pompe à chaleur consomme 174 kWh d'électricité pour la production d'environ 57 m³ d'eau à 28 °C. Ce qui correspond à l'équivalent de la production d'eau sanitaire de même température de 661 kWh.

Le coefficient de performance de la pompe à chaleur est de 3,9 ce qui représente une légère amélioration du coefficient théorique de l'appareil qui est de 3,8.

4. Conclusion

L'effet du drainage sur un mois et demi est positif sur le profil de la plage malgré la petite taille du système (40 m) et l'effet de la position inadaptée du rejet. Le prototype ayant été mis en place en été, le gain de sédiment, naturel en cette saison propice à l'accrétion, est visible sur toute la plage. Cependant, sur la zone drainée, le gain est notablement plus important.

La nappe est rabattue efficacement à partir d'un certain seuil correspondant à la fois à la profondeur d'installation des drains et au débit de drainage que le milieu contraint.

Thème 5 – Énergies et ressources marines

La production d'eau douce à partir de l'eau de mer recueillie par le drainage de plage a été réalisée. Les paramètres mesurés démontrent la faisabilité de produire de l'eau potable à partir de cette combinaison. Considérant que le système de drainage de St-Gilles peut produire entre 0,5 et 1,2 m³/h/ml de drains. La capacité de production d'eau douce avec un tel système est comprise entre 6 et 16 m³/h. Par extension, un système tel que celui des Sables d'Olonne produisant en moyenne 500 m³/h d'eau drainée pourrait produire 160 m³/h d'eau douce, soit la consommation moyenne de 25600 habitants/jour. Sur deux semaines de fonctionnement, pour la production d'une eau à 28 °C, ce système consomme 26% de moins avec la pompe à chaleur qu'un système classique d'eau sanitaire. Si l'on considère que la puissance calorifique disponible de la mer est de 1,1 kW/m³/°C, ce serait alors 44,4 kW/°C de disponibles avec un système de la taille de celui de St-Gilles.

La faisabilité technique d'un système Enerplage® : combinaison des trois principes : drainage de plage, dessalement et production de chaleur, a été testée avec succès. Ce procédé peut permettre un retour sur investissement plus rapide pour le gestionnaire d'une plage souhaitant lutter contre l'érosion. Mais dans un second temps, il faudra, en particulier pour la production d'eau douce, faire une étude économique approfondie, afin de déterminer l'intérêt d'une telle combinaison en fonction du prix et de l'accessibilité de l'eau sur les sites souhaités.

5. Références bibliographiques

- FATTAL P., PACAUD S. (2005). *Rapport de synthèse du procédé Ecoplage sur la plage des Sables d'Olonne*. Ville des Sables d'Olonne 20 p. (hors annexes).
- 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. <http://dx.doi.org/10.5150/jngcgc.2008.023-F>
- LAMBERT A *et al.* (2007). *Lutte contre l'érosion littorale en Méditerranée : efficacité des méthodes de stabilisation par drainage de plage, le cas de la baie d'Agay (Var)*. Revue Méditerranée n° 1.2 – 2007, pp 37-49.
- LE CORNEC E, FIERE M, GRUNNET N, PEETERS P. (2008). *Etude de connaissance des phénomènes d'érosion sur le littoral vendéen*. GEOS-DHI, France, 356 p.
- PASKOFF R, CLUS-AUBY C. (2007). *L'érosion des plages, les causes, les remèdes*. Institut Océanographique Paris-Monaco, France, 184 p.
- VESTERBY H. (1995). *Beach face dewatering – The eco-friendly approach to coastal restoration*. Conférence international d'ingénierie des côtes et des ports dans les pays développés, Brésil, 14 p.