

# Fiche synthèse solutions : récifs artificiels

## Analyse des impacts potentiels et recommandations

Ces fiches ont été réalisées dans le cadre d'un stage au sein du Centre de ressources Génie écologique de l'Office français de la biodiversité (OFB) intitulé « ÉCOCONCEPTION DES SOLUTIONS UTILISÉES DANS LE CADRE DU GÉNIE ÉCOLOGIQUE » (Camille Kuntz, 2019)

Elles s'adressent à l'ensemble des acteurs impliqués dans la conception, le pilotage, le financement, la mise en œuvre et la réalisation de projets de génie écologique. Ce premier travail a vocation à être enrichi et alimenté.

### I. Milieux concernés

Les récifs artificiels sont utilisés dans la création et la restauration d'habitats dans les milieux marins et littoraux. On connaît quelques expérimentations en eaux douces (plans d'eau, canaux) ou saumâtres estuariennes.

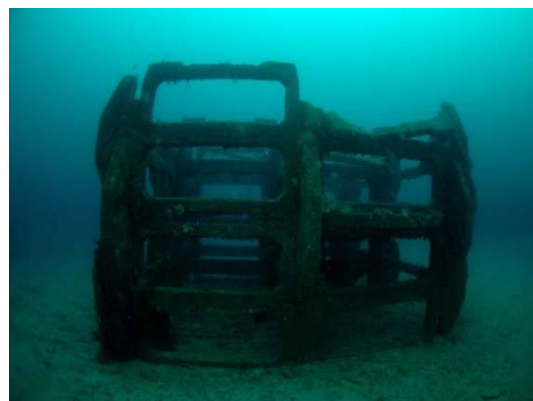
### II. Techniques utilisées et objectifs

La FAO définit les récifs artificiels (fig.1) comme « une structure immergée délibérément placée sur les fonds marins pour mimer certaines fonctions d'un récif naturel comme la protection, la régénération, la concentration et/ou l'augmentation de la population des êtres vivants marins. Cela inclut la protection et la régénération des habitats. »<sup>1</sup>

Les récifs artificiels peuvent représenter un **outil de gestion intégré du littoral** qui est soumis aux pressions anthropiques.

Les principaux objectifs des récifs artificiels sont donc :

- La **production** de ressources halieutiques ou de biomasse : on parle de récifs de production.
- La **protection** pour lutter contre le chalutage illégal : il s'agit des récifs de protection.
- un objectif **récréatif** pour la pêche ou pour la plongée sous-marine : ce sont les récifs paysagers.
- Les récifs artificiels ont aussi pour vocation de **soutenir la biodiversité**.<sup>2</sup>



© Image Andromède océanologie /  
Aaence des aires marines protégées

### III. Matériaux utilisés

Les principaux matériaux utilisés pour la fabrication des récifs artificiels sont le **béton** et l'**acier** pour former le béton armé.<sup>3</sup> Le milieu marin étant un milieu aux conditions agressives pour le béton (pH, sel, abrasion), un béton marin est utilisé, avec une composition spécifique et des propriétés particulières. La composition et la formulation des bétons marins sont normées par l'AFNOR. La durée de vie du béton est de plusieurs décennies.

Tous types de bétons peuvent être immergés, y compris du béton de construction, cela dépend du financement, du fournisseur, des maîtres d'ouvrage etc. La composition et les adjuvants peuvent donc varier légèrement.

Figure 1 - Récif artificiel de la Ciotat

L'acier est utilisé comme ossatures structurelles dans le béton armé. Facilement malléable, il peut prendre des formes variées et possède une résistance élastique élevée ce qui lui permet de supporter des tractions et des flexions fortes. Pour éviter la corrosion de l'acier, les producteurs sont obligés d'augmenter la quantité de béton autour des armatures pour éviter le contact des ions chlorure avec l'acier. Ceci implique une utilisation plus importante de ressources non renouvelables.

Les armatures en acier peuvent être remplacées par des fibres **synthétiques** comme des fibres de verre ou complètement retirées.<sup>4</sup>

La rugosité et la porosité doivent aussi être prises en compte lors du choix des matériaux ou lors de leur fabrication. En effet, le biofilm, qui servira de nourriture au **macrofouling** (différents organismes multicellulaires visible à l'œil nu comme des bernacles, des vers tubicoles ou des frondes d'algues)<sup>5</sup>, doit pouvoir se développer sur ces structures. Un **biofilm** est une communauté multicellulaire plus ou moins complexe, souvent symbiotique, de micro-organismes, adhérant entre eux et à une surface, et marquée par la sécrétion d'une matrice adhésive et protectrice. Il se forme généralement dans l'eau ou en milieu aqueux.<sup>6</sup>

Les interactions entre le substrat et le biofilm sont déterminantes : certains éléments les favorisent tandis que d'autres les inhibent. Il est nécessaire de choisir un matériau adapté pour favoriser la colonisation. Ainsi, il faut privilégier des substrats dénués d'action antifouling. Des bétons dit « **biogène** » à base de sable de coquilles de crustacés pourraient quand à eux favoriser les interactions.<sup>7</sup>

D'autres types de matériaux peuvent être utilisés dans la fabrication de récifs artificiels comme le **bois** ou le **plastique**. Dans le cas du bois, la durée de vie des ouvrages est beaucoup plus courte. Pour le plastique, la durée de vie peut aller jusqu'à une centaine d'année mais la dégradation implique le relargage d'additifs et des monomères ainsi que des micro puis nanoparticules de plastiques, impossible ensuite à récupérer et contaminant la chaîne alimentaire marine.

Enfin certaines parties des récifs sont remplies de **garnissage** qui peuvent être de différentes natures comme des pochons d'huîtres (souvent en matière plastique), des parpaings, des briques et autres. Le garnissage permet d'augmenter le rendement des récifs en augmentant le nombre d'habitats disponibles.

#### IV. Possibles impacts

L'introduction de matériel dans le milieu marin entraîne de grands risques de contamination et de pollution. Même des matériaux dit « inertes » peuvent diminuer la qualité de l'eau et introduire des effets toxiques sur l'environnement adjacent. Les impacts sur le long terme de la corrosion, du lessivage et de la dégradation chimique doivent être pris en compte. De plus, l'industrie du béton est énormément consommatrice en ressources et émet de nombreux gaz à effet de serre.<sup>8</sup>



**CHIFFRE  
CLÉ :**  
La fabrication du  
clinker est  
responsable de 8%  
des émissions

## A. Dégradation du béton

Au contact du sel marin, le béton va se dégrader en différents composants tels que l'ettringite, la brucite, la gypse ou encore la thaumasite. Certains de ces composés vont entraîner l'expansion du béton et donc vont accélérer sa dégradation. Dans les zones d'aspersion et de marnage, le chlorure de sodium subit des cycles de cristallisation-dissolution, accentuant l'écaillage de surface. Le béton peut aussi subir la lixiviation qui consiste en la mise en solution de ces constituants, ce qui conduit à une augmentation de la porosité et à une dégradation plus rapide. Il peut aussi se produire des substitutions du calcium par du magnésium dans la matrice du béton. Cette matrice est alors moins compacte et donc moins résistante.<sup>9</sup>

Le béton marin possède certaines particularités pour réduire ces phénomènes de dégradation comme une compacité qui réduit la perméabilité et la diffusivité (qualité de ce qui peut diffuser de l'énergie), une teneur en aluminates réduite ou une augmentation d'additions minérales permettant de réduire la teneur en hydroxyde de calcium : cendres volantes (déchet de la combustion du charbon), pouzzolanes, laitier de haut fourneau (sous-produit de l'élaboration de la fonte)... Certains de ces additifs contiennent des produits **cancérigènes** et **toxiques**. On peut en effet y retrouver des **métaux lourds** comme dans les cendres volantes qui contiennent du mercure.<sup>10</sup>

Lorsque le béton va se dégrader, les matériaux inertes qui le composent vont être relargués dans le milieu et il en va de même avec les **adjuvants** rajoutés à ces composants inertes lors de sa fabrication pour lui conférer ses propriétés. Ces adjuvants sont souvent des molécules organiques pouvant être toxiques. Ces molécules pourraient donc contaminer le milieu environnant. Le coefficient de dilution étant infini, l'impact semble limité, cependant, toutes ces molécules toxiques pourraient être assimilées par les organismes marins et être **bioaccumulées** tout au long de la chaîne alimentaire. En effet, le biofilm qui va coloniser les récifs et qui donc est en contact avec ces molécules, sert de nourriture au macrofouling qui se fixera ensuite. De plus, même si le coefficient de dilution est infini, la présence de certaines de ces molécules pourrait perturber l'écosystème.<sup>11</sup>

**À LIRE :**  
La fiche sur  
le béton  
marin



### **A CREUSER :**


- Quelle est la proportion d'adjuvant relarguée dans le milieu naturel ?
- Quelle est la concentration d'adjuvant pouvant être présente dans le biofilm en contact avec le béton marin ?
- Est-ce que ces adjuvants peuvent être transmis au biofilm et si oui sont-ils bioaccumulés tout au long de la chaîne alimentaire ?

La **colonisation** peut aussi avoir un impact sur la durabilité de ce matériau. Les algues utilisent des éléments tels que le calcium, la silice, le magnésium, l'aluminium, le fer et le potassium, présents dans le béton.<sup>12</sup>

## B. Dégradation de l'acier

Lorsque le béton est dégradé en raison des différentes réactions vues précédemment, les éléments agressifs, principalement les ions chlorure et le dioxyde de carbone, rentrent en contact avec l'acier des armatures. Le contact des chlorures, du dioxyde de carbone, de l'eau et de l'oxygène avec l'acier marque le début de la corrosion. Cette corrosion va entraîner la formation de rouille qui va induire un endommagement du béton. Quand l'acier s'oxyde sous l'effet de l'oxygène dissous dans le milieu marin, il libère ses éléments sous la forme oxydée la plus haute : du carbonate ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) et du fer (III). Ce fer (III) se complexe ensuite sous forme d'oxyde ferreux ( $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ) autrement dit de la rouille. L'oxyde ferreux étant un sel, il peut se dissoudre dans le milieu et donc libérer du Fe (III) qui va se complexer avec des molécules d'eau pour former du  $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$  et avec des ions chlorures pour former du chlorure de fer ( $\text{FeCl}_3$ ). Le fer est un nutriment limitant en milieu marin et son addition lors de la dégradation de l'acier peut avoir des conséquences à long terme sur les niveaux de phytoplancton.<sup>13</sup>

Les aciers inoxydables ou vont être utilisés pour limiter les effets de la corrosion. Ils sont fabriqués en ajoutant du chrome au sein de l'alliage. D'autres éléments peuvent aussi être ajoutés comme du cuivre, du zinc ou le nickel. Le chrome viendra former une couche à la surface plus ou moins épaisse en fonction de la quantité initiale protectrice sur l'acier ce qui ralentira la corrosion. Cette couche fera barrage aux ions chlorure pendant un certain temps. Toutefois, la corrosion aura finalement lieu. De plus, l'utilisation de ces éléments dans l'alliage impliquera la formation d'autres complexes comme l'oxyde de chrome. Ces oxydes sont potentiellement toxiques. Le taux de ruissellement sur le long terme, quatre ans, en chrome est de **0.5 à 2.5  $\mu\text{g L}^{-1}$** .<sup>14</sup>

 **A LIRE :**  
La fiche sur  
l'acier pour plus  
d'informations


Lorsque la galvanisation est utilisée pour lutter contre la corrosion, un dépôt de zinc est réalisé à la surface de l'acier. Le zinc joue alors le rôle d'anode sacrificielle, il se corrodera rapidement alors que l'acier sera préservé. Les produits de corrosion du zinc sont les carbonates de zinc, l'oxyde de zinc, l'hydroxyde de zinc ou encore l'hydrochlorure de zinc suivant l'environnement.<sup>15</sup> L'oxyde zinc a la mention de danger : « **Très toxique pour les organismes aquatiques, entraîne des effets néfastes à long terme** »<sup>16</sup> Il est d'ailleurs utilisé comme biocide pour les actions d'antifouling notamment.

## C. Dégradation du plastique en milieu marin

Le plastique va lui aussi se dégrader en mer sur une échelle de temps plus ou moins longue en fonction du type de plastiques utilisé. Sa dégradation va conduire à la dispersion de **micro-particules** puis de nanoparticules de plastiques qu'il sera ensuite impossible à récupérer pour recycler ou gérer comme déchets.

De plus, le plastique contient des **additifs** qui se relarguent aussi plus ou moins rapidement lors de la dégradation. Ces additifs sont souvent des molécules organiques pouvant présenter des risques de toxicité pour les organismes en contact avec ces molécules.

Enfin, ces micro-particules de plastiques servent de **support** à d'autres molécules organiques toxiques présentes dans l'océan. Lorsque ces particules sont ingérées par les êtres vivants marins, les dommages peuvent être nombreux et irréversibles.<sup>17</sup>

 **A LIRE :**  
La fiche sur le  
plastique pour  
plus  
d'informations



## A RETENIR :

- On retrouve du plastique dans les sédiments, dans la colonne d'eau, dans les tissus, le système digestif et le système respiratoire des organismes vivants.
- Les conséquences possibles de la présence de micro-plastiques dans le milieu sont l'obstruction de systèmes digestifs, des perturbations endocriniennes, la contamination de la chaîne alimentaire, la pénétration dans les organismes vivants de polluants toxiques et le transport d'agents pathogènes.

### *D. Habitats*

A l'origine, les récifs artificiels avaient pour objectif de soutenir les métiers de pêche traditionnelle. Aujourd'hui, le rôle de ces aménagements évolue, en effet, ils pourraient devenir une solution pour restaurer les milieux qui ont été impactés par les activités humaines et permettre un gain de biodiversité.

Le choix du **lieu d'implantation** est important. Par exemple, si des récifs artificiels en béton sont installés dans des zones sableuses sans substrat dur, l'écosystème déjà en place sera perturbé et un nouvel écosystème correspondant aux substrats durs s'installera. La forme du récif peut impacter leur niveau de colonisation. Des recherches sont effectuées sur la complexité des formes et l'augmentation des surfaces colonisables. Pour assurer une amélioration de la biodiversité, il est important de protéger la zone pour éviter une dégradation des récifs ou une pêche trop intensive à proximité.

Cependant, les récifs artificiels peuvent également faciliter l'introduction **d'espèces exotiques envahissantes** en fournissant un nouvel habitat pour leur implantation et en créant des corridors permettant leur dispersion et leur expansion.<sup>18</sup> Si la pêche est trop importante due à la concentration des ressources halieutiques au niveau des récifs, il y aura une **diminution des stocks** halieutiques, surtout en période de reproduction.<sup>19</sup> De plus, le pouvoir attractif des récifs artificiels peut conduire les espèces à fuir leur habitat naturel et donc à créer un **déséquilibre** dans l'écosystème.

Les récifs artificiels peuvent avoir des impacts sur les **habitats adjacents**, sur la chaîne alimentaire, sur la connectivité, sur les schémas de dispersion des larves ou encore sur l'introduction de polluants, de maladies ou de ravageur marins.<sup>19</sup> Des études approfondies doivent encore être menées sur les impacts et intérêts engendrés à plus large échelle.

La présence de récifs artificiels peut aussi impliquer la **modification des courants** de fonds ce qui entraînerait des variations de la répartition granulométrique.<sup>1</sup> Le délogement ou la destruction des structures peuvent aussi avoir des impacts sur la vie marine.

## E. Pérennité des installations

Le béton a une durée de vie proche du demi siècle en milieu marin. Les ouvrages sont installés et sont laissés sans entretien. Même si le béton est le matériau le plus stable, les installations sont donc vouées à se **dégrader**. En fonction des courants et des événements climatiques, les récifs peuvent aussi finir partiellement ou totalement **enfouis**. Par exemple à Agde, les modules de protection sont nombreux à être enfouis sous les sédiments malgré la présence de tapis anti-enfouissement pour certains.<sup>20</sup>



### **A CREUSER :**

Que deviennent les écosystèmes créés autour des récifs quand ces derniers sont totalement dégradés ?

## V. Autres procédés

La société Boskalis en Hollande associée à un ingénieur italien, Enrico Dini, expert en impression 3D, a réalisée des structures en sable de **dolomites** et cendres volcaniques avec un liant liquide à base d'algues grâce à une **imprimante 3D**. Ce procédé a permis de réaliser des courbes et des cavités plus complexes que celles du béton. Ces structures ont été immergées dans la réserve naturelle du Larvotto à Monaco.<sup>11</sup>

## VI. Coûts

Les prix dépendent de la structure immergée, s'il s'agit de matériaux de récupération, de matériaux moulés ou d'impression 3D.

Le coût total des immersions (études, travaux, suivis) s'élevait à **8,5 M€ de 1985 à 2008** pour tout le Languedoc-Roussillon avec un volume immergé de **32 000 m<sup>3</sup>**.

En 2009, les coûts les plus importants concernaient Leucate/Le-Barcarès en 2004 avec 748 €/m<sup>3</sup> immergé, et le Golfe d'Aigues-Mortes en 2006 avec **1331 €/m<sup>3</sup>**. Les coûts les plus faibles étaient de **100€/m<sup>3</sup>** à Gruissan en 2002 et 2005.<sup>21</sup>

*Relue et corrigée par Patrice Francour, professeur des Universités et directeur-adjoint du laboratoire ECOMERS.*

*Relue et corrigée par certains membres du Comité scientifique et technique du centre de ressources Génie écologique de l'Office français de la biodiversité.*

## VII. Bibliographie

1. Fabi, G., Sarcella, G. & Spagnolo, A. *Practical Guidelines for Artificial Reefs in the Mediterranean and Black Sea*. (2015).
2. AFB. *Récifs artificiels et aires marines protégées*. (2019). Available at: <http://www.aires-marines.fr/Concilier/Recifs-artificiels>.
3. Pioch, S. *Les « habitats artificiels » : élément de stratégie pour une gestion intégrée des zones côtières ? Essai de méthodologie d'aménagement en récifs artificiels adaptés à la pêche artisanale côtière*. (2008).
4. Perrot, M. *Echange téléphonique avec le dirigeant de Seaboost*. (2019).
5. International Maritime Organization. *Guidelines for the control and management of ships' biofouling to minimize the transfer of invasive aquatic species*. *Mar. Environ. Prot. Comm.* (2011).
6. Costerton, J. et al. *Minireview: biofilms, the customized microniche*. *J. Bacteriol.* **176**, 2137–2142 (1994).
7. Souche, J.-C., Le Saout, G., Salgues, M. & Pioch, S. *Effect of concrete with bio-active admixture on marine colonisation in mediterranean environment*. *Matér. Tech.* **104**, 504 (2016).
8. Shen, W. et al. *Quantifying CO2 emissions from China's cement industry*. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **50**, 1004–1012 (2015).
9. Buenfeld, N. R. & Newman, J. B. *The development and stability of surface layers on concrete exposed to sea-water*. *Cem. Concr. Res.* **16**, 721–732 (1986).
10. Research Triangle Institute. *Human and Ecological Risk Assessment of Coal Combustion Wastes*. (2007).
11. Francour, P. *Échange téléphonique avec Patrice Francour, Professeur des Université et directeur du laboratoire ECOMERS*. (2019).
12. Javaherdashti, R., Nikraz, H., Borowitzka, M., Moheimani, N. & Olivia, M. *On the impact of Algae on accelerating the biodeterioration/biocorrosion of reinforced concrete: A mechanistic review*. *Eur J Sci Res* **3**, 394–406 (2009).
13. Martin, J. & Fitwater, S. *Iron deficiency limits phytoplankton growth in the north-east Pacific subarctic*. *Nature* **331**, 341–343 (1998).
14. Bertling, S. *Corrosion-induced metal runoff from external constructions and its environmental interaction. - A combined field and laboratory investigation of Zn, Cu, Cr and Ni for risk assessment*. (Royal institute of technology, 2005).
15. Lefevre, B. *Corrosion des aciers revetus de zinc dans les zones confinées des carrosseries automobiles*. (Pierre et Marie Curie - Paris VI, 2007).
16. SigmaAldrich. *Fiche de données de sécurité - Oxyde de zinc*. (2019).
17. Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C. & Galloway, T. *Microplastics as contaminants in the marine environment: A review*. *Mar. Pollut. Bull.* **62**, 2588–2597 (2011).
18. Glasby, T., Connell, S. D., Holloway, M. G. & Hewitt, C. L. *Nonindigenous biota on artificial structures: could habitat creation facilitate biological invasions?* *Mar Biol* **151**, 887–895 (2007).
19. Pears, R. J., Williams, D. M. & CRC Reef Research Centre. *Potential effects of artificial reefs on the Great Barrier Reef: background paper*. (CRC Reef Research Centre, 2005).
20. Blouet, S. et al. *Bilan de 30 ans d'immersions de récifs artificiels sur la côte agathoise (Méditerranée, France)*. (2014).
21. Cépralmar. *Premières analyses des immersions de récifs artificiels en Languedoc-Roussillon*. (2009).