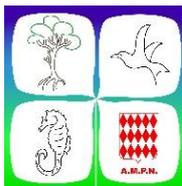




FONDATION
PRINCE ALBERT II
DE MONACO



**Immersion de récifs artificiels
réalisés avec une imprimante 3D
dans l'aire marine protégée du Larvotto
31.10.2017**

Dossier de presse

Sommaire

- **Des constats, un objectif** **p. 3**
- **La naissance du projet** **p. 4**
- **Un projet, des acteurs** **p. 5**
- **Les différentes phases du projet : du design au développement de programmes de recherche** **p. 6**
- **Phase 1 : Choix du design (2015)**
- **Phase 2 : Première impression et immersion des récifs (2015)**
- **Phase 3 : Programme de recherche sur le matériau (2015-2016)**
- **Phase 4 : Optimisation de l'imprimante 3D et impression de nouveaux récifs (2017)**
- **Phase 5 : Programme de recherche sur le biofilm (2016-2017)**
- **Phase 6 : Programme de recherche sur l'analyse de la complexité des récifs artificiels (2018-2019)**
- **Phase 7 : Suivi de la colonisation des récifs (2018-2022)**
- **Fiche technique** **p. 10**
- **Mardi 31 octobre 2017** **p. 11**
- **Contacts** **p. 12**

Les récifs artificiels réalisés avec une imprimante 3D, des outils modernes de restauration des habitats

Une première en Méditerranée

Une première au niveau mondial par la taille des récifs imprimés

Des constats, un objectif :

- La destruction des habitats, la surpêche, l'arrivée d'espèces invasives et la pollution entraînent le long des zones côtières une diminution importante de la biodiversité, notamment de la richesse en espèces.

- Les aires marines protégées permettent de préserver la diversité des espèces et des habitats. Elles constituent également de véritables laboratoires en milieu naturel pour la recherche scientifique, ce qui est particulièrement le cas pour l'aire marine protégée du Larvotto installée en milieu urbain.

- En cas de dégradation des habitats, les récifs artificiels peuvent être utilisés comme outils pour restaurer les fonds marins.

- En France et à Monaco, les premiers récifs artificiels, majoritairement fabriqués en béton, ont été immergés dans les années 70. Le nombre de récifs artificiels immergés en Méditerranée a considérablement augmenté à partir des années 2000.

- MAIS : la pauvreté et la simplicité des design des récifs artificiels actuels ne permet pas actuellement de mimer la complexité naturelle des habitats dégradés ou d'être adaptés aux sites. Par ailleurs, le béton utilisé pour leur construction n'est pas très écologique en raison de l'utilisation fréquente d'adjuvants chimiques qui risquent d'entraîner une pollution de l'environnement à travers la contamination des organismes qui se fixeront sur les récifs artificiels.

→ L'objectif du projet est de promouvoir la restauration des écosystèmes en créant des habitats pour les poissons et les macro-invertébrés grâce à des récifs artificiels mimant la complexité du milieu naturel et respectueux de l'environnement.

La naissance du projet :

En 2010, la Société Boskalis, société néerlandaise d'assistance maritime aux travaux offshore spécialisée dans les travaux de dragage, travaille sur un projet d'implantation de récifs coralliens en Jamaïque. Astrid KRAMER, ingénieur environnement, lance une étude sur les récifs artificiels et découvre un article présentant un inventeur italien, Enrico DINI, qui utilise l'impression 3D pour créer des récifs artificiels avec du sable. L'idée lui vient de réaliser des récifs avec du sable de dragage, un produit naturel plus adapté que le béton habituellement utilisé. Son projet remporte en 2014 le « Challenge de l'innovation » qui permet aux collaborateurs de la Société Boskalis de présenter des idées innovantes.

Peu de temps après, Son Altesse Sérénissime le Prince Albert II de Monaco en visite officielle aux Pays-Bas, accompagné de SEM Bernard FAUTRIER, Vice-Président de la Fondation Prince Albert II de Monaco, rencontre plusieurs industriels dont les représentants de la Société Boskalis qui présentent le concept de récifs artificiels réalisés avec une imprimante 3D. Le caractère innovant de ces récifs permet à Boskalis de mettre en place dès 2015 un projet pilote à Monaco, coordonné par Jamie LESCINSKI, ingénieur en océanographie, en partenariat avec la Fondation Prince Albert II de Monaco et l'Association Monégasque pour la Protection de la Nature (AMPN), gestionnaire des aires marines protégées de Monaco à qui revient le soin de mettre en œuvre ce projet dans l'aire marine protégée du Larvotto.

Un projet, des acteurs :

- La Société Boskalis, porteur du projet
 - La Société D-Shape, concepteur de l'imprimante 3D
 - L'Association Monégasque pour la Protection de la Nature, gestionnaire des aires marines protégées de Monaco
 - Le laboratoire ECOMERS « Ecosystèmes côtiers marins et réponses aux stress » (Université Nice Sophia Antipolis ; CNRS)
 - L'unité mixte de recherche BOREA « Biologie des organismes et écosystèmes aquatiques » (Muséum national d'Histoire naturelle Paris ; Université Pierre et Marie Curie ; Institut de Recherche pour le Développement ; CNRS ; Université de Caen Normandie ; Université des Antilles)
- Il s'agit donc d'un projet multi-acteurs mais aussi multidisciplinaire regroupant des gestionnaires, des experts en écologie marine, des instituts de recherche, des experts en conception de récifs et en impression 3D.**
- Une initiative soutenue par la Fondation Prince Albert II de Monaco qui favorise les projets innovants et s'implique fortement dans le développement des aires marines protégées de par le monde.**

Les différentes phases du projet : du design au développement de programmes de recherche

Phase 1 : Choix du design (2015)

Grâce à l'aide du Professeur Patrice FRANCOUR (Laboratoire ECOMERS), spécialiste des populations de poissons et des récifs artificiels, le design des récifs a été imaginé en concertation avec l'AMPN. Les récifs ont été pensés de manière à reconstituer les habitats spécifiques d'espèces patrimoniales comme les mérous, les poulpes et les langoustes. Le recours à une impression 3D permet alors d'envisager un design complexe, proche de celui des habitats naturels.

→ Un design proche de la complexité du milieu naturel favorisant la colonisation des récifs artificiels par différentes espèces.

Phase 2 : Première impression et immersion des récifs (2015)

6 récifs expérimentaux ont été imprimés et immergés provisoirement à Monaco dans le port Hercule en Juillet 2015. Le contrôle de ces récifs par le laboratoire ECOMERS et l'AMPN avant leur transfert pour le Larvotto a révélé la présence de nombreuses fissures, processus irréversible qui a conduit progressivement à la destruction des récifs.

La Société Boskalis a lancé une campagne d'investigation pour déterminer les causes de cette dégradation. Parallèlement, un programme de recherche a été mis en place afin d'améliorer le processus d'impression des récifs. Ces investigations ont été conduites par Jamie LESCINSKI en étroite collaboration avec le département R & D de Boskalis.

→ Une phase expérimentale révélant la nécessité d'accroître le temps de séchage des récifs en raison de leur forte épaisseur, de modifier le processus d'impression et d'améliorer le matériau utilisé.

Phase 3 : Programme de recherche sur le matériau (2015-2016)

La Société Boskalis a lancé un programme de recherche avec les Universités de Eindhoven et de Delft aux Pays-Bas ainsi qu'avec le groupe industriel autrichien RHI afin d'optimiser le matériau utilisé pour l'impression des récifs. Ce matériau, à base de sable de Dolomite, devait répondre à plusieurs exigences : être résistant à l'eau, suffisamment solide et compatible avec la technologie de l'impression 3D, n'avoir aucun impact sur le milieu marin, être capable de "sécher" en quelques semaines après l'impression. De nombreux tests de résistance à la pression et à la flexion ont également été effectués afin de garantir la tenue future des récifs en milieu marin.

→ Un produit naturel, le sable de Dolomite, auquel est ajouté un liant, la cendre volcanique, permettant d'obtenir un matériau résistant après impression.

Phase 4 : Optimisation de l'imprimante 3D et impression de nouveaux récifs (2017)

Initialement localisée en Italie, l'imprimante 3D a été transférée aux Pays-Bas afin de faciliter les expérimentations. Jamie LESCINSKI, Enrico DINI (le concepteur de l'imprimante) et l'équipe de R & D de Boskalis ont adapté l'imprimante au nouveau matériau utilisé.

De nombreux tests ont été effectués pour garantir la fiabilité du processus d'impression et vérifier que le matériau utilisé soit compatible avec l'imprimante 3D.

→ **Une imprimante parfaitement adaptée au matériau utilisé.**

Phase 5 : Programme de recherche sur le biofilm (2016-2017)

Ce programme a été lancé par le Professeur Patrice FRANCOUR (Laboratoire ECOMERS) en collaboration avec deux chercheurs Cédric HUBAS et Dominique LAMY (Unité mixte de recherche BOREA) à travers le travail de Master et de Doctorat de Elisabeth RIERA.

L'objectif de ce programme est de déterminer le lien entre la qualité du biofilm et le substrat en comparant la colonisation sur différents types de substrats (sable de Dolomite, roche naturelle et surtout béton, le produit normalement utilisé pour fabriquer les récifs artificiels).

Aucune étude ne s'était intéressée auparavant à comparer le biofilm sur les différents matériaux utilisés pour la construction des récifs, que cela soit d'un point de vue biochimique ou biologique. Ces connaissances sont toutefois indispensables dans le choix de tel ou tel matériau.

Les résultats permettront de mettre en évidence quels sont les substrats les plus favorables à l'établissement des communautés de micro-organismes du biofilm afin de favoriser la colonisation ultérieure par la faune et la flore.

Le biofilm est important à étudier. En effet, les micro-organismes comme les bactéries ou les eucaryotes unicellulaires sont les premiers à coloniser un nouveau substrat immergé. Ils sécrètent des substances extracellulaires qui forment une fine couche à la surface du substrat; l'ensemble, micro-organismes et substances sécrétées, constitue le biofilm. Ce biofilm est nécessaire à la colonisation ultérieure par les spores d'algues et les larves de macro-invertébrés (le macrofouling). La qualité et la richesse du biofilm constituent donc des éléments déterminants pour la colonisation ultérieure d'un récif artificiel.

Des expérimentations se sont déroulées en 2016 et en 2017, sur 2 sites (AMP du Larvotto et de Roquebrune Cap Martin), afin de comparer la colonisation du biofilm sur des échantillons des 3 substrats (sable de Dolomite, roche naturelle et béton). Les premiers résultats montrent que les communautés microbiennes sont plus abondantes et plus diversifiées sur la roche naturelle et le sable de Dolomite que sur le béton. Par ailleurs, les communautés se développant sur le béton sécrètent davantage de sucre, ce qui pourrait traduire une activité de protection de la communauté pour lutter contre des agents nocifs (sans doute les adjuvants utilisés dans la fabrication du béton). Des analyses sont actuellement en cours pour chercher si le taux de polluants (métaux lourds en particulier) est plus important dans le biofilm se développant sur le béton.

En complément à ces travaux sur le biofilm, des expérimentations lancées courant 2017 s'intéressent au développement et à la diversité du macrofouling. Elles ont pour objectif de vérifier dans le temps si la qualité du biofilm qui se développe sur le sable de Dolomite se traduit par la mise en place de communauté d'algues et d'invertébrés plus riches. Par ailleurs, elles permettront de déterminer s'il y a un transfert d'éventuels polluants depuis le substrat vers les organismes colonisateurs.

→ Le sable de Dolomite, un substrat a priori plus favorable que le béton à l'établissement des communautés de micro-organismes du biofilm, pouvant favoriser la colonisation ultérieure des récifs artificiels par la faune et la flore.

Phase 6 : Programme de recherche sur l'analyse de la complexité des récifs artificiels (2018-2019)

Ce programme a également été lancé par le Professeur Patrice FRANCOUR avec Johanna BARTHELEMY (étudiante de Master) et Elisabeth RIERA (doctorante).

Son objectif est de développer une méthode pour mesurer précisément la complexité structurale des récifs artificiels. Cela permettra de comparer la complexité des nouveaux récifs imprimés avec celle de substrats naturels mais également d'établir un lien entre la complexité et l'abondance des peuplements. En d'autres termes de montrer qu'une augmentation de la complexité architecturale entraîne une augmentation de la biodiversité.

Plusieurs expériences ont été menées pour tester les effets de l'augmentation de la complexité des récifs artificiels sur les peuplements en place. Mais l'évaluation de la complexité des récifs artificiels n'a encore jamais été réalisée de façon quantitative et standardisée.

Le laboratoire ECOMERS est en train de développer une méthode de quantification facile à utiliser en plongée sous-marine en se fondant sur 2 types de mesures :

- celle de la rugosité, c'est-à-dire la mesure de la surface développée (quand la surface développée est plus large que la surface au sol, la rugosité est plus importante)
- et celle du nombre et de la diversité des cavités (plus le nombre de cavités et leur diversité sont importants, plus la complexité structurale sera élevée)

Différents indices seront développés à plusieurs échelles allant du récif unitaire au village de récifs. Les résultats seront comparés à des indices de mesure plus conventionnels.

Les connaissances acquises sur la complexité permettront de valoriser le recours à des imprimantes 3D pour l'impression de récifs artificiels.

→ L'impression 3D de récifs artificiels, un moyen d'atteindre un haut niveau de complexité et d'en faire des outils très performants de gestion des fonds en zone littorale.

Phase 7 : Suivi de la colonisation des récifs (2018-2022)

Le suivi scientifique des récifs 3D sera assuré par le laboratoire ECOMERS. En plus des études précédentes, un suivi à long terme des récifs immergés dans l'aire marine protégée du Larvotto sera mis en place. Cela permettra de suivre la colonisation progressive et naturelle des récifs (suivi des espèces animales, poissons et invertébrés, par des comptages en plongée sous-marine ou par photographie).

Toutefois, ce programme d'immersion de récifs artificiels imprimés avec une imprimante 3D se veut avant tout expérimental. Il permettra donc de tester également des techniques particulières impliquant la transplantation de certaines espèces (corail, gorgones) sur ce substrat naturel que constitue le sable de Dolomite. Une collaboration avec l'Institut Max Planck de microbiologie marine de Brême (Allemagne) est également en préparation pour adapter à la Méditerranée (fonds rocheux naturels, récifs artificiels) une nouvelle technologie de surveillance et de cartographie de la santé des fonds marins grâce à l'utilisation d'une caméra hyperspectrale immergeable.

L'expérience acquise pourra être mise au service des gestionnaires d'aires marines protégées en Méditerranée qui souhaiteraient optimiser la restauration des fonds dégradés par des activités anthropiques. Une présentation du projet et des premiers résultats a été faite par Jacqueline GAUTIER-DEBERNARDI (Directeur de l'AMPN) lors du quatrième congrès international sur les aires marines protégées qui s'est tenu au Chili en septembre 2017¹. Le caractère novateur et innovant de la technologie d'impression 3D au service de la restauration des fonds par des récifs artificiels adaptés a été accueilli avec grand intérêt par les participants.

→ Les récifs artificiels 3D, un laboratoire *in situ* pour tester les nouvelles méthodes afin d'optimiser au maximum la colonisation et le suivi des récifs artificiels.

¹ Gautier-Debernardi J., Francour P., Riera E., Dini E., Hubas C., Lamy D., Lescinski J., Tazelaar J. 2017. The 3D-printed artificial reefs, a modern tool to restore habitats in marine protected areas. The Larvotto-Monaco context. International Marine Protected Areas Congress, Chile.

Fiche technique:

- Nombre de récifs : 6

A ces 6 récifs, il faut ajouter des petits récifs expérimentaux (un quart de la taille des 6 récifs) qui pourront être utilisés pour diverses expérimentations en milieu naturel par le laboratoire ECOMERS

- Poids unitaire : 2 500 kilos

- Taille : 1,95 mètre de diamètre / 1,25 mètre de hauteur

- Volume : 1 m³ de matériau par récif / 4 m³ de volume global du récif (sa forme)

- Matériau : Sable de Dolomite + cendre volcanique

Mardi 31 octobre 2017

6h30 – 7h00 : arrivée du camion au niveau du quai de déchargement situé le long de la digue du port de Fontvieille

7h00 – 9h00 : chargement des récifs sur une barge flottante

9h30 – 11h00 : départ pour l'aire marine protégée du Larvotto et amarrage de la barge flottante

11h30 : mise à l'eau des scaphandriers et début de l'immersion des récifs au moyen d'une grue à une centaine de mètres de « l'arrondi du Sporting »

16h30 : fin de l'immersion

Contacts :

Fondation Prince Albert II de Monaco

M. Philippe MONDIELLI

pmondielli@fpa2.org

Association Monégasque pour la Protection de la Nature

Mme Jacqueline GAUTIER-DEBERNARDI

ampn.monaco@gmail.com

Société Boskalis

M. Jeroen TAZELAAR

jeroen.tazelaar@boskalis.com

Mme Jamie LESCINSKI

jamie.lescinski@boskalis.com

Société D-Shape

M. Enrico DINI

enrico.dini@d-shape.com

Laboratoire ECOMERS

Prof. Patrice FRANCOUR

francour@unice.fr